

Министерство образования Республики Беларусь
Министерство природных ресурсов
и охраны окружающей среды Республики Беларусь
Учреждение образования
«Международный государственный экологический
институт имени А. Д. Сахарова»
Белорусского государственного университета



САХАРОВСКИЕ ЧТЕНИЯ 2019 ГОДА: ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ XXI ВЕКА

SAKHAROV READINGS 2019: ENVIRONMENTAL PROBLEMS OF THE XXI CENTURY

Материалы 19-й международной научной конференции

23–24 мая 2019 г.
г. Минск, Республика Беларусь

В трех частях
Часть 2

Минск
МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ
2019

УДК 504.75(043)

ББК 20.18

C22

Материалы конференции изданы при поддержке Департамента по ликвидации последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС

Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь и Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований

Редколлегия:

Батян А. Н., доктор медицинских наук, профессор, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ;
Бученков И. Э., кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ;
Головатый С. Е., доктор сельскохозяйственных наук, профессор, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ;
Голубев А. П., доктор биологических наук, доцент, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ;
Довгулевич Н. Н., кандидат филологических наук, доцент, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ;
Журавков В. В., кандидат биологических наук, доцент, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ;
Иванюкович В. А., кандидат физико-математических наук, доцент, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ;
Киевицкая А. И., кандидат технических наук, доктор физико-математических наук, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ;
Круталевич М. М., кандидат филологических наук, доцент, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ;
Мишаткина Т. В., кандидат философских наук, доцент, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ;
Пашинский В. А., кандидат технических наук, доцент, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ;
Плавинский Н. А., кандидат исторических наук, доцент, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ;
Сыса А. Г., кандидат химических наук, доцент, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ

Под общей редакцией:

доктора физико-математических наук, профессора *С. А. Маскевича*,
доктора сельскохозяйственных наук, профессора *С. С. Позняка*

C22

Сахаровские чтения 2019 года: экологические проблемы XXI века = Sakharov readings 2019 : environmental problems of the XXI century : материалы 19-й международной научной конференции, 23–24 мая 2019 г., г. Минск, Республика Беларусь : в 3 ч. / Междунар. гос. экол. ин-т им. А. Д. Сахарова Бел. гос. ун-та; редкол. : А. Н. Батян [и др.] ; под ред. д-ра ф.-м. н., проф. С. А. Маскевича, д-ра с.-х. н., проф. С. С. Позняка. – Минск : ИВЦ Минфина, 2019. – Ч. 2. – 300 с.

ISBN 978-985-7224-33-3.

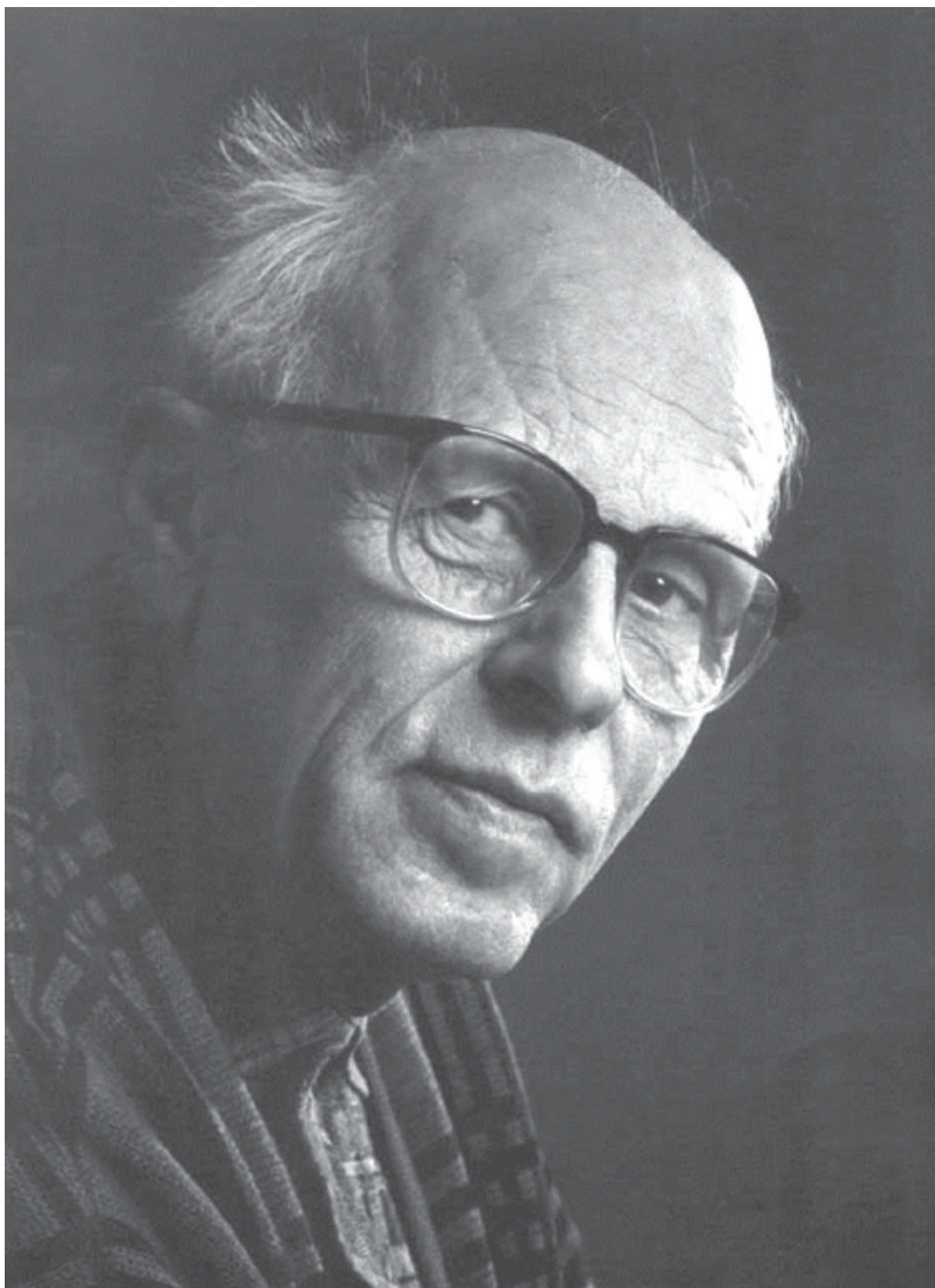
В сборник включены тезисы докладов по вопросам философии, социально-экономическим и биоэтическим проблемам современности, образованию в интересах устойчивого развития, а также по медицинской экологии и биоэкологии. Рассматриваются аспекты радиобиологии, радиоэкологии и радиационной безопасности, информационных систем и технологий в экологии и здравоохранении, решения региональных экологических задач. Уделено внимание экологическому мониторингу и менеджменту, возобновляемым источникам энергии и энергосбережению.

Научные исследования рассчитаны на широкий круг специалистов в области экологии и смежных наук, преподавателей, аспирантов и студентов высших и средних учреждений образования.

УДК: 504.75(043)
ББК 20.18

ISBN 978-985-7224-33-3 (ч. 2)
ISBN 978-985-7224-31-9

© МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ, 2019



АНДРЕЙ ДМИТРИЕВИЧ САХАРОВ
(21 мая 1921–14 декабря 1989 г.)

**ЭПИДЕМИОЛОГИЧЕСКАЯ И ГИГИЕНИЧЕСКАЯ
ОЦЕНКИ СРЕДЫ ОБИТАНИЯ ЧЕЛОВЕКА**

**ЭКОЛОГО-ЭПИДЕМИОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ
ЗАБОЛЕВАЕМОСТИ ЖЕЛЕЗОДЕФИЦИТНЫМИ АНЕМИЯМИ
НАСЕЛЕНИЯ БРЕСТСКОЙ ОБЛАСТИ ЗА 2010–2017 ГГ.
ENVIRONMENTAL AND EPIDEMIOLOGICAL ASPECTS
OF MORBIDITY OF IRON DEFICIENCY ANEMIA
AMONG THE POPULATION OF THE BREST REGION FOR 2010–2017**

**A. M. Савчук, В. А. Стельмах
A. Savchyk, V. Stelmash**

*Белорусский государственный университет, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ,
г. Минск, Республика Беларусь
nast4uk93@mail.ru*

Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus

Публикация посвящена актуальной на сегодняшний день проблеме. Современные тенденции заболеваемости железодефицитной анемии среди населения Республики Беларусь свидетельствуют о возрастании распространенности данной нозологической формы. Поэтому, представляется актуальным провести расширенные эпидемиологические исследования по данной проблеме в региональном аспекте (на примере Брестской обл.).

The publication focuses on the actual to date problem. Current trends in the incidence of iron deficiency anemia among the population of the Republic of Belarus indicate an increase in the prevalence of this nosological form. Therefore, it seems relevant to conduct extended epidemiological studies on this issue in the regional aspect (on the example of the Brest region).

Ключевые слова: анемия, распространение, сидеропенический синдром, железодефицит, профилактика.

Keyword: anemia, distribution, sideropenic syndrome, iron deficiency, prevention.

Данная работа посвящена изучению эпидемиологических аспектов заболеваемости железодефицитной анемией у населения Брестской области за 2010–2017 гг.

При выполнении эпидемиологического анализа объектами исследования являются данные заболеваемости железодефицитными анемиями населения Брестской обл. в 2010–2017 гг.

Были рассчитаны экстенсивные и интенсивные показатели, темпы прироста, многолетние тенденции по методу наименьших квадратов. Проведен анализ достоверности различий между группами.

Методы исследований: эколого-географические, эпидемиологические, статистические, включая расчет экстенсивных и интенсивных показателей, расчет доверительных интервалов, расчет ежегодных темпов прироста.

Впервые рассмотренные эпидемиологические аспекты заболеваемости железодефицитной анемией у населения Брестской обл. Было выявлено, что показатели заболеваемости железодефицитной анемией взрослого населения за изучаемый период имеют устойчивую тенденцию к увеличению.

ЖДА до настоящего времени остается одной из актуальных проблем медицинской науки из-за широкого распространения и неблагоприятного воздействия на организм человека. Она поражает особенно уязвимые слои населения – детей младшего возраста, беременных женщин, пожилых людей и лиц, страдающих серьезными хроническими заболеваниями. Однако с этим аномальным состоянием можно и нужно бороться.

Железодефицитные анемии – одно из самых частых патологических состояний. Они характеризуются снижением содержания железа в сыворотке крови (костном мозге и депо), в результате чего нарушается образование гемоглобина. Среди различных анемических состояний железодефицитные анемии являются самыми распространенными и составляют около 80 % всех анемий [1].

Из-за малого количества этого микроэлемента перестают образовываться молекулы гемоглобина. В результате кровь начинает переносить гораздо меньше кислорода. Дефицит железа в других тканях приводит к проблемам с кожей, волосами. Сердцем и пищеварением. Если организм уже ощущает недостаток железа, но заболевание еще не развилось, такое состояние называю сидеропенией или железодефицитом. Медицинская статистика по данным ВОЗ, анемией страдают около 1,8 млрд человек во всем мире. А скрытый недостаток железа (сидеропению) можно обнаружить у 3,6 млрд человек [2; 4].

Дефицит железа в организме существует в двух формах, представляющих собой две последовательные стадии одного процесса: латентный (тканевый) дефицит железа (ЛДЖ) и собственно железодефицитная анемия (ЖДА). ЖДА составляет около 80–90 % всех случаев анемий и является одной из самых распространенных ее форм. Женщины страдают чаще, чем мужчины, поскольку запасы железа у последних значительно превышают (на 100–200 %) таковые у женщин. Явный и скрытый дефицит железа отмечается почти у 60 % женщин земного

шара. Железодефицитные анемии встречаются во всех возрастных группах. Различают «истинные» ЖДА – при абсолютном дефиците железа и «ложные» ЖДА – при нарушении включения железа в гем, в отсутствии первичного абсолютного железодефицита [3].

В картине крови при ЖДА основным признаком заболевания служит снижение гематокрита. Содержание Hb колеблется в зависимости от тяжести анемии от 20–30 до 100–110 г/л. Количество эритроцитов может быть снижено (но может быть даже нормальным). Снижение количества эритроцитов объясняют снижением пролиферативной активности эритрона, возрастанием интенсивности неэффективного эритропоэза, некоторым укорочением продолжительности жизни эритроцитов. ЦП резко снижен (0,6–0,3), гипохромия, микроцитоз, анизо- и пойкилоцитоз эритроцитов. Нередко наступает нейтропения (в результате уменьшения содержания железосодержащих ферментов в лейкоцитах). СОЭ незначительно увеличена. Содержание железа в сыворотке снижено (сидеропения) – до 2,0–5,0 мкМ/л (норма – 12–32 мкМ/л).

Уровень тромбоцитов может быть незначительно повышен (на фоне кровотечений). Ретикулоцитарный индекс чаще соответствует гипорегенеративному состоянию.

Причиной развития ЖДА могут быть: 1) хронические, даже необильные и скрытые кровопотери (маточные, желудочно-кишечные, почечные, легочные, носовые, десневые и пр.); 2) недостаточное поступление железа с пищей; у детей – при искусственном вскармливании коровьим или козьим молоком; у новорожденных является следствием дефицита железа у матери во время беременности, у недоношенных, при многоплодии; 3) усиленный расход железа в период роста и созревания, в период беременности, лактации; 4) пониженное всасывание железа после резекции желудка, части тонкого кишечника, заболеваниях кишечника; синдроме мальабсорбции; 5) нарушение обмена и утилизации железа при инфекциях, интоксикациях, глистных инвазиях; последние особенно часто встречаются в странах жаркого климата (анкилостомидоз, шистосомоз и пр.); 6) обширные хронические очаги инфекции, быстро растущие опухоли (перераспределительный дефицит железа); при эритремии может развиваться значительный тканевой дефицит железа в связи с частыми лечебными кровопусканиями и сосредоточением железа в гемоглобине неопластически увеличенного эритрона. Этот ЛДЖ протекает на фоне высоких показателей Hb и эритроцитов; 7) нарушение транспорта железа [3].

Профилактика заключается в периодическом наблюдении за картиной крови, употреблении пищи с высоким содержанием железа (кунжут, мясо, печень и др.), профилактическом приеме препаратов железа в группах риска, оперативной ликвидации источников кровопотерь.

Профилактика является одним из важных условий комплексного подхода к терапии анемических состояний. Основа профилактики ЖДС и ЖДА – здоровый образ жизни и рациональное питание с употреблением продуктов, богатых гемовым железом, витаминами и микроэлементами. Профилактикой ЖДА у всех детей первых месяцев жизни является сохранение и поддержка грудного вскармливания (до 4–5 мес. жизни), т. к. в это время идет интенсивное потребление депонированного в антенатальном периоде железа. При искусственном вскармливании детей из групп следует использовать смеси, обогащенные железом (у доношенных детей начиная с 3 мес., у недоношенных с 2 мес.). Кроме того, этим детям с профилактической целью начиная с 2-месячного возраста следует назначать препараты железа до достижения 12–18 мес. Детям старше 3 лет из групп риска по развитию ЖДА необходимо проведение профилактического приема пероральных препаратов железа в дозе 25–50–100 мг железа в сутки, особенно девушкам-подросткам с гиперменструальным синдромом в дозе 50–100 мг/сут на фоне и после менструации в течение 10 дней каждого менструального цикла. Препаратами выбора для профилактики ЖДС и ЖДА у подростков являются комбинированные препараты fumarата железа с фолиевой кислотой, а также с витаминами группы В [4].

Целью терапии ЖДА является устранение дефицита железа и восстановление его запасов в организме. Добиться этого можно только при устранении причины, лежащей в основе железодефицитного состояния, и одновременном возмещении дефицита железа в организме.

Основными в лечении ЖДА являются следующие принципы: возместить дефицит железа без лекарственных железосодержащих препаратов невозможно; терапия ЖДА должна проводиться преимущественно препаратами железа для перорального приема; терапия ЖДА не должна прекращаться после нормализации уровня гемоглобина; гемотрансфузии при ЖДА должны проводиться только по жизненным показаниям (угроза анемической комы (обмороки, угнетение сознания, выраженная декомпенсация: одышка, нарушение гемодинамики) [3; 4].

Нередко действуют комбинации указанных факторов, вызывающих отрицательный баланс железа. Примером ЖДА, развивающейся вследствие комплексного влияния нескольких факторов является хлороз – от греч. «хлорос» – бледно-зеленый или «бледная немочь». Название связано со специфическим цветом лица таких больных. Развивается у девочек-подростков в период полового созревания (ранняя форма – ювенильный хлороз) в связи с повышенным расходом железа (рост, появление менструаций) и угнетающим действием эстрогенов на эритропоэз и у женщин в климактерический период (поздняя форма). При ЖДА уменьшается содержание железа в плазме крови, костном мозге и в тканевых депо. Болезнь возникает при нарушении процессов синтеза гема и гемоглобинизации эритроцитов вследствие истинного или перераспределительного дефицита железа в организме. При этом снижается содержание сывороточного железа, повышается общая и особенно латентная железосвязывающая способность сыворотки крови с уменьшением процента насыщения переносчика железа – трансферрина (сидерофилина). Снижается также интенсивность транспорта железа в костный мозг, его содержание в митохон-

дриях эритроидных клеток, костного мозга, что тормозит синтез гема, соединение его с глобином, образование гемоглобина. В костном мозге отсутствуют сидеробласты или снижено их содержание (в норме 20–40 %) [2].

Клиническая картина складывается из двух основных синдромов: общеанемического и сидеропенического. Общеанемический синдром проявляется симптомами, характерными для всех видов анемии: бледность, общая слабость, быстрая утомляемость, обмороки, одышка, тахикардия, систолический шум. Сидеропенический синдром характеризуется рядом трофических нарушений. Отмечаются: сухость и трещины кожи, преждевременные морщины, ломкость ногтей, койлонихия (каглони́хия) – ложкообразные ногти, ангулярный стоматит, атрофия слизистых оболочек рта, пищевода, желудка, дыхательных путей. Нарушается иммунитет, что приводит к хронизации инфекций, частым ОРЗ; развивается мышечная слабость, слабость физиологических сфинктеров. Может возникнуть извращение вкуса (поедание несъедобных продуктов – мела, бумаги и др.), пристрастие к необычным запахам (ацетон, бензин, краска). Нарушается память, концентрация внимания. При дефиците железа резко усиливается абсорбция свинца, и у детей на этом фоне развивается необратимая задержка интеллектуального развития. Нарушение проницаемости мелких сосудов ведет к отекам лица. Иногда возникает «сидеропенический субфебрилитет» [4].

Диагностика заключается в определении уровня гемоглобина, эритроцитов, СОЭ, сывороточного железа, сывороточного ферритина, трансферрина, общей железосвязывающей способности сыворотки.

В плане обследований также назначают рентгенологические и эндоскопические исследования, женщинам обязательна предварительная консультация гинеколога, а у мужчин – осмотр проктолога и уролога.

Провели расширенные эпидемиологические исследования по данной проблеме в региональном аспекте (на примере Брестской обл.).

Эпидемиологические исследования анемических состояний у населения выявили неравномерную частоту встречаемости данной патологии в различных районах и её зависимость от социальных и экономических условий. Именно поэтому рассматривают распространенность анемий, предварительно разделяя районы на промышленно развитые и развивающиеся в экономическом отношении.

Также эпидемиологические исследования позволили изучить заболеваемость на основании расчета соответствующих показателей, проследить за ее динамикой в течение ряда лет. Анализ эпидемиологических показателей не только имеет самостоятельное значение, повышая уровень знаний о заболеваемости, но и позволяет усовершенствовать диагностические мероприятия, обосновать объем специализированной помощи больным, прогнозировать лечебный процесс.

Эксперты ВОЗ отмечают, что при распространенности анемии более 40 % проблема перестает быть чисто медицинской и требует принятия мер на государственном уровне. Эти меры предусматривают не только улучшение социально-экономического положения населения, но и проведение вмешательств, направленных на снижение распространенности ЖДА.

Результаты исследования позволяют внедрить в практику диспансерного наблюдения больных ЖДА

Для оценки дефицита железа помимо эпидемиологических и статистических методов также применяли методы лабораторной диагностики. Результаты такой проверки показали, что данная нозологическая форма распространена на изучаемой территории.

В ходе проведенного исследования было установлено, что у населения с низким медико-социальном уровне жизни и неблагоприятной экологической обстановкой наблюдается железодефицитная анемия.

Подтверждают железодефицитный характер анемии лабораторные показатели феррокинетики: сниженный уровень ферритина сыворотки, отражающего количество депонированного организмом железа, сниженный уровень сывороточного железа, увеличенный показатель общей железосвязывающей способности сыворотки, косвенно отражающий уровень трансферрина, а также сниженный коэффициент насыщения трансферрина железом. Также отличительным признаком железодефицитной анемии является уровень гематокрита, наиболее важные изменения в эритроцитах наблюдается гипохромия, что зависит от степени тяжести заболевания, анизоцитоз за счёт микроцитов, цветовой показатель <0,75.

Из полученных данным мы наблюдали ежегодные колебания заболеваемости детского и взрослого населения с периодами роста и спада. Из этого можно отметить, что на протяжении последних лет отмечается отрицательная ситуация среди детского и взрослого населения, когда темпы прироста носят положительный характер. Рассчитанные значения ежегодных темпов прироста выявили, что наибольшие значения ежегодных темпов прироста отмечены: для детей с общей заболеваемостью в 2012 году (23,28 %), для детей с первичной заболеваемостью в 2017 году (19,8 %), для взрослых с общей заболеваемости в 2017 году (19,86 %) и для взрослых с первичной заболеваемостью в 2013 году (10,69 %).

Проведенный анализ показал, что наименьшие показатели для детского населения отмечаются в Ганцевичском, Ивановском, Лунинецком, а наибольший – в Дрогичинском и Ляховичском р-нах. А для взрослого населения наименьшие показатели в Каменецком, Кобринском, Пинском и Столинском районах, а наибольший – в Ганцевичском, Жабинковском, Малоритском и Лунинецком р-нах.

Поэтому в статье мы постарались суммационно представить наиболее актуальную информацию, касающуюся данной проблемы.

Полученные в ходе выполнения исследования результаты служат определенным шагом к улучшению профилактики, а также лечения и могут быть использованы для разработки методов ее коррекции.

Таким образом, современное обследование, профилактика и правильная диагностика, включающая выполнение различных лабораторных исследований, позволяет своевременно выявить эту болезнь и выбрать подходящий метод лечения, добиться этого можно при ликвидации причин, лежащих в основе железодефицитной анемии, а также приеме железосодержащих препаратов. При своевременно и эффективно начатом лечении прогноз обычно благоприятный.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Воробьев, А. И.* Руководство по гематологии: в 3 т. Т.3. – 3-е изд., перераб. и доп. / А. И. Воробьев. – М.: Ньюдиамед, 2005. – 416 с.
2. *Городецкий, В. В.* Железодефицитные состояния и железодефицитная анемия: диагностика и лечение. / В. В. Городецкий, О. В. Годулян. – М.: Медпрактика, 2004. – 23 с.
3. *Леонова, Е. В.* Патофизиология системы крови : учеб. пособие / Е. В. Леонова, А. В. Чантурия, Ф. И. Висмонт ; Белорус. гос. мед. ун-т, Каф. патолог. физиологии. – Минск: БГМУ, 2005. – 154 с.
4. *Новикова, И. А.* Клиническая и лабораторная гематология / И. А. Новикова, С. А. Ходулева. – Минск: Выш. школа, 2013. – 387 с.

ВЛИЯНИЕ НАРУШЕНИЙ ОБМЕННЫХ ПРОЦЕССОВ НА ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ ЛИМФОЦИТОВ

THE IMPACT OF METABOLIC DISORDERS ON THE FUNCTIONAL STATE OF LYMPHOCYTES

*Т. С. Семеенко¹, А. С. Ивашкевич¹, И. В. Пухтеева¹,
Н. В. Герасимович¹, Л. А. Малькевич²*

T. Semeenko¹, A. Ivashkevich¹, I. Puhteeva¹, N. Gerasimovich¹, L. Malkevich²

*¹Белорусский государственный университет, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ,
г. Минск, Республика Беларусь*

*²Белорусский государственный медицинский университет, г. Минск, Республика Беларусь
anna.ivashkevich.99@mail.ru*

¹Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus

²Belarusian State Medical University, Minsk, Republic of Belarus

В работе изучено влияние метаболических нарушений в организме на изменение показателей, отражающих физико-химическое состояние мембран, а также концентрацию ионов свободного цитоплазматического кальция в лимфоцитах периферической крови больных артритом. Установлено, что при ревматоидном артрите, происходят изменения текучести липидного компонента биологических мембран клеток организма. Метаболические отклонения в организме вызывают изменения гомеостаза ионов кальция в лимфоцитах периферической крови.

This work studied the influence of metabolic disorders in the body on the change of indicators reflecting physical and chemical state of the cell membranes, as well as the concentration of cytoplasmic free calcium ions blood lymphocytes of patients with arthritis. It has been established that in rheumatoid arthritis, changes of fluidity of the lipid component of biological membranes of cells. Metabolic abnormalities in the body cause changes the homeostasis of calcium ions in peripheral blood lymphocytes.

Ключевые слова: ревматоидный артрит, лимфоциты периферической крови, плазматическая мембрана, пирен, свободный ионизированный цитоплазматический кальций, Fura-2/AM.

Keywords: rheumatoid arthritis, lymphocytes of peripheral blood, plasmatic membrane, pyrene, cytoplasmic calcium, Fura-2/AM.

Организм человека является точным, хорошо сбалансированным механизмом, нацеленным на поддержание комфортного для себя уровня жизнедеятельности. Неотъемлемой частью функционирования этого механизма справедливо считают систему метаболических превращений веществ внутри клеток.

Известно, что нарушения обмена веществ, патологии превращения, синтеза или расщепления белков, жиров, углеводов и других физиологически активных молекул выражаются широким спектром патологических состояний. Обычно о тех или иных метаболических изменениях говорят в широком смысле этого понятия, например, метаболический синдром, подагра, ожирение, диабет и пр. Однако, эти состояния являются совокупностью симптомов, за которыми лежат куда более сложные переплетения межмолекулярных взаимодействий на уровне отдельных клеток и их компонентов [1].

Метаболические изменения могут являться следствием наследственных или приобретенных нарушений функций отдельных белков, мРНК, сигнальных путей и пр. Последствия этих нарушений могут быть замечены далеко не сразу.

За счет многоступенчатой компенсаторной системы организма и клеток в частности, многие индивидуальные особенности патологических состояний у человека выявляются в зрелом, а чаще престарелом и даже старческом возрасте [2].

В последние годы исследованиям роли молекулярного уровня интеграции организма в его жизнедеятельности придается исключительно важное значение. Молекулярные механизмы составляют основу функционирования клетки, а их расстройства имеют следствием патологические состояния. Существенную роль при этом играет плазматическая мембрана клетки. В настоящее время заболевания сердечно-сосудистой системы, эндокринной и другой патологии могут рассматриваться как вариант мембранной патологии.

Изучение структуры и функции мембран в норме и при патологии существенно расширяет представления о механизмах возникновения и развития патологических процессов на уровне клетки и целого организма. Одним из мощных факторов, повреждающих клеточные мембраны, является образование свободных радикалов, вызывающих в клетке неконтролируемые реакции.

Повышение или уменьшение концентрации ионов кальция в сыворотке и форменных элементах крови приводит к различным патологическим процессам. Биологические эффекты кальция реализуются с помощью следующих главных механизмов: взаимодействие с сократительными элементами, изменение проницаемости мембран для ионов, регуляция активности ферментов, реализация действия гормонов и цАМФ [3].

Модификация перераспределение ионов Ca^{2+} отмечается как важное звено патогенеза многих заболеваний. К таким заболеваниям относятся: сахарный диабет, ишемическая болезнь сердца (ИБС), бронхиальная астма, артериальная гипертензия, заболевания опорно-двигательного аппарата [3].

В связи с этим целью данной работы явилось изучение состояния гомеостаза в лимфоцитах периферической крови пациентов с метаболическими нарушениями.

В исследование была включена группа лиц из 15 человек (12 мужчин и 3 женщин) с диагнозом ревматоидный артрит в возрасте 30–45 лет. Условно контрольная группа состояла из 10 человек (5 мужчин и 5 женщин), в анамнезе которых не было сведений о заболевании ревматоидным артритом, а биохимический и общий анализы крови находились в пределах физиологической нормы.

Объектом исследования являлись лимфоциты периферической крови человека.

Забор крови для исследований производили натощак после 12-часового голодания в одно и то же время суток (утром) пункцией локтевой вены (самотеком). Лимфоциты выделяли согласно стандартной методике.

Исследование структурного состояния общей липидной фазы мембран осуществляли спектрофлуориметрически с использованием флуоресцентного зонда пирен (Sigma).

Внедрение зонда осуществляли, как описано в работе [4] путем прединкубации его спиртового раствора (4 ммоль/л) с клетками ($1 \cdot 10^6$ кл/мл), находящимися в фосфатном буфере (рН 7,4). Конечная концентрация зонда в среде инкубации составляла 5 ммоль/л. Регистрацию спектров флуоресценции осуществляли при длинах волн возбуждения 337 и 286 нм на спектрофлуориметре «СМ 2203» (СОЛАР, РБ). Микровязкость липидного окружения пирена оценивали по отношению интенсивностей эксимерной и мономерной флуоресценции (J_2/J_1) при $\lambda_{эм.} = 475$ и 373 нм, соответственно. Микрополярность анализировали по отношению второго и первого вибрационных пиков (F_2/F_1) в спектре флуоресценции мономеров с $\lambda_{эм.} = 385$ и 373 нм при длинах волн возбуждения 337 и 286 нм, соответственно.

Для измерения внутриклеточной концентрации ионов кальция $[Ca^{2+}]_i$ использовали флуоресцентный зонд Fura-2/AM (Molecular Probes, SIGMA). Клетки отмывали в фосфатном буфере PBS (рН 7,4) и инкубировали с Fura-2 в течение 40 мин при 37 °С, с последующей отмывкой в PBS (рН 7,4). Спектры флуоресценции записывали на флуориметре СМ 2203 (СОЛАР, РБ). Измерение спектров флуоресценции ($\lambda_{эм.} = 510$ нм) проводили при $\lambda_{возб.} = 340$ и 380 нм. При этом анализировали параметры флуоресценции, когда практически все молекулы зонда находились в связанном и в свободном от кальция состоянии. Для этого использовали Triton-X100 (0,5 % р-р) и избыток EGTA (10 ммоль/л). Анализ спектров флуоресценции для определения концентрации $[Ca^{2+}]_i$ проводили как описано в [5] по формуле:

$$[Ca^{2+}]_i = Kd \cdot \beta \cdot (R - R_{min}) / (R_{max} - R)$$

Все полученные результаты были обработаны статистически (Microsoft Excel 2016). Значимость различий в группах оценивали по t-критерию Стьюдента при $p \leq 0,05$.

В ходе исследования были определены значения показателей полярности и микровязкости аннулярного липида и липидного бислоя плазматических мембран лимфоцитов периферической крови. Измерение флуоресценции пирена при длинах волн возбуждения 286 нм и 337 нм позволяет учитывать гетерогенность липидной фазы. При возбуждении зонда светом с длиной волны 337 нм флуоресценция определяется суммарным вкладом пирена, локализованного как вблизи белка, так и в общей липидной фазе. При стимуляции флуоресценции квантами относительно низковолновой части спектра (286 нм), возникающая затем эмиссия определяется молекулами пирена, расположенными в прибелковой области, так как формируется за счет безизлучательного переноса энергии на зонд с мембранных триптофанилов.

У пациентов с ревматоидным артритом не было отмечено достоверных изменений показателя полярности различных областей мембраны (рис. 1).

Показатель микровязкости определяет текучесть мембраны и тесно связан с выполняемыми функциями. Увеличение значений этого показателя может изменяться за счет модификации белок-липидных взаимодействий и приводить к значительным нарушениям различных функций плазматической мембраны.

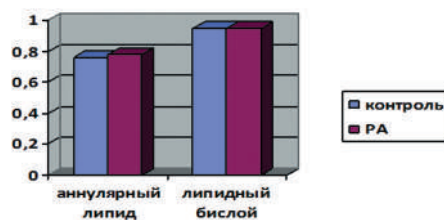


Рисунок 1 – Показатели полярности (отн. ед) плазматической мембраны лимфоцитов периферической крови доноров при ревматоидном артрите (РА)

В связи с этим были проанализированы показатели микровязкости различных областей плазматической мембраны лимфоцитов периферической крови. Установлено, что у больных ревматоидным артритом показатель микровязкости в области аннулярного липида плазматической мембраны лимфоцитов периферической крови был в 2 раза ниже соответствующих значений у пациентов контрольной группы. В области общего липидного бислоя отмечается увеличение показателя микровязкости на 17 % по отношению к контрольным значениям (рис. 2).

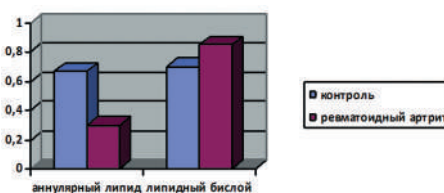


Рисунок 2 – Влияние метаболических изменений на показатели микровязкости плазматической мембраны лимфоцитов периферической крови доноров

В ходе исследования не было отмечено значимых различий в величине изученных показателей у мужчин и женщин в исследуемых группах.

Общеизвестным является тот факт, что липиды плазматических мембран выполняют структурную функцию и обеспечивают образование двойного слоя биологических мембран. В связи с этим модификация показателей полярности и микровязкости общего липидного бислоя и аннулярного липида может привести к изменениям проницаемости мембраны и нарушению процессов передачи сигнала внутрь клетки посредством вторичных мессенджеров – ионов кальция.

По полученным спектрам флуоресценции зонда Fura-2/AM были рассчитаны концентрации ионов цитозольного Ca^{2+} в лимфоцитах периферической крови доноров разного пола и возраста. Как видно из таблицы 1 при наличии метаболических изменений у мужчин не зависимо от возраста наблюдалось достоверное увеличение концентрации ионов кальция в цитоплазме лимфоцитов периферической крови приблизительно на 10–12 %. В то же время у мужчин нами не было отмечено возрастных различий исследуемого показателя.

Таблица 1 – Концентрация свободного ионизированного кальция в цитоплазме лимфоцитов периферической крови мужчин (нмоль/л)

Пациенты	Мужчины до 35 лет	Мужчины после 35 лет
Контроль	79,65±0,38	74,67±0,30
Наличие метаболических отклонений	89,71±0,39*	90,07±0,40*

При определении концентрации Ca^{2+} в лимфоцитах доноров-женщин после 35 лет было обнаружено увеличение данного показателя на 15 %. Как видно из табл. 2 в условиях наличия метаболических изменений в данной возрастной группе отмечался дополнительный рост содержания кальция в цитоплазме лимфоцитов на 13 %.

Предполагают, что в условиях *in vivo* изменения проницаемости мембранных компонентов клетки и, в частности, митохондриальной мембраны могут принимать участие в быстром выходе излишка аккумулированного митохондриями кальция в цитозоль, а также участвовать в обмене низкомолекулярными протеинами между цитозолем и матриксом митохондрий.

Таблица 2 – Концентрация свободного ионизированного кальция в цитоплазме лимфоцитов периферической крови женщин (в нмоль/л)

Пациенты	Женщины до 35 лет	Женщины после 35 лет
Контроль	72,30±0,31	105,66±0,41 *
Наличие метаболических отклонений	77,86±0,34	136,24±0,46 *

Примечание. * – различия достоверны по сравнению с контролем при $p < 0,05$.

В процессе исследования можно предположить, что при системных заболеваниях, в частности, при ревматоидном артрите, происходят изменения структуры и свойств биологических мембран клеток организма, прежде всего их вязкостных и полярных характеристик, что отражается на структурно-функциональном состоянии плаз-

матических мембран клеток и может вызывать значительное увеличение концентрации ионов внутриклеточного цитоплазматического кальция.

Полученные результаты подтверждают влияние метаболических изменений в организме на регуляторные системы клеток, в том числе и иммунную систему, в процессе развития адаптационной реакции на данную патологию. Этот факт может способствовать раскрытию особенности и направленности протекания процессов нарушения гомеостаза кальция, наблюдаемые при метаболических отклонениях в организме, а также могут быть использованы при диагностике и лечении данных патологий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дубинина, Е. Е. Продукты метаболизма кислорода в функциональной активности клетки. Физиологические и клинико-биохимические аспекты / Дубинина Е. Е.

ВОЗРАСТНОЙ АСПЕКТ ПРОТЕКАНИЯ И ИСХОДОВ БЕРЕМЕННОСТЕЙ НА ПРИМЕРЕ ФРУНЗЕНСКОГО РАЙОНА Г. МИНСКА

THE AGE ASPECT OF THE COURSE AND OUTCOMES OF PREGNANCIES ON THE EXAMPLE OF FRUNZENSKY DISTRICT IN MINSK

A. С. Сипач, М. В. Синелёва
A. Sipach, M. Sinelyova

*Белорусский государственный университет, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ,
г. Минск, Республика Беларусь
arianna.sipach@mail.ru
Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus*

Тенденции современной демографической ситуации заключаются в увеличении числа беременных женщин очень раннего и позднего репродуктивного возраста. В публикации показано, что беременность в возрасте до 18 лет является наиболее неблагоприятной по уровню общей заболеваемости, распространённости отдельных осложнений беременности, по числу преждевременных родов и аборт, по показателям мертворождаемости, недоношенности и ВПР плода. Женщины старше 35 лет стоят на втором месте по осложнённому течению и исходу беременности. Возраст 20–30 лет является максимально безопасным для материнства по показателям осложнений антенатального и интранатального периодов.

Trends in the current demographic situation is the increase in the number of pregnant women of very early and late reproductive age. The publication shows that pregnancy before the age of 18 is the most unfavorable in terms of overall morbidity, for the prevalence of certain complications of pregnancy, for the number of preterm birth and abortion, in terms of stillbirth, prematurity and CRF of the fetus. Women over 35 years old are in second place for the course and outcome of pregnancy. Age of 20–30 years is the most safe for maternity in terms of complications of antenatal and intranatal periods.

Ключевые слова: протекание беременности, исход беременности, заболеваемость, возраст, анализ.

Keywords: course of pregnancy, outcome of pregnancy, morbidity, age, analysis.

Состояние здоровья беременных женщин является главной определяющей качества здоровья и жизнеспособности новорождённых, детей, подростков и в последующем взрослых. Нормальное течение беременности сравнительно часто нарушается хроническими заболеваниями, а также возникшими впервые во время беременности. Они являются одной из частых причин внутриутробной патологии, приводящей к возникновению пороков развития плода и его гибели, а также отягощающих последствий для матери [1; 2].

Разработка представленной темы актуальна, поскольку тенденции современной демографической ситуации заключаются в увеличении числа беременных женщин очень раннего и позднего репродуктивного возраста, а исходя из данных отечественной и зарубежной литературы, для пациенток различных возрастных групп характерны существенные отличия в течении беременности и родов, перинатальных исходах, указывая на повышение процента осложнений антенатального и интранатального периодов у женщин или не достигших репродуктивной зрелости или с угасающей репродуктивной функцией. По данным многих авторов наиболее благоприятным периодом для течения и родоразрешения беременности является возраст 20–30 лет [3; 4].

Цель работы – анализ характера протекания и вариантов разрешения беременностей у женщин различной возрастной категории на примере Фрунзенского р-на г. Минска.

Для реализации поставленной цели были проанализированы количественные показатели деятельности УЗ «20-я городская поликлиника» г. Минска за период с 2014 по 2018 г. Из всех беременных женщин, находя-

щиеся под наблюдением, для исследования были сформированы три возрастные группы: в возрасте до 18 лет, 20–30 лет и старше 35 лет.

В результате проведенного исследования было определено, что из всех женщин, состоявших на учете, наименьшее число беременных находится в возрасте до 18 лет – 0,3 %, женщины 20–30 лет занимают большую часть в общей структуре – 69,1 % и на возрастную группу «после 35» приходится 30,6 %. При рассмотрении состояния здоровья данных групп женщин установлено, что наибольшее число женщин с заболеваниями находится в возрастной группе до «18 лет» – 90 % девушек с различными патологиями и уровень общей заболеваемости составляет 145 %, т. е. на одну девушку приходится 1,6 случая заболевания. При этом доминирующими патологиями являются: инфекции мочеполовых путей, которые занимают 31 % в структуре всех осложнений, инфекционные и паразитарные болезни – 20,7 %, угроза преждевременных родов – 13,8 %. Женщины в возрасте старше 35 стоят на втором месте. В данной группе 70 % женщин с заболеваниями и уровень общей заболеваемости равен 88,4 %, т. е. на одну женщину приходится 1,3 случая заболевания. Доминирующими патологиями в данной возрастной группе являются: угроза аборта, которая занимает 20,3 % в структуре всех осложнений, анемии – 11,6 %, и дородовые кровотечения – 9,8 %. Наиболее благоприятную по данным показателям возрастную группу составляют беременные 20–30 лет. Из них менее половины – 40,6 % женщин поражено различными заболеваниями, и уровень общей заболеваемости соответствует 43,95 %, т. е. на одну беременную приходится 1,08 случая заболевания. В данной группе женщин можно выделить четыре лидирующие патологии: анемии, которые занимают 24,7 % в структуре всех осложнений, ранний токсикоз – 14,1 %, инфекции мочеполовых путей – 12,8 % и инфекционные и паразитарные болезни – 11,3 %.

Нами была определена распространенность 17 групп осложнений беременности. За пятилетний период наиболее часто встречающимися патологиями явились: анемии, их встречаемость составила 10,7 % на 100 беременных состоявших на учете, угроза аборта – 7,27 %, ранний токсикоз – 5,33 %, инфекции мочеполовых путей – 5,1 % и другие инфекционные и паразитарные болезни – 5,04 %. Было выявлено, что данные осложнения беременности с неравной частотой встречаются в различных возрастных градациях. Инфекции мочеполовых путей со значительно большей частотой обнаружены у девушек до 18 лет (45 %), что в 8 раз превышает встречаемость в сравнении с женщинами 20–30 лет (5,61 %) и в 12,6 раз в сравнении с возрастной группой «после 35 лет» (3,56 %). В свою очередь между двумя последними возрастными группами, мы выявили более высокую заболеваемость у женщин 20–30 лет (в 1,6 раза больше). Другие инфекционные и паразитарные болезни так же с большей частотой выявляются у девушек до 18 лет (30 %) в 6 раз превышая встречаемость в двух других возрастных группах, в которых данные заболевания распределяются с равной частотой. По анемиям группа «до 18 лет» тоже оказывается самой неблагоприятной (15 %), но здесь превышение встречаемости оказывается меньшим – лишь в 1,4 раза по сравнению с двумя другими группами в которых данная патология распределяется с частотой 10,87 % и 10,28 % у женщин 20–30 лет и старше 35 лет соответственно. В свою очередь угроза аборта доминирует у группы «после 35 лет» (17,99 %). Второе место по частоте встречаемости занимают девушки до 18 лет (10 %), у них угроза аборта выявляется в 1,8 раза реже, и у женщин 20–30 лет составляет всего 2,5%. Ранний токсикоз выявляется с большей частотой у женщин 20–30 лет (6,2 %), что в 1,8 раза чаще, чем у возрастной группы после 35 лет (3,41 %). В свою очередь у девушек до 18 лет он не встречается вовсе.

Следующими по распространённости осложнениями за 5-летний период являются: дородовые кровотечения – 3,68 % на 100 беременных, неинфекционные болезни мочеполовой системы – 3,16 %, гипертония – 3,06 % и угроза преждевременных родов – 2,97 %. Выявлено, что неинфекционные болезни мочеполовой системы с большей частотой обнаруживаются у возрастной группы «до 18 лет» (10 %), что превышает в 2,7 и в 5,2 раза частоту встречаемости у женщин 20–30 лет (3,68 %) и старше 35 лет (1,93 %) соответственно. В свою очередь у женщин 20–30 лет заболеваемость в 1,9 раз больше, чем у возрастной группы «после 35 лет». Дородовые кровотечения чаще осложняют течение беременности у женщин старше 35 лет (8,7 %). У 20–30-летних распределяются с частотой 1,47 %, что в 6 раз ниже, чем у возрастной группы «старше 35 лет». У девушек до 18 лет данная патология не обнаруживается. Гипертония так же в большей степени распределяется у женщин старше 35 лет (6,38 %) и не встречается у девушек до 18 лет. В возрастной группе «20–30 лет» распространенность гипертонии составляет 1,6 %, что в 4 раза меньше чем у женщин после 35 лет. Угроза преждевременных родов преобладает у девушек до 18 лет (20 %), что в 13,7 раз больше, чем у 20–30-летних (1,42 %) и в 3 раза чаще, чем у женщин старше 35 лет. В свою очередь осложнение гестационного процесса угрозой преждевременных родов у возрастной градации «после 35» в 4,4 раза чаще, чем у женщин 20–30 лет.

В третью группу по распространённости в течение 5-ти лет наблюдений можно отнести: венозные осложнения, встречаемость которых составляет 2,19 %, болезни женских половых органов – 2,13 %, ОПГ-гестоз – 1,89 %. ИППП – 1,73 %, болезни системы кровообращения, не включающие гипертонию – 1,53 %. Болезни системы кровообращения с большей вероятностью встречаются у женщин старше 35 лет (2,17 %). У женщин 20–30 лет они обнаруживаются в 1,7 раза реже (1,25 %) и вовсе не встречаются у девушек до 18 лет. Инфекции передающиеся половым путём чаще осложняют течение беременности у несовершеннолетних (10%), что в 5 раз превышает встречаемость в сравнении с группой женщин 20–30 лет (1,88 %) и в 7,75 раз в сравнении с женщинами старше 35 лет (1,29 %). В свою очередь между последними наблюдается превышение встречаемости в 1,4 раза у женщин 20–30 лет. ОПГ – гестоз выявляется с большей частотой у женщин после 35 лет (4,4 %). У 20–30-летних распространённость составляет 0,79 %, что в 5,6 раз меньше, нежели у женщин старше 35 лет. У девушек до 18 лет

данное осложнение беременности не выявлено. Венозные осложнения так же чаще обнаруживаются у возрастной группы «после 35 лет» (5,78 %), что в 9,4 раза превышает встречаемость в сравнении с женщинами 20–30 лет (0,61 %). У беременных в возрасте до 18 лет данная патология не выявляется. Так же у данной возрастной группы отсутствуют осложнения беременности вследствие болезней женских половых органов. Они в большей степени распространены у женщин в возрасте старше 35 лет (3,31 %). У женщин 20–30 лет частота встречаемости составляет 1,62 %, что в 2 раза реже, чем у возрастной группы «после 35 лет».

И, наконец, в четвертую группу входят наиболее редко встречающиеся патологии за 5-летний период: нарушение жирового обмена, распространённость которого составляет 1,32 % на 100 беременных, инфекции половых путей – 1,04 %, сахарный диабет, встречаемость которого составляет 1,07 %, в том числе возникшего во время беременности – 0,26 %, дисфункция щитовидной железы – 0,8 % в том числе распространённость гиперплазии щитовидной железы составляет 0,14 %, эутиреоидного зоба – 0,09 % и тиреотоксикоза – 0,17 %, и врожденные сердечно-сосудистые заболевания, осложняющие беременность – 0,38 %. Определено, что ни одно из данных осложнений беременности не встречается у девушек до 18 лет. Инфекции половых путей обнаруживаются только в возрастной группе «20–30 лет» (1,51 %). Врожденные сердечно-сосудистые заболевания осложняют течение беременности у женщин 20–30 лет (0,37 %) и у женщин старше 35 лет (0,4 %) почти в одинаковой степени. Сахарный диабет предшествующий беременности преимущественно встречается у женщин старше 35 лет (2,77 %), что в 8 раз превышает встречаемость в сравнении с группой женщин 20–30 лет (0,33 %), а возникновение сахарного диабета во время беременности отмечено только у женщин в возрасте после 35 лет (0,84 %). Дисфункция щитовидной железы в большей степени отмечена в возрастной группе «после 35 лет» (1,88 %). В том числе гиперплазия щитовидной железы и эутиреоидный зоб отмечаются только в данной группе. Их распространённость составляет 0,44 % и 0,3 % соответственно. Частота тиреотоксикоза равняется 0,35 %. В свою очередь у женщин 20–30 лет частота дисфункции щитовидной железы составляет 0,33 %, что в 5,7 раз реже, нежели у женщин после 35 лет, а встречаемость тиреотоксикоза равна 0,09 %, что в 4 раза ниже, по сравнению с женщинами старше 35 лет. И, наконец, нарушение жирового обмена так же в большей степени распространено в возрастной группе «после 35 лет» (3,41 %). У женщин 20–30 лет встречаемость составляет 0,39 %, что в 8,7 раз реже, что у женщин старше 35 лет.

Таким образом, мы можем сказать, что у девушек беременных в возрасте до 18 лет меньшее разнообразие встречавшихся осложнений, но при сравнении с другими группами женщин их распространённость в большинстве случаев существенно выше. У возрастных градаций «20–30 лет» и «после 35 лет» мы выявили все 17 групп рассматриваемых нами патологий, однако распространённость их среди женщин беременных в возрасте старше 35 лет значительно превышает показатели женщин 20–30 лет.

При рассмотрении структуры вариантов окончания беременностей определено, что лучший показатель срочных родов наблюдается у женщин 20–30 лет. Здесь 90,7 % женщин заканчивают беременность срочными родами, что в 2 раза больше, нежели в возрастной группе «до 18 лет» (45 %) и в 1,4 раза больше, чем у женщин старше 35 лет (64,2 %). Между двумя последними наблюдается следующее: процент женщин закончивших беременность срочными родами в возрастной группе старше 35 лет в 1,4 раза больше, чем у девушек до 18 лет. В свою очередь наибольшее число родов до положенного срока характерно для возрастной градации «до 18 лет» – 30 %, что на 3,44 % больше чем у женщин в возрасте старше 35 лет (26,56 %), которые в свою очередь стоят на втором месте. И, непосредственно, наиболее благоприятный вариант окончания беременности отмечен у женщин 20–30 лет – только 5,76 % преждевременных родов, что в 5,2 раза меньше чем у девушек до 18 лет и в 4,6 раза, чем у женщин после 35 лет. Наибольшее число абортотворений характерно для девушек в возрасте до 18 лет – 25 %, что в 7 раз больше, чем у женщин 20–30 лет (3,57 %) и в 2,7 раза больше чем у женщин в возрасте старше 35 лет (9,2 %). Женщины из возрастной группы «после 35 лет» стоят на втором месте по удельному весу абортотворений и в 2,6 раза превышают данный показатель в сравнении с женщинами 20–30 лет. В тоже время уровень абортотворений по медицинским показаниям наиболее высокий у женщин старше 35 лет, что может быть обусловлено как неблагоприятным состоянием здоровья женщин данной группы, а тем, что у женщин в поздний репродуктивный период есть большее желание выносить ребёнка, и соответственно, в структуре абортотворений будет низкий показатель прерывания беременности «по собственному желанию». На втором месте по числу прерываний беременности по медицинским показаниям, стоит возраст до 18 лет – 60 %, что в 1,5 раза меньше чем у женщин старше 35 лет и на 7,5 % больше чем у 20–30-летних. У последних, в свою очередь, число абортотворений по медицинским причинам (52,53 %) и не медицинским приблизительно равно, что может говорить как о лучшем состоянии здоровья в сравнении с другими группами женщин, так и о том, что в данном возрасте женщина может свободнее отказаться от рождения ребёнка, так как имеется перспектива забеременеть в более позднем возрасте.

При рассмотрении структуры рожденных детей определено, что из трёх рассматриваемых нами групп женщин наибольший показатель мертворождений характерен для девушек, рожавших в возрасте до 18 лет. Из 100 % всех родов на него приходится 6,67 %. В свою очередь процент живорожденных детей составляет 93,33. На втором месте стоят женщины в возрасте старше 35 лет. Здесь показатель мертворождений составляет 0,42 %, а на живорожденных приходится 99,58 %. И у женщин 20–30 лет почти 100 % показатель рождения живых детей – 99,91 %, на мертворожденных приходится 0,09 %. Такая же неблагоприятная тенденция, при сравнении по возрастам, прослеживается и при изучении показателя недоношенности. Наибольшее число недоношенных детей рождается у девушек беременных в возрасте до 18 лет – 42,86 % от всех живорожденных. На втором месте стоит группа женщин «после 35 лет». У них показатель недоношенности составляет 34,6 %. И, непосредственно, у девушек, родивших в возрасте 20–30 лет, наименьшее число детей являются недоношенными – 6,16 %.

На заключительном этапе нашей работы был рассмотрен ещё один показатель, с помощью которого можно охарактеризовать особенность течения беременности у женщин различных возрастных градаций – частоту выявления врождённых пороков развития плода. Мы нашли определенную закономерность: наибольшее количество ВПР плода у всех рассматриваемых нами групп женщин выявляется в сроке до 12 недель, то есть уже на первом УЗИ. При этом, наибольшее количество ВПР плода за 5-летний период на данном сроке было выявлено у женщин старше 35 лет – 26 случаев. На втором месте по количеству ВПР стоит возраст беременных женщин 20–30 лет – 14 случаев. И только 3 ВПР плода было обнаружено у девушек до 18 лет. На втором УЗИ, в сроке 13–22 недели у женщин старше 35 лет было выявлено 10 случаев ВПР плода. У женщин возрастной групп «20–30 лет» – 2 случая. У девушек до 18 лет на данном сроке ВПР плода не обнаруживалось. На сроке после 22 недель ни в одной из групп беременных женщин не было выявлено ВПР плода. Таким образом, у женщин беременных в возрасте старше 35 лет за 5-летний период было выявлено 36 случаев ВПР плода, из-за наличия которых 31 беременность подлежала прерыванию. При этом в данной группе беременных зарегистрировано 2 случая родов с невыявленными ВПР плода. В возрастной группе 20–30 лет всего выявлено 16 случаев ВПР плода, из-за которых было прервано 13 беременностей. Родов с невыявленными ВПР плода зарегистрировано не было. И у женщин беременных в возрасте до 18 лет обнаружено 3 ВПР плода, из-за которых все три беременности подлежали прерыванию. Родов с невыявленными ВПР в данной группе так же зарегистрировано не было. При рассмотрении данного вопроса следует обратить внимание, что численность девушек моложе 18 лет существенно меньше, нежели женщин старше 35 лет и тем более 20–30 лет. Исходя из этого, если численность каждой группы женщин свести к численности наименьшей, мы получим, что на 3 выявленных случая ВПР плода в группе беременных «до 18 лет», приходится 0,46 и 0,07 случаев ВПР плода у женщин 20–30 лет и старше 35 лет соответственно. На основе этого мы можем сказать, что если бы численность всех трёх групп была одинаковой, то наиболее неблагоприятные и значительно отличающиеся от других групп показатели ВПР плода наблюдались бы у девушек беременных в возрасте до 18 лет. На втором месте стоял бы возраст «старше 35 лет». И, непосредственно, лучшая, при сравнении картина, была бы обнаружена у женщин 20–30 лет.

Таким образом, беременность в возрасте до 18 лет является наиболее неблагоприятной по уровню общей заболеваемости и распространённости отдельных осложнений, по числу преждевременных родов и аборт, по числу недоношенных и мертворожденных детей, а так же по количеству выявляемых ВПР плода. Женщины старше 35 лет занимают второе место по осложненному течению и исходу беременностей. И, непосредственно, у возрастной градации «20–30 лет» обнаружены наилучшие показатели по рассматриваемым нами категориям.

На основе полученных результатов можно сказать, что возраст 20–30 лет является максимально безопасным для материнства по показателям осложнений антенатального и интранатального периодов. В свою очередь женщины планирующие родить после 35 лет и девушки, забеременевшие в возрасте до 18 лет автоматически попадают в группу высочайшего риска осложнённого течения и исхода беременности.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Баринов, С. В.* Течение и исходы родов в возрастном аспекте / М. С. Баринов [и др.] // *Фундаментальная и клиническая медицина.* – 2016. – Т 1. – № 2. – С. 18–25.
2. *Коваленко, М. С.* Особенности гестационного процесса у первородящих женщин в подростковом и старшем репродуктивном возрасте / М. С. Коваленко. – М., 2011. – 24 с.
3. *Крюкова, Н. И.* Оптимизация ведения беременности и родов у женщин старшего репродуктивного возраста / Н. И. Крюкова. – Уфа, 2011. – 22 с.
4. *Тысячный, О. В.* Течение и исходы родов в зависимости от тактики ведения при пролонгированной беременности / О. В. Тысячный, О. Р. Баев, Л. В. Кречетова // *Акушерство и гинекология.* – 2016. – № 7. – С. 28–33.

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ БИОТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ ОТХОДОВ ВИНОДЕЛЬЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ ENVIRONMENTAL BIOTECHNOLOGY OF PROCESSING OF WINEMAKING SECONDARY PRODUCTS

***А. С. Соболева, А. О. Саркисян, Л. В. Капрельянц
A. Soboleva, A. Sarkisian, L. Kaprelyants***

*Одесская национальная академия пищевых технологий, г. Одесса, Украина
annasoboleva1927@gmail.com
Odessa National Academy of Food Technologies, Odessa, Ukraine*

Утилизация отходов производства, загрязняющих среду обитания человека, является одной из важнейших экологических и экономических проблем общества. Много отходов образуется при производстве вина. Комплексная переработка вторичного сырья виноделия признается не только необходимой и полезной с точки

зрения природоохранных и оздоровительных мероприятий, так как она способствует уменьшению загрязнения окружающей среды, но и высокоэффективным видом коммерческой деятельности. Биотехнология – одна из древнейших и одновременно одна из самых молодых наук и отраслей промышленности. Это современная, инновационная отрасль науки и производства, которая использует живые организмы – вирусы, бактерии, грибы, растения, животные, их молекулярно-генетические и биохимические процессы для получения целевых продуктов. Вторичные продукты переработки винограда является ценным источником моно- и полифенольных соединений, которые проявляют высокую биологическую активность. Виноградные выжимки содержат процианидолы, которые обладают целым рядом ценных качественных свойств, оказывают позитивное влияние на сосуды, предотвращают атеросклеротичными процессами, обладают антиоксидантными свойствами. Известно, что использование ферментных препаратов позволяет интенсифицировать процесс экстракции улучшить качество готовой продукции, повысить ее выход, а также сэкономить ценность пищевого сырья.

Disposal of industrial wastes polluting the human environment is one of the most important environmental and economic problems of society. A lot of waste is generated in the production of wine. Integrated processing of secondary raw materials of winemaking is recognized not only necessary and useful from the point of view of environmental and health measures, as it helps to reduce environmental pollution, but also a highly efficient type of commercial activity. Biotechnology is one of the oldest and at the same time one of the youngest sciences and industries. This is a modern, innovative branch of science and production that uses living organisms - viruses, bacteria, fungi, plants, animals, their molecular-genetic and biochemical processes for the production of target products. Secondary grape processing products are a valuable source of mono- and polyphenolic compounds that exhibit high biological activity. Grape marc contains procyanidols, which have a number of valuable quality properties, have a positive effect on blood vessels, prevent atherosclerotic processes, have antioxidant properties. It is known that the use of enzyme preparations allows intensify the extraction process to improve the quality of the finished product, increase its yield, as well as save the value of food raw materials.

Ключевые слова: экология, защита окружающей среды, биотехнология, ферменты, биотехнологические методы, переработка вторичного сырья, винодельческая промышленность.

Keywords: ecology, environmental protection, biotechnology, enzymes, biotechnological methods, processing of secondary raw materials, wine-making industry.

В современных экономических условиях, мало прогнозируемыми и, как следствие, не всегда благоприятными для деятельности предприятий, необходимо обратить особое внимание на прогрессивные биотехнологии, которые бы обеспечили эффективное и, соответственно, прибыльное функционирование предприятий при минимальных затратах. Процесс внедрения биотехнологии на предприятиях Украины это фактор, необходимый для успешного развития экономики в целом. Как свидетельствует мировой и отечественный опыт, экономика сегодня уже переживает глобальное биотехнологическое подъем, биотехнологии заняли устойчивое положение практически во всех ее секторах.

Именно поэтому применение биотехнологий в Украине может стать одним из существенных рычагов повышения эффективности экономики в целом и выхода страны из финансово-экономического кризиса, позволив создать условия для повышения занятости населения и расширить ассортимент продуктов питания, биологически активных добавок (полифенолы, витамины, процианидолы, макро- и микроэлементы, пищевые волокна, пектиновые вещества) кормовых средств и др.

Накопление производственных отходов не только негативно сказывается на экологической обстановке, но и порождает необходимость использования этих отходов в качестве дополнительных сырьевых ресурсов, так как в ходе технологического процесса в эти продукты переходит определенное количество ценных компонентов, содержащихся в исходном сырье. Утилизируемая твердая фракция виноградной выжимки и плодовой мезги может стать источником пищевых волокон, красящих веществ, витаминов, минеральных веществ. По этой причине разработка эффективных способов комплексной переработки растительного сырья, включающей и вторичную переработку промышленных отходов, на базе которых возможно получение дополнительных продуктов, в настоящее время весьма актуальна.

Вопросам современного развития пищевой биотехнологии посвящено исследование многих отечественных ученых, в частности, Л. В. Капрельянца, Т. П. Пирог, И. Роговой, К. Лебедевой, П. Харченко, В. Швеца, Н. К. Черно, Л. А. Осиповой и др.

О важной роли биотехнологии в мире свидетельствуют объемы производства продукции биотехнологического сектора постоянно увеличиваются. В Украине, к сожалению, как показывает отечественный опыт, уровень развития биотехнологии по сравнению с мировым, является невысоким. По оценкам экспертов, объем производства украинского сектора биотехнологии сегодня не превышает 20 млн долл. США. Так, в фармацевтической промышленности доля отечественного производства на рынке иммунобиотехнологического препаратов составляет лишь 9 %, а сектор промышленной биотехнологии развит еще меньше. На украинском рынке лекарственных средств сегодня преобладают импортные пробиотики, и доля продукции зарубежных фирм составляет более 70 %. В отечественной пищевой промышленности биотехнологии применяются, в частности для производства

белково-витаминных концентратов. Лидером по объемам этого производства является Караванский завод кормовых дрожжей (г. Люботин, Харьковская обл.). Что является современным производством, которое способно воспроизвести различные биотехнологии микробиологического синтеза. [1].

Виноградные выжимки являются вторичным сырьем виноделия пищевой промышленности, они образуются в достаточном количестве для организации ряда производств, например пектина. Состав и выход выжимок зависит от способа переработки винограда, его сортовых особенностей и степени отжима сока. Выход выжимок при использовании прессов непрерывного действия составляет в среднем 13 %, гидравлических – 17 % и винтовых – 21 %. В среднем выжимки содержат, %: кожицы – 37...39, мякоти – 30...32, семян – 28...29, гребней с плодоножками – 1,08...1,25, остатков лозы – 0,2...0,25 [2]. При переработке винограда на вино образуются сырьевые ресурсы и отходы до 20 % объема переработанного винограда, основными из которых являются следующие, %: гребни – 1–7; выжимки – 10–14; семена – 3–4; дрожжевые осадки – 2,5–6. При выработке виноматериалов: винный камень – 0,5–2 кг на 100 дал коньячной барды (около 2/3 объема перегоняемого виноматериала); гущевые осадки – до 3 дал на 100 дал суслу или виноматериала; клеевые осадки – до 0,9 на 1 дал 20 %-ной суспензии бентонита, применяемой для оклейки; осадок берлинской лазури – 0,7–1,2 % от объема обрабатываемого виноматериала. На рис. 1 и 2 приведены варианты получения продуктов из вторичного сырья.



Рисунок 1 – Варианты получения продуктов из вторичного сырья

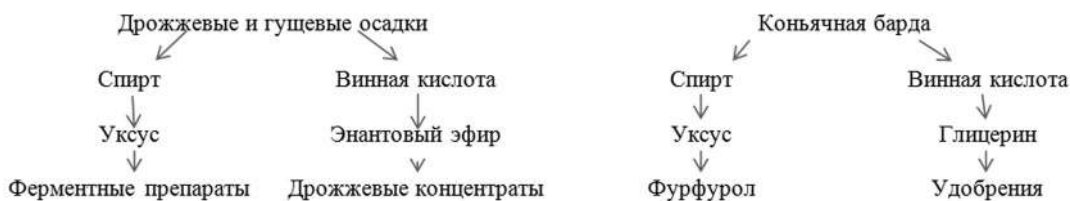


Рисунок 2 – Варианты получения продуктов из вторичного сырья

На сегодняшний день, использование гребней винограда хотя и является актуальным, но характеризуется малоэффективным уровнем переработки, так как отсутствуют широкомасштабные, модернизированные и самое главное мало- и безотходные технологии винодельческих предприятий, что приводит не только к потерям высокотехнологичного, чистого материала, но и к ухудшению состояния окружающей среды. Для уменьшения или устранения существующих загрязнений окружающей среды, образующихся в результате остающихся продуктов вторичного сырья необходимо замена устаревших технологических процессов на новые отвечающие современным экологическим требованиям. Поэтому перспективы в модернизации существующих производств для рационального использования вторичных ресурсов и важным направлением в создании безотходных технологий переработки винограда в Украине.

Гребни, отделяемые при дроблении винограда, смачиваются сусликом и содержат (%): сахаров – 1–1,5; винной кислоты – до 0,1; танина – до 3,27; пентозанов – до 2,8; протопектина – 0,7; минеральных веществ – до 2,4. Гребни перерабатываются на следующие цели:

- 1) получение гребневого суслу – 1 дал из каждой тонны винограда, которое используется для получения спирта и уксуса;
- 2) экстрагирование фенольных красящих веществ, применяемых в производстве безалкогольных и слабоалкогольных напитков;
- 3) производство белкового корма – дрожжевой массы из виноградных гребней и выжимок.

Отделяемые гребни часто используются как удобрения.

По химическому составу виноградные выжимки ценны тем, что их основная составляющая – кожица – имеет богатый полисахаридный комплекс, содержащий значительное количество фенольных веществ и лигнина (табл. 1).

Содержание пектиновых веществ составляет около 6,8 % в сухой массе. По способу переработки винограда выжимки делятся на три группы: сладкие, сброженные и спиртованные. Характеристика состава этих видов выжимки представлена в таблице 2. Состав основных веществ виноградных выжимок (%) [2].

Таблица 1 – Компонентный состав виноградной ягоды

Компоненты, мг/100 г сухого препарата	Содержание в сортах винограда	
	белый	красный
Полисахариды (по сумме мономерных составляющих) в том числе:	42–44	41–45
– целлюлоза	24–25	24–25
Фенольные и лигноподобные вещества	36–38	37–39
Азотистые вещества (по азоту)	1,4–1,6	1,5–1,8
Зольный остаток	2,5–2,7	2,6–2,8

Таблица 2 – Характеристика состава виноградной выжимки

Вещество	Выжимки		
	сладкие	сброженные	спиртованные
Сахара	5–10	–	4–6
Спирт	–	4–5	5–8
Винная кислота	0,5–2	0,7–2,5	1,2–3
Масло в семенах	10–24	10–24	10–18

Во время технологических процессов виноделия экстрагируется около тридцати процентов фенольных соединений, а остальные остаются в кожице. Таким образом, виноградные выжимки является ценным источником фенольных соединений, особенно антоцианов, которые могут быть восстановлены и использованы в качестве пищевых красителей и биологически активных веществ. Антоцианы, выделенные из кожицы винограда получили особое внимание в связи с их высокой антиоксидантной активностью и благотворным влиянием на здоровье человека [3].

Технологии их производства известны еще с прошлого века, но с целью обеспечения эффективного выделения антоцианов и других физиологически активных веществ без ущерба для их структурных и лечебных свойств необходимы новые способы производства, включая биотехнологические. На сегодня рацион питания человека следует обогащать продуктами с содержанием веществ способствующих дезинтоксикации организма, повышению его иммунитета и вызывающие другие оздоровительные эффекты, достаточное содержание которых присутствует в отходах винодельческой промышленности.

Вторичные продукты переработки винограда является ценным источником моно- и полифенольных соединений, которые проявляют высокую биологическую активность. Виноградные выжимки содержат процианидо-лы, которые обладают целым рядом ценных качественных свойств, оказывают позитивное влияние на сосуды, предотвращают атеросклеротические процессы, обладают антиоксидантными свойствами, снижают уровень холестерина, способствуют профилактическому действию онкологических заболеваний.

Для получения БАВ из этого сырья перспективным является совершенствование или разработка новых способов извлечения этих веществ с использованием биотехнологических принципов и прежде всего ферментных препаратов.

Известно, что использование ферментных препаратов позволяет интенсифицировать процесс экстракции улучшить качество готовой продукции, повысить ее выход, а также сохранить ценность пищевого сырья [4].

Ферментативная обработка выжимок позволяет существенно увеличить производство и расширить ассортимент пищевых продуктов, повысить их качество и биологическую ценность. Это дает возможность существования технологий, основанных на применении ферментов при обработке виноградных выжимок направленных, в том числе, на производство на основе этих отходов натуральных красящих веществ.

Для того, чтобы наиболее эффективно проводить деструкцию целостного растительного материала, используют различные комбинации ферментов, способствующие повышению извлечения желаемых вкусовых и цветовых компонентов растительной биомассы. Выбор правильного типа ферментов и условий их применения для обработки субстратов необходимы для их эффективного использования в процессах экстракции тех или целевых продуктов. Для извлечения ароматических и цветовых компонентов используют комбинации целлюлаз, гемицеллюлаз, пектиназ. Неоспоримые преимущества ферментативной экстракции – сокращение временных затрат, минимальное использование растворителей, повышение выхода продукта с улучшенными качественными показателями [5].

Активный комплекс ферментов целлюлолитической и гемицеллюлазного действия обеспечивает более глубокую степень мацерации растительной ткани и позволяет усовершенствовать технологию переработки сладких виноградных выжимок.

Поиск новых технологических решений, разработка инновационных биотехнологических методов получения продуктов из вторичного сырья является одной из приоритетных задач пищевой промышленности. Исследования литературных источников показывают целесообразность и перспективность разработки новых экологических биотехнологий в винодельческой отрасли.

ЛИТЕРАТУРА

1. Карпельяни, Л. В. Ферменты в пищевых технологиях: монография. – Одесса, Друк, 2009. – 468 с.
2. Производство пектина / Л. В. Донченко, Н. С. Карпович, Е. Г. Симхович и др.; под ред. Н. С. Карповича. – Кишинев: Штиинца, 1993.

3. Способ получения антоцианового красителя из выжимок темных сортов ягод / И. В. Переверткина, Н. С. Колтакова, Н. Н. Титова// БИМП. 20.08.2011. 5. Пат. 2515478 РФ, МПК С 09 В 61/00. Способ получения антоцианового красителя из выжимок темных сортов ягод / Переверткина И. В., Титова Н. Н. БИМП. 10.05.2014. 6. Пат. 2302423 РФ, МПК С 07 Н 17/065, С 07 Н 1/08, С 09 В 61/00.

4. *Ana Teixeira, Nieves Baenas, Raul Dominguez-Perles, Ana Barros, Eduardo Rosa*. Natural Bioactive Compounds from Winery By-Products as Health Promoters: A Review// *Int. J. Mol. Sci.* 2014, 15, 15638-15678; doi:10.3390/ijms150915638

5. *Fengmei Zhu, Bin Du, Lihong Zheng, Jun Li* Advance on the bioactivity and potential applications of dietary fibre from grape pomace// *Food Chemistry* (2014), <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.07.057>

ВЛИЯНИЕ КРИОТЕРАПИИ НА АДАПТАЦИЮ КАРДИО-РЕСПИРАТОРНОЙ СИСТЕМЫ ОРГАНИЗМА СПОРТСМЕНОВ К ФИЗИЧЕСКИМ НАГРУЗКАМ EFFECT OF CRYOTHERAPY ON ADAPTATION OF CARDIORESPIRATORY SYSTEM OF ORGANISM OF SPORTSMEN TO PHYSICAL LOADS

***М. А. Степанюк, М. Л. Левин, Н. В. Герасимович
M. Stepanyuk, M. Levin, N. Gerasimovich***

*Белорусский государственный университет, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ,
г. Минск, Республика Беларусь
mihail.stepanyuk.19@mail.ru
Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus*

В работе проведен анализ эффектов влияния криотерапии на кардио-респираторную систему спортсменов. Работу систем адаптации анализировали при помощи программно-аппаратного комплекса (АПК) «ОМЕГА-С» до и после криопродур. После прохождения курса криопродур наблюдалось снижение частоты сердечных сокращений, улучшение ригидности кардиоритма, переход от срыва адаптационных возможностей организма к их оптимизации, восстановление энергообеспечения организма.

Полученные результаты раскрывают механизмы действия криотерапии на физиологические механизмы адаптации спортсменов к физическим нагрузкам с целью улучшения их общего состояния, а также их спортивных достижений.

The article analyzes the effects of cryotherapy on the cardiorespiratory system of sportsmen. The work of adaptation systems was analyzed using the hardware-software complex (APC) "OMEGA-C" before and after cryoprocures. After the course of cryoprocures, there was a decrease in heart rate, improved rigidity of heart rate, the transition from the failure of the adaptive capacity of the body to optimize them, the restoration of energy supply of the body.

The results reveal the mechanisms of cryotherapy action on physiological mechanisms of adaptation of sportsmans to physical activity in order to improve their general condition, as well as their sporting achievements.

Ключевые слова: кардио-респираторная система, адаптация, индекс напряженности, физическая нагрузка, пульс, спортсмены, криотерапия.

Keyword: cardiovascular system, adaptation, stress index, physical activity, pulse, sportsmen, cryotherapy.

Подготовка спортсменов высокого класса, интенсификация тренировочного процесса часто осложняется тенденцией количественного роста острых и хронических спортивных травм, так и их большей специфичностью. Снятие острой спортивной травмы, снижение риска отдаленных негативных последствий, в том числе и от специфических хронических спортивных травм, присущих отдельным видам спорта, остается очень актуальной.

Крайне важно в процессе подготовки и соревнований иметь возможность восстановления функциональных резервов организма. Среди факторов, определяющих устойчивость основных функциональных систем в процессе длительных и интенсивных физических нагрузок, важное место занимают морфофункциональные показатели: физическое развитие, возможности основных физиологических систем организма, иммунный статус, психологическое состояние, уровень общей и специальной работоспособности. Другой группой факторов, формирующих функциональную подготовленность, являются спортивная деятельность, ее специфика, соотношенная с видом спорта, продолжительность занятий, успешность в достижении спортивных результатов. Не менее важное значение в определении функционального состояния спортсменов, отводится методическим основам организации тренировочного процесса: режим тренировок, объем и интенсивность тренировочных нагрузок, соотношение средств и методов развития физических качеств, психофизическая напряженность, календарь и регламент соревнований [1].

Изучение механизмов индивидуальной устойчивости организма к неблагоприятному воздействию различных негативных факторов имеет большое социальное и медицинское значение. Все более актуальной становится проблема обеспечения быстрой и эффективной подготовки организма к экстремальным условиям обитания и труда и создания функциональных предпосылок для сохранения его здоровья. Одним из путей ее решения является привлечение эффективных современных и физиологически обоснованных технологий при одновременном использовании рациональной системы комплексной диагностики и коррекции функционального состояния организма.

Поскольку организм человека представляет собой «самонастраивающуюся» систему он способен переадаптоваться в ответ «на ситуацию», включая ряд информационных механизмов. Так при воздействии холодной процедуры организм может бурно прореагировать на данный раздражитель. Этот механизм включает самогенетические (восстанавливающие здоровье) реакции даже при использовании малых дозировок холодного раздражителя. Холодовые воздействия на небольшие участки тела, или короткие по времени общие холодные процедуры способны мобилизовать тончайшие физико-химические или биохимические процессы, вызвать изменения в ферментно-белковых структурах клетки, способствовать образованию медиаторов обменных реакций, повышать интенсивность процессов окисления и восстановления. Слабое пороговое раздражение физическим агентом способно вызвать перестройку гомеостатической системы по типу реакций тренировки или активации [2].

В связи с вышесказанной целью данной работы являлось изучение влияния криотерапии на параметры кардио-респираторной системы спортсменов.

В работе представлены результаты сравнительного анализа данных, полученных при проведении сеансов общей криотерапии в индивидуальной криокабине КАЭ КТ-01 «КРИОН» и/или криосауне «Криоспейс». При проведении сеансов общей криотерапии в криосауне Криоспейс производства фирмы «Medizintechnik» (ФРГ) пациенты (спортсмены высшей квалификации) группами по 3–4 человека вначале помещались в предкамеру, температура в которой составляла – 60 °С на 0,5 мин, затем переходили в основную камеру на 3 мин, температура в которой составляла – 110 °С, ежедневно. Переносимость процедур пациентами была хорошей, побочных явлений не наблюдалось. Курс общей криотерапии состоял из 10 процедур.

Оценку функционирования кардио-респираторной системы организма осуществляли посредством использования программно-аппаратного комплекса (АПК) «ОМЕГА-С». Сеансы общей криотерапии (10 процедур) проводились в сходных, с точки зрения функциональной готовности, условиях: третья неделя подготовительного периода годичного цикла соревновательной подготовки. Чтобы исключить взаимное влияние криопроцедур, сеансы были проведены с временным интервалом более пяти месяцев.

Программно-аппаратный комплекс «ОМЕГА-С» предназначен для анализа биологических ритмов организма человека, выделяемых из электрокардио-сигнала в широкой полосе частот. В основу метода положена информационная технология анализа биоритмологических процессов – «фрактальная нейродинамика», позволяющая оценить функциональное состояние организма. Анализ проводился по следующим показателям:

1. HF (высокие частоты (High Frequency) — 0.15—0.40 Гц) отводится преимущественная роль парасимпатическому отделу вегетативной нервной системы (дыхательный контур).
2. LF (Низкие частоты (Low Frequency — LF) — 0.04—0.15 Гц) мощность в этом диапазоне частот влияет на изменение как тонуса парасимпатического, так и симпатического отделов нервной системы (сердечно — судистый контур).
3. Полный спектр частот (Total) — менее 0.40 Гц. Данный показатель является интегральным и отражает воздействие и симпатического и парасимпатического отделов автономной нервной системы.
4. Соотношение симпатических и парасимпатических влияний характеризуется с помощью отношения мощностей LF/HF.

Все полученные результаты были обработаны статистически и выражались в виде среднего значения и стандартной ошибки средней, а значимость различий в группах оценивали по t-критерию Стьюдента.

Исследование механизмов адаптации, исходя из параметров, полученных при помощи АПК «ОМЕГА-С», проводилось до и непосредственно после криопроцедур. Анализ полученных результатов выявил как сходные закономерности, так и отдельные различия. В результате прохождения процедур как в криокабине КАЭКТ-01 «КРИОН», так и в криосауне «Криоспейс» наблюдалось снижение частоты сердечных сокращений, улучшение ригидности кардиоритма, переход от срыва адаптационных возможностей организма к их оптимизации, а также восстановление энергообеспечения организма. Так, после воздействия криопроцедур уровень адаптации к физическим нагрузкам повышался с $71,2 \pm 7,0$ до $84,3 \pm 10$, а уровень тренированности с $79,9 \pm 19,7$ до $94,8 \pm 6,6$. Исследования показали, что криопроцедуры в криокабине КАЭКТ-01 «КРИОН» по сравнению с криосауной «Криоспейс» оказывают на организм испытуемого менее выраженное стрессовое воздействие, на что указывает снижение показателя соотношения LF/HF с $4,57 \pm 2,64$ и до $2,4 \pm 1,7$ после процедуры, а также подтверждается субъективной оценкой испытуемого. Также различия в пользу криокабины КАЭКТ-01 «КРИОН» отмечены при анализе факторов Дельта, Альфа и Бета, отображающих интенсификационную дифференциацию, и факторов, опосредованно характеризующих быстроту принятия решений и долгосрочную память, соответственно. В то же время показано, что в криосауне «Криоспейс» в поддержании энергобаланса организма превалирует жировое обеспечение, а в криокабине КАЭКТ-01 «КРИОН» белковое, то есть мышечное. Это косвенно подтверждается исследованием кодов структурного статуса.

Известно, что сама система терморегуляции при достаточно интенсивном действии холода на организм приобретает новые качества, повышающие эффективность ее работы в области низких температур. В системе терморегуляции нет специальных структур теплопродукции, в нее вовлекаются почти все органы и ткани организма (эта функция для них как бы второстепенная, не основная). В терморегуляторных реакциях принимают непосредственное участие и физиологические системы в целом (сердечно-сосудистая, дыхание, эндокринная и др.). В связи с этим вопрос о положительном или отрицательном влиянии адаптивных изменений в системе терморегуляции на функцию других систем организма приобретает особую актуальность.

Анализ основных показателей (табл. 1, 2), характеризующих адаптацию состояния спортсменов после использования криотерапии, позволил установить ряд закономерностей.

1. Наблюдается снижение показателя пульс-контроля, что свидетельствует о гармонизации тренировочного процесса.

2. Установлено уменьшение ИВР (индекс вегетативного равновесия), что свидетельствует о снижении стрессорного воздействия на ВНС (вегетативная нервная система) после указанных процедур.

3. Отмечено повышение ВПР (вегетативный показатель ритма), что свидетельствует о гармонизации регуляции сердечно-сосудистого контура ВНС.

4. Снижение ИН (индекс напряженности) свидетельствует о том, что здоровье улучшилось к концу курса общей аэрокриотерапии у всех наблюдаемых, что является одним из составляющих успешного выступления спортсменов на соревнованиях.

Таблица 1 – Изменение показателей кардио-респираторной системы спортсменов до и после криотерапии

ПОКАЗАТЕЛИ	До процедуры	После процедуры
Пульс	79,5± 10,6	74,5± 12
ИВР – индекс вегетативного равновесия	110,8± 49,5	72,1± 18,6
ВПР – вегетативный показатель ритма	0,38± 0,06	0,39± 0,05
ИН – индекс напряженности	78,3± 42,3	45,9± 14,7

Анализируя данные, отражающие частотные характеристики (табл. 2), видно, что у спортсменов после курса общей аэрокриотерапии отмечается рост показателя Total, который как было сказано выше, является интегральным и отражает воздействие и симпатического и парасимпатического отделов автономной нервной системы, кроме того отмечается снижение отношения мощностей LF/HF, что также является положительным фактором.

Таблица 2 – Влияние курса криопроцедур в криокабине КАЭКТ-01 «КРИОН» на частотные характеристики, отражающие состояние кардио-респираторной системы организма

Показатели	До процедуры	После процедуры
HF – высокие частоты	44,2± 16,9	1263,6± 1012,6
LF – низкие частоты	1352,5± 357,4	2009,3± 590,0
Total – полный спектр частот	3096,5± 1348,4	4671,9± 1294,2
Энергетический баланс	1,03± 0,25	1,11± 0,65
Z	0,416± 0,047	0,556± 0,057
LF/HF	4,57± 2,64	2,4± 1,7

Применение криотерапии в различных областях показало, что эта методика оказывает на организм неспецифическое общестимулирующее действие. Именно этим объясняется необычайно широкий спектр практического применения криогенных газовых процедур. В отдельных случаях применение криотерапии позволяет корректировать полярные состояния важнейших систем организма. Например, криотерапию успешно применяют для лечения аллергии и иммунодефицитов. При этом схема проведения процедур в обоих случаях одинаковая, но в результате активность иммунной системы сдвигается в сторону нормы. Можно утверждать, что криотерапевтическое воздействие вызывает в организме процесс автокоррекции, при котором выявляются и устраняются отклонения от физиологической нормы [2; 3].

Практика лечебного применения этой эффективной методики дает достаточно фактов, на основании которых можно рассчитывать на быстрое проникновение криотерапии в профессиональный и любительский спорт. Наиболее привлекательным и очевидным свойством криотерапии является способность быстро и надолго снимать боль и скованность суставов. Обезболивание наступает уже через 5–10 мин после воздействия холодом и длится 6–8 ч.

Суммируя практические результаты, достигнутые при лечебном применении криотерапии, можно утверждать, что криотерапевтическое воздействие обеспечивает выброс эндорфинов, нормализацию иммунной системы, нормализацию обменных процессов, интенсификацию периферийного кровообращения, ускорение регенеративных процессов. Наблюдаемый после криовоздействия выброс эндорфинов компенсирует психологические перегрузки у спортсменов от интенсивных тренировок, создает стимул к повышению двигательной активности. Спустя 6–8 ч после процедуры наступает период релаксации, снимается дневная усталость, наступает глубокий и здоровый сон. Но, существуют и другие, скрытые от наблюдения, результаты холодового воздействия, которые обеспечивают высокий интерес к криотерапии со стороны тренеров и спортивных врачей [4].

Таким образом, в результате исследования состояния кардио-респираторной системы был зарегистрирован положительный эффект курса общей аэрокриотерапии на физическую работоспособность спортсменов. Он заключается в повышении экономизации использования энергии, вырабатываемой организмом при тренировочном процессе [5], снижении влияния стрессовых факторов, повышении адаптационных возможностей организма спортсменов к физическим и эмоциональным нагрузкам. Показано, что курс общей аэрокриотерапии способствует повышению спортивной формы организма как за счет оптимизации резервов регуляции тренированности, компенсации энергообеспечения, так и благодаря улучшению управления саморегуляции со стороны центральной нервной системы. Учитывая быстротечность криотерапевтического воздействия, возможно применение криотерапии как до, так и после тренировки. Причем во втором случае, криотерапия обеспечит психологическую разгрузку, ускорит вывод из организма продуктов интенсивной тренировки. Такой подход позволяет расширить диапазон компенсаторных возможностей организма на фоне максимально возможного объема и интенсивности физических и психоэмоциональных нагрузок у спортсменов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Солопов, И. П. Функциональная подготовка спортсменов Волгоградской государственной академии физической культуры / И. П. Солопов, А. И. Шамардин // Волгоград: ПринТерра-Дизайн, 2003. – С. 131–134.
2. Волотовская, А. В. Криотерапия: учеб. -метод. пособие / А. В. Волотовская, Г. К. Колтович, Л. Е. Козловская, А. Н. Мумин. – Минск: Бел.МАПО, 2010. – С. 3–18.
3. Радченко, С. М. Оценка влияния криотерапии на сердечно-сосудистую систему / С. М. Радченко, О. А. Панченко // Криотерапия в России: Материалы VI Междунар. научно-практ. конф. / под общ. ред. проф. А. Ю. Баранова. – СПб.: СПбГУНиПт 2013. – С. 58–70.
4. Осецкий, А. И. Комплекс общей экстремальной криотерапии человека с рабочей температурой воздушной среды –150 °С/ А. И. Осецкий, А. Н. Гольцев // Криотерапия: безопасные технологии применения: материалы научн. практ. конф. 2012. – К.: КВИЦ, 2012. – С. 3–22.
5. Левин, М. Л. Термографический мониторинг при локальной и общей газовой криотерапии / М. Л. Левин, А. А. Маханек, С. М. Данилова-Третьяк, В. Г. Лещенко // Препринт №4, Институт тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова НАН Беларуси. – 2014. – 61 с.

ОЦЕНКА НАИБОЛЕЕ ЧАСТО ВСТРЕЧАЮЩИХСЯ ОСЛОЖНЕНИЙ БЕРЕМЕННОСТИ У ЖЕНЩИН В СОВРЕМЕННЫХ РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ ASSESSMENT OF THE MOST COMMON PREGNANCY COMPLICATIONS AMONG WOMEN IN MODERN RADIO –ECOLOGICAL CONDITIONS

В. С. Сулейманова, О. Н. Аблековская
V. Suleymanova, O. Ablekovskaja

*Белорусский государственный университет, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ,
г. Минск, Республика Беларусь
kevlich17.94@mail.ru
Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus*

Проблема гестозов беременных является одной из наиболее актуальных в современном акушерстве и в структуре акушерской заболеваемости занимает ведущее место. В Республике Беларусь среди причин материнской смертности гестоз стоит на втором месте после акушерских кровотечений. В полиэтиологичность гестозов наряду с биологическими и социальными факторами вносят вклад и экологические факторы антропогенного происхождения, снижающие адаптационные возможности организма.

The problem of gestosis of pregnant women is one of the most urgent in modern obstetrics and in the structure of obstetric morbidity occupies a leading place. In the Republic of Belarus, gestosis is the second leading cause of maternal mortality after obstetric bleeding. In polyetiology of gestosis, along with biological and social factors contribute to the environmental factors of anthropogenic origin, reducing the adaptive capacity of the body.

Ключевые слова: поздние гестозы, отеки беременных, нефропатия, преэклампсия, эклампсия.

Keywords: late gestosis, edema of pregnant women, nephropathy, preeclampsia, eclampsia.

Известно, что при нарушении приспособительных механизмов, изначально сниженных адаптационных возможностях у беременных возникают различные патологические состояния, специфичные для беременности, наиболее тяжелым и распространенным из которых являются гестозы. Такое состояние развивается во время

беременности, в родах или в первые дни после них и сопровождается выраженным нарушением жизнедеятельности важных органов. Так, например, в результате каскада реакций возникает спазм сосудов во всех тканях, нарушается их кровоснабжение, развивается дистрофия. Поражаются нервная система, сердце и сосуды, плацента и плод, почки и печень [1].

Гестоз у беременных развивается в 12–15 % случаев и является главной причиной смерти женщин в третьем триместре беременности. У женщин после перенесенного гестоза страдают почки, возможно развитие хронической артериальной гипертензии. Кроме того, при развитии этого осложнения на поздних сроках и в родах гибнет до трети всех детей. Опасность гестоза для плода обусловлена сложившейся внутриутробной гипоксией и задержкой его развития [4].

Целью настоящего исследования является анализ общей динамики и динамики поздних гестозов беременных по нозологическим формам Наровлянского района Гомельской области за период 2010–2017 гг.

В работе были использованы следующие методы исследования: расчёт относительных показателей, расчет экстенсивных коэффициентов, вычисление многолетней тенденции по параболе первого порядка, расчет темпа прироста заболеваемости, определение достоверных различий в двух совокупностях, анализ динамических рядов методом экспоненциального сглаживания по скользящей средней [3].

Изучение динамики проявлений поздних гестозов беременных Наровлянского р-на Гомельской обл. за период 2010–2017 гг. позволило выявить тенденцию к снижению как числа случаев поздних гестозов, так и отдельных нозологических форм (рис. 1, 2). Так, например, если в 2010 г. был зарегистрирован 221,4 случая на 1000 родов, то к 2017 г. этот показатель снизился на 47 % и составил 118,1 случая на 1000 родов. При этом среднегодовой показатель частоты случаев поздних гестозов составил 167,33 на 1000 родов.

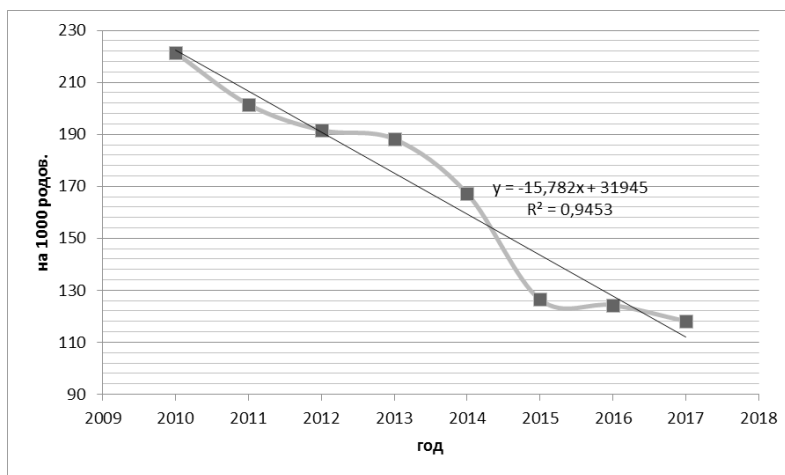


Рисунок 1 – Динамика показателей поздних гестозов беременных Наровлянского р-на Гомельской обл. за период 2010–2017 гг. (зарегистрировано всего на 1000 родов)

Относительно проявлений такого самого раннего симптома гестоза как отеки надо сказать, что динамика показателей отеков (водянки) беременных Наровлянского района за период 2010–2017 гг. также имела тенденцию к снижению и уменьшилась на 42 % к концу анализируемого периода (рис. 2). Так, например, если в 2010 г. этот показатель составил 102,61 на 1000 родов, то уже к 2017 г. он снизился до 59,89 на 1000 родов.

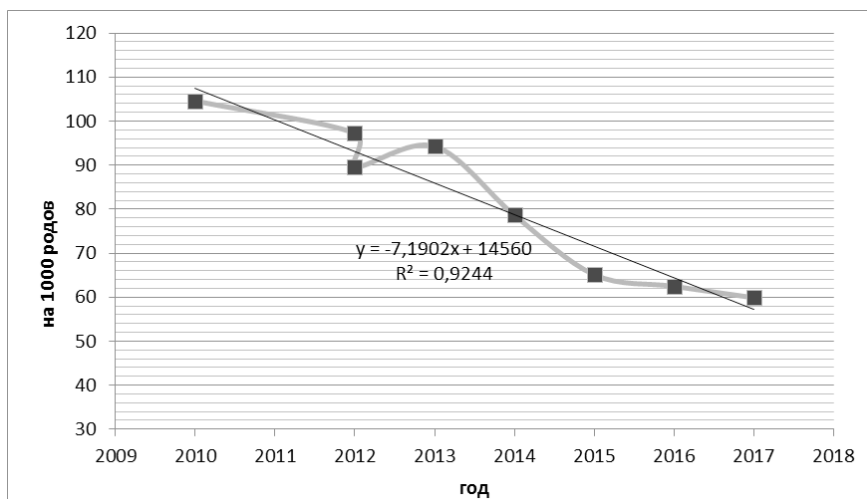


Рисунок 2 – Динамика показателей водянки беременных Наровлянского р-на Гомельской обл. за период 2010–2017 гг. (зарегистрировано всего на 1000 родов)

Среднегодовой показатель частоты случаев отеков (водянки) беременных составил в Наровлянском р-не 81,49 случаев на 1000 родов. Хорошо известно, что водянка беременных, характеризующаяся появлением скрытых и явных стойких отеков при нормальном артериальном давлении и отсутствии белка в моче, может предшествовать нефропатии.

Важным диагностическим и прогностическим признаком гестоза наряду с отеками выступает и протеинурия, прогрессирование которой свидетельствует об ухудшении течения заболевания. Как правило, отеками и протеинурией, а также повышением артериального давления дают о себе знать нефропатии, которые могут стать причиной возникновения пороков развития разных органов у плода, отслойки плаценты, гипоксии, самопроизвольного аборта, а также причиной осложненных либо преждевременных родов. Что же касается анализа нефропатий в зависимости от степени тяжести, то важно знать, что нефропатия условно делится на 3 стадии (рис. 3). Так как последствия нефропатий очень тяжелые, очень важно диагностировать данное состояние на раннем его этапе и не допускать прогрессирования. В этом случае прогноз будет благоприятным. Однако при прогрессировании нефропатии возможно развитие почечной недостаточности, что создает угрозу жизни женщины. Следует отметить, что при правильно оказанной медицинской помощи и вовремя установленном диагнозе возможно рождение полностью здорового ребенка. В ином случае возможны самые разные нарушения, вплоть до возникновения риска замиранья беременности или гибели плода.

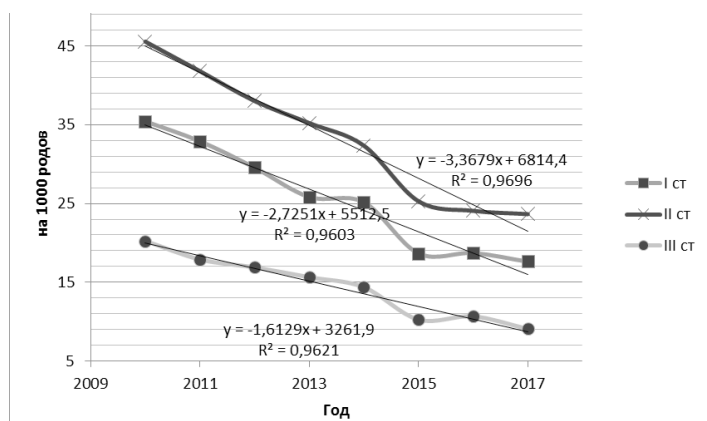


Рисунок 3 – Динамика показателей нефропатии по степени тяжести беременных Наровлянского р-на за период 2010–2017 гг. (зарегистрировано всего на 1000 родов)

Наше исследование показало, что динамика показателей нефропатий по степени тяжести беременных Наровлянского р-на за период 2010–2017 гг. проявила тенденцию к снижению (рис. 3). Так, показатель числа случаев нефропатии I стадии за период с 2010 по 2017 гг. снизился в два раза, показатель числа случаев нефропатии II и III стадий также почти в два раза. Среднегодовой показатель частоты случаев нефропатии I стадии при этом составил 25,48 на 1000 родов, нефропатии II стадии – 33,24 на 1000 родов, а нефропатии III стадии – 14,38 на 1000 родов.

К поздним гестозам беременных относят преэклампсию, которая представляет собой синдром недостаточности различных органов, сочетающийся с различными симптомами поражения центральной нервной системы той или иной степени тяжести. Как известно, преэклампсия является состоянием, которое предшествует развитию эклампсии. Эклампсия – наиболее тяжелая, критическая форма гестоза, протекающая с судорожным синдромом, потерей сознания, развитием постэклампсической комы и возможным летальным исходом.

Среди последствий преэклампсии стоит отметить острую почечную недостаточность, отек печени с последующим некрозом ее клеток, отек головного мозга, который может привести к коме, отеки легких. Динамика показателей преэклампсии беременных Наровлянского р-на за период 2010–2017 гг. также имела тенденцию к снижению – уменьшилась на 39 % (рис. 4). Показатели частоты случаев преэклампсии в 2010 г. составили 10,23 случая на 1000 родов, а в 2017 – 6,23 на 1000 родов. При этом среднегодовой показатель частоты случаев преэклампсии составил 8,3 на 1000 родов.

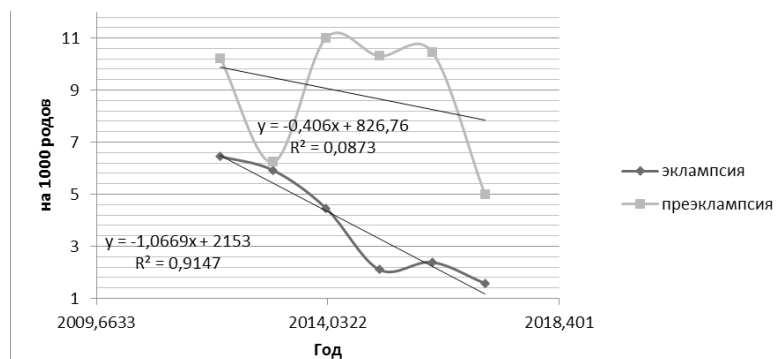


Рисунок 4 – Динамика показателей преэклампсии, эклампсии беременных Наровлянского р-на за период 2010–2017 гг. (зарегистрировано всего на 1000 родов)

Показатели эклампсии беременных Наровлянского района за период 2010–2017 гг. проявили такую же тенденцию как и предыдущие показатели – имело место их снижение на 77,89 % (в 2010 г. показатель составил 7,33 на 1000 родов, а в 2017 он уменьшился до 1,62 на 1000 родов) [2].

Таким образом, на протяжении анализируемого временного периода имело место снижение числа случаев поздних гестозов и отдельных нозологических форм. При этом в структуре поздних гестозов беременных Наровлянского р-на за период 2010–2017 гг. первое место занимали отеки и нефропатии, далее по мере убывания шли преэклампсия и эклампсия. Такую сложившуюся ситуацию можно объяснить совершенствованием и своевременным оказанием медицинской помощи и ранней диагностикой начальных проявлений гестозов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Айламазяна, Э. К. Акушерство: национальное руководство / Э. К. Айламазяна, В. И. Кулакова, В. Е. Радзинского, Г. М. Савельевой. – М.: ГЭОТАР Медиа, 2007. – 1200 с.
2. Демографическое развитие РБ. – Минск: Наука и техника, 2017.
3. Жидкова, О. И. Медицинская статистика: конспект лекций / О. И. Жидкова. – М.: Экология, 2007. – 126 с.
4. Диагностика, профилактика и лечение гестозов: Методические рекомендации / О. Н. Харкевич, И. И. Канус, А. Н. Буянова, Ю. К. Малевич. – Минск, 2011. – 32 с.

ПЕРСОНИФИЦИРОВАННЫЙ ПОДХОД К ПРОФИЛАКТИКЕ ПРОИЗВОДСТВЕННО ОБУСЛОВЛЕННЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ

PERSONALIZED APPROACH TO THE PREVENTION OF PRODUCTION-RELATED DISEASES

С. И. Сычик, А. В. Зеленко, Е. А. Семушина
S. Sychik, A. Zelenko, E. Semushina

Научно-практический центр гигиены, г. Минск, Республика Беларусь
prof@rspch.by
Scientific and Practical Center for Hygiene, Minsk, Republic of Belarus

Данная статья посвящена разработке новых подходов, направленных на коррекцию состояния здоровья работников в абиотической среде обитания. Воздействие химического производственного фактора на систему защиты организма от неблагоприятных факторов среды обитания работников нарушает функции системы биотрансформации ксенобиотиков и антиоксидантной системы организма. В связи с этим одним из наиболее прогрессивных подходов является разработка стратегии ранней диагностики, прогнозирования и превентивной терапии заболеваний с использованием генетических маркеров. Изучение связи генетических полиморфизмов у работников, занятых в условиях воздействия вредного производственного фактора, с развитием заболеваний позволит выявлять группы повышенного риска и определять меры своевременной профилактики. Результаты применения данного метода позволят определить степень риска развития заболеваний у работников, занятых в условиях воздействия химического производственного фактора. Принятие своевременных профилактических мер будет способствовать сокращению числа и случаев временной нетрудоспособностей работников предприятий приоритетных для Республики Беларусь отраслей промышленности.

This article focuses on the development of new approaches aimed at correcting the health of workers in the abiotic environment. The influence of chemical factors on the system of protection of the organism from adverse factors of environment workers violates the functions of the system of biotransformation of xenobiotics and antioxidant system of the body. This problem causes the increase of morbidity, including temporary disability, thereby affecting the demographic, socio-economic indicators. In this regard, one of the most progressive approaches is to develop strategies for early diagnosis, prediction and preventive treatment of diseases using genetic markers. To study the Association of genetic polymorphisms in workers employed in conditions of exposure to harmful factors, with the development of disease will help to identify high-risk groups and to identify measures for timely prevention. Also to control the influence of chemical factors on the organism of workers is a promising determination of the integrity of the genetic structures of cells using cytogenetic methods. The results of this method will determine the risk of developing diseases in workers employed in conditions of exposure to chemical industrial factors. The adoption of timely preventive measures will help to reduce the number of cases of temporary incapacity of workers of the enterprises of priority for the Republic of Belarus of industries.

Ключевые слова: химический производственный фактор, генетические маркеры, заболевания.

Keywords: chemical production factor, genetic markers, disease.

В Государственной программе «Здоровье народа и демографическая безопасность» особое внимание уделяется совершенствованию технологий первичной профилактики – предупреждению хронических неинфекционных заболеваний (далее – ХНИЗ), определяющих, в первую очередь, демографическую ситуацию в Республике Беларусь. Одной из задач подпрограммы 2 «Профилактика и контроль неинфекционных заболеваний» являются: снижение влияния факторов риска (далее – ФР) неинфекционных заболеваний за счет создания единой профилактической среды. В настоящее время общепризнано, что широкое распространение ХНИЗ, в основном, обусловлено особенностями образа жизни и воздействием окружающей среды и связанными с ними ФР. По данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), свыше 100 000 химических веществ, около 50 физических и 200 биологических факторов, около 20 неблагоприятных эргономических условий, 20 видов физических перегрузок наряду с психологическими и социальными проблемами могут быть вредными факторами и повышать риск развития неинфекционной патологии.

Устойчивый рост благосостояния населения и экономического потенциала страны находится в прямой зависимости от уровня здоровья населения, которое определяется здоровьем каждого индивидуума. Нарушение здоровья и снижение работоспособности трудящихся могут обусловить экономические потери до 10–20 % валового национального продукта. При этом существенное значение имеют показатели здоровья трудоспособного населения, поскольку именно оно в значительной степени обеспечивает будущее следующего поколения.

В соответствии с Конвенцией МОТ 1990 года о безопасности при использовании химических веществ на производстве (№ 170) термин «химические вещества» означает химические элементы и соединения, а также смеси из них – как природные, так и искусственные (например, получаемые в ходе различных производственных процессов).

В соответствии с данной Конвенцией термин «использование химических веществ на производстве» означает любую трудовую деятельность, при которой работник может подвергнуться воздействию химического вещества, включая:

- производство химических веществ;
- обращение с химическими веществами;
- хранение химических веществ;
- транспортировку химических веществ;
- удаление и обработку отходов химических веществ;
- выброс химических веществ в результате производственной деятельности;
- эксплуатацию, ремонт и очистку химического оборудования и контейнеров.

По данным Всемирной организации здравоохранения около 25 % заболеваемости трудоспособного населения могут быть связаны с условиями работы.

Воздействие факторов химической природы обуславливает высокие показатели как общесоматической патологии, так и заболеваний кожи, бронхолегочной, нервной, сердечно-сосудистой системы, определяя значительные экономические потери в связи с временной нетрудоспособностью и преждевременным старением работников. В связи с этим, раннее выявление и предупреждение развития заболеваний работников, занятых в условиях воздействия химического производственного фактора, представляется актуальной и приоритетной задачей здравоохранения, затрагивающей не только медицинские, но и социально-экономические и экологические проблемы.

Однако, вместе с очевидными научно-техническими достижениями в химической промышленности сформировался комплекс неблагоприятных факторов производства, включающий в себя химические, физические и психо-эмоциональные составляющие.

Химический состав токсических факторов стал более сложным и приобрел комбинированный характер [1–3]. Загрязнение промышленными выбросами атмосферного воздуха, почвы и воды, химизация производства и быта способствуют тому, что действие этих факторов на организм работающих не ограничивается временем пребывания их на производстве.

Известно, что химические факторы, присутствующие на промышленных предприятиях, оказывают неблагоприятное воздействие на здоровье работающих. Многие авторы отмечают высокую сердечно-сосудистую заболеваемость у рабочих данных производств.

Около 25 % заболеваемости трудоспособного населения могут быть связаны с условиями работы.

Воздействие факторов химической природы обуславливает высокие показатели как общесоматической патологии, так и заболеваний кожи, бронхолегочной, нервной, сердечно-сосудистой системы, определяя значительные экономические потери в связи с временной нетрудоспособностью и преждевременным старением работников. Уровень трудопотерь имеет прямую связь с производственными, экологическими, демографическими, социально-экономическими факторами, образом жизни, качеством и эффективностью медицинской помощи и выражается уровнем «временной нетрудоспособности» [4; 5].

В этой ситуации одной из стратегических целей профилактической медицины является разработка новых подходов, направленных на коррекцию состояния здоровья людей в абиотической среде обитания.

Исследования последних лет показали, что характер развивающейся патологии, клинические проявления и течение заболеваний у работающих в одинаковых условиях определяются не только характером, составом и длительностью воздействия вредных производственных факторов, но и индивидуальными генетическими особенностями организма [6].

Своевременно полученные знания о персональных генетических особенностях каждого организма могут позволить в значительной степени снизить риск развития патологии и принять адекватные действия в сторону профилактики и полного излечения.

В последнее время перспективным подходом для оценки индивидуальной чувствительности (устойчивости) организма к воздействию неблагоприятных факторов представляется поиск и анализ генетических маркеров и их ассоциаций с различными заболеваниями. Индивидуальные отличия в последовательностях генов, вовлеченных в реакцию организма на условия окружающей среды, могут играть большую роль в развитии предрасположенности к ряду заболеваний [1; 7].

Данная методика позволит разработать стратегию ранней диагностики, прогнозирования и превентивной терапии заболеваний с использованием генетических маркеров.

Изменения последовательности в структуре геномной ДНК (делеции, инверсии, инсерции или хромосомные перестройки) приводят к нарушению работы ферментов биотрансформации ксенобиотиков и антиоксидантной системы, оказывая существенное влияние на функцию и активность ферментов. Данные процессы приводят к накоплению токсических веществ в организме, нарушают гомеостаз.

В связи с этим изучение полиморфизма генов, контролирующих активность ферментов, является весьма актуальной задачей, так как установление связи гена/генов с заболеванием у работников химических производств и последующая оценка индивидуального химического риска имеет важное значение для определения и разработки дифференцированных подходов к профилактике, диагностике и лечению патологий в зависимости от конкретной наследственной предрасположенности у пациента. С помощью генетических маркеров, выявленных в процессе исследования, можно заниматься разработкой стратегией ранней диагностики и прогнозированием рисков.

Министерством здравоохранения Республики Беларусь утверждена и выполняется отраслевая научно-техническая программа «Здоровье и среда обитания», целью которой является разработка научно обоснованных медико-профилактических мер, обеспечивающих благоприятные и безопасные условия жизнедеятельности, системное и последовательное снижение риска здоровью, ассоциированного с влиянием факторов среды обитания человека, в условиях устойчивого развития Республики Беларусь. Головной организацией-исполнителем данной программы является Республиканское унитарное предприятие «Научно практический центр гигиены».

Одна из задач программы – снижение риска возникновения профессионально обусловленной патологии, совершенствование методов и средств для ранней функциональной и лабораторной диагностики в медицине труда и профессиональной патологии.

Профессии работников, подвергающихся воздействию вредного химического фактора на данном предприятии: плавильщик металлов и сплавов, литейщик цветных металлов. Работники в этом подразделении имеют контакт со следующими химическими веществами: оксид цинка, нитрит натрия, марганец и др. Классы условий труда у рабочих данных профессий – 3.2. В условиях производства проявляется неблагоприятный кумулятивный эффект комплексного фактора, при котором вредное воздействие каждого отдельного ингредиента (пыли, газов, температуры, вибрации, шума) резко увеличивается.

Нами изучены условия труда рабочих предприятия и их влияние на заболеваемость с временной нетрудоспособностью. Определена структура временной нетрудоспособности по основным классам заболеваний. Установлено, что лидирующее положение в структуре заболеваемости работников занимают болезни органов дыхания, болезни костно-мышечной системы, травмы, болезни системы кровообращения, болезни системы пищеварения. Создана база данных о заболеваниях работников, занятых в условиях воздействия химического производственного фактора. Дана оценка производственным и непроизводственным (бытовых) факторам в развитии наиболее распространенных видов неинфекционной патологии у работников предприятий. Установлена причинно-следственная связь между показателями заболеваемости с временной нетрудоспособности и стажем работы в условиях воздействия химического производственного фактора.

Для проведения генетических исследований взят буккальный эпителий работников предприятий.

Проведен выбор и обоснование ряда генов и их полиморфизмов для анализа, сформирован их перечень, подобраны последовательности ген-специфических праймеров. Выборочно выделена общая фракция ДНК образцов биологического материала контрольной группы. Биологический материал представлял собой образцы буккального эпителия, взятого с использованием одноразовых стерильных ватных зондов. Проведена оценка качественных и количественных характеристик, полученных образцов ДНК. По заданию выполнен дизайн олигонуклеотидных праймеров для проведения молекулярно-генетических исследований образцов ДНК, а также проведена оптимизация условий проведения полимеразной цепной реакции для анализа полиморфизмов генов при определении индивидуальных особенностей ДНК сформированных групп работников. Проведена оптимизация всех этапов определения первичной нуклеотидной последовательности ДНК (секвенирования) двух выбранных генов-мишеней СУР1А1 и СУР1В1. Выделены ДНК из образцов биологического материала контрольной группы. Проведен анализ полиморфизмов генов экспериментальной выборки образцов биологического материала. Создана база данных, содержащая образцы ДНК содержащая систему кодов сотрудников предприятий и базовые характеристики образцов ДНК. Проведено секвенирование двух выбранных генов-мишеней СУР1А1 и СУР1В1 – кодирующие экзоны гена СУР1В1 и регуляторный и кодирующие экзоны гена СУР1А1. Таким образом, в ходе работы были получены концентрированные высокоочищенные образцы ДНК, выделенные из буккального эпителия работников, занятых в условиях химического производственного фактора. Качество выделенных

образцов ДНК подтверждено спектрофотометрическим и гель-электрофоретическим методами. По результатам молекулярно-биологического тестирования дана оценка цитостатическому и цитотоксическому действию химического фактора с использованием микроядерного теста. Установлено так же, что уровень клеток с микроядрами и признаками гибели зависит от скорости пролиферации клеток.

По итогам проведенной работы было установлено, что влияние химического производственного фактора на организм работников, имеющих аномалии нативной последовательностей ДНК, провоцирует в развитии ряда заболеваний неинфекционной этиологии.

В результате проведенных исследований впервые в Республике Беларусь выявлены генетические маркеры, определяющие предрасположенность к развитию заболеваний у работников, занятых в условиях воздействия химического производственного фактора. Разработан метод оценки риска развития заболеваний у работников, занятых в условиях воздействия химического производственного фактора.

Аналоги методов по выявлению генетической предрасположенности к развитию заболеваний у работников, занятых в условиях воздействия химического производственного фактора, в Республике Беларусь и странах СНГ отсутствуют. В связи с тем, что генетические особенности организма определяются как расовой, так и популяционной специфичностью, результаты планируемых в рамках проекта молекулярно-биологических исследований индивидуальных особенностей работников, занятых в условиях воздействия химического производственного фактора, являются актуальными и позволят идентифицировать специфические генетические маркеры, характерные для белорусской популяции.

Принятие своевременных профилактических мер будет способствовать снижению заболеваемости, сократить число и длительность случаев временной нетрудоспособности работников приоритетных для Республики Беларусь отраслей: нефтехимической, машиностроительной, химической и др., а также позволит рационально использовать материальные ресурсы, направленные на охрану труда и здоровья работников.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гигиена труда и окружающей среды на химических предприятиях / А. П. Михайлуц и др. // Вестн. межрегион. ассоц. здравоохранения Сибири, г. Кемерово. – 2003. – № 1. – С. 27–30.
2. Директива Европейского парламента и Совета ЕС 2002/44/ЕС. О минимальных требованиях к безопасности и охране здоровья работников от возможных рисков, связанных с действием физических факторов (вибрации).
3. Директива Европейского парламента и Совета ЕС 2004/40/ЕС. О минимальных требованиях к безопасности и охране здоровья работников от возможных рисков, связанных с действием физических факторов (электромагнитных полей).
4. Дьякович, М. П. Оценка риска развития общепатологических синдромов у рабочих – аппаратчиков химического производства с учётом их пола / М. П. Дьякович // Медицина труда и пром. экология. – 2000. – № 1. – С. 17–20.
5. Кротов, Ю. А. Принципы нормирования в воздухе рабочей зоны химических соединений, обладающих ольфактивным действием / Ю. А. Кротов, С. А. Дулов, Н. В. Ерунова // Гигиена и санитария. – 2005. – № 1. – С. 58–59.
6. Сибиряк, С. В. Цитокины как регуляторы цитохром Р450–зависимых монооксигеназ. Теоретические и прикладные аспекты / С. В. Сибиряк // Цитокины и воспаление. – 2003. – № 2. – С. 27–31.
7. Щепин, В. О. Профилактика в условиях реформирования Российского здравоохранения / В. О. Щепин, О. Е. Петручук // Пробл. соц. гигиены, здравоохранения и истории медицины. – 2004. – № 4. – С. 29–33.

ГИГИЕНИЧЕСКОЕ НОРМИРОВАНИЕ КОМБИНИРОВАННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ТРАНСПОРТНОЙ И ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ВИБРАЦИИ HYGIENIC NORMALIZATION OF COMBINED IMPACT OF TRANSPORT AND TRANSPORT-TECHNOLOGICAL VIBRATION

С. И. Сычик, И. В. Соловьева, А. В. Кравцов, И. В. Арбузов
S. Sychyk, I. Solowjova, A. Kravtsov, I. Arbuzov

Научно-практический центр гигиены, г. Минск, Республика Беларусь
prof@rspch.by
Scientific and Practical Center of Hygiene, Minsk, Republic of Belarus

Для рабочих мест водителей-операторов автокранов, автовышек, автопогрузчиков и подобных транспортно-технологических средств, испытывающих комбинированное воздействие транспортной и транспортно-технологической вибрации в течение рабочей смены, применение гигиенических критериев оценки транспортной или транспортно-технологической вибрации некорректно. Транспортная и транспортно-тех-

нологическая вибрация оцениваются разными гигиеническими нормативами. Для адекватной оценки условий труда данной категории работников авторами проведены исследования и разработаны гигиенические критерии и метод гигиенической оценки комбинированного воздействия вибрации двух категорий.

For the workplaces of drivers-operators of truck cranes, aerial platforms, forklifts and similar transport and technological means experiencing the combined effects of transport and transport and technological vibration during a work shift, the use of hygienic criteria for assessing transport or transport and technological vibration is incorrect. Transport and technological vibration are assessed by various hygienic standards. For an adequate assessment of the working conditions of this category of workers, the authors conducted research and developed hygienic criteria and a method of hygienic assessment of the combined effects of vibration in two categories.

Ключевые слова: вибрация транспортная, вибрация транспортно-технологическая, водители-операторы, автокраны, автовышки, автопогрузчики, рабочие места, метод оценки, воздействие.

Keywords: transport vibration, transport technological vibration, driver-operators, truck cranes, aerial platforms, lift trucks, workplaces, assessment method, impact.

Одной из основных задач медицинской науки и здравоохранения в области гигиены труда является снижение общей и профессиональной заболеваемости. Важность проблемы оздоровления условий труда и предупреждения профессиональной патологии определяется необходимостью сохранения здоровья рабочих, снижения инвалидности и смертности, сокращения расходов на социальное обеспечение и медицинское обслуживание.

Достоверная оценка факторов рабочей среды и состояния здоровья работников являются двумя сторонами одной медали, и только адекватным развитием методологических подходов можно достичь положительных результатов в профилактике профессиональных заболеваний, связанных с работой. Профессиональная заболеваемость, непосредственно связанная с неблагоприятным воздействием факторов производственной среды и трудового процесса, является основой для выбора приоритетных мероприятий по профилактике и улучшению здоровья работающих [1; 2]. В структуре современной профессиональной патологии лидируют заболевания, связанные с воздействием физических факторов. [3]. Вибрационная болезнь в отдельных отраслях (машиностроение, технологический автотранспорт, стройиндустрия) преобладает среди других форм профессиональных заболеваний [4].

Борьба с вибрацией на современном этапе технического прогресса приобретает все большую социальную и гигиеническую значимость. Это вызвано, с одной стороны, интенсификацией существующих технологических процессов, с другой – возрастающим внедрением во все отрасли хозяйства виброактивной техники [5].

Длительное воздействие высоких уровней вибрации на организм человека приводит к преждевременному утомлению, снижению производительности труда, а зачастую к развитию профессиональной и росту общей заболеваемости и сопряжено со значительным социально-экономическим ущербом.

Постоянно проводимый лабораторный контроль производственной среды в Республике Беларусь показал, что основными вредными факторами, уровни которых не соответствуют гигиеническим нормативам, по-прежнему остаются шум – на 33,4 % рабочих мест из числа обследованных и вибрация – на 29,2 % рабочих мест.

Воздействие общей низко- и среднечастотной вибрации выражается изменениями в пояснично-крестцовом отделе позвоночника, общими вегетативными расстройствами с периферическими нарушениями, преимущественно в конечностях, снижением сосудистого тонуса и чувствительности. Влияние вибрации на организм человека за счет прямого и опосредованного воздействия на костно-мышечный аппарат, вестибулярный анализатор способствует прогрессированию заболеваний опорно-двигательного аппарата, сердечно-сосудистых и неврологических заболеваний.

В литературе недостаточно полно представлены данные, объясняющие причины повышенной восприимчивости или устойчивости к действию вибрации, механизмы формирования ответных реакций на воздействие вибрации с позиций реагирования организма как единого целого. В недостаточной степени изучена динамика формирования ответных реакций организма у практически здоровых рабочих, в том числе с длительным стажем работы.

Для ряда профессий (водители-операторы автокранов, автовышек, автопогрузчиков, мобильных подъемных платформ и др.) в течение рабочей смены имеет место воздействие транспортной вибрации при передвижении технологических машин и транспортно-технологической вибрации при выполнении технологических операций. До настоящего времени мало изучено комбинированное воздействие разных видов вибраций на человека в течение смены.

Гигиеническое нормирование вибрации для водителей транспортных средств осуществляется двумя категориями: транспортной и транспортно-технологической. Эти две категории вибрации оцениваются разными гигиеническими нормативами.

Для случая комбинированного воздействия транспортной и транспортно-технологической вибрации в течение смены применение гигиенических критериев оценки транспортной или транспортно-технологической вибрации некорректно, так как вибрационное воздействие оценивается за рабочую смену, а в течение рабочей смены имеет место воздействие как транспортной, так и транспортно-технологической вибрации.

Поэтому адекватно оценить условия труда водителей-операторов автокранов, автовышек, автопогрузчиков, мобильных подъемных платформ и подобных транспортных средств, не имея гигиенических критериев и метода гигиенической оценки комбинированного воздействия вибрации двух категорий не представляется возможным.

В рамках задания отраслевой научно-технической программы Министерства здравоохранения Республики Беларусь «Здоровье и среда обитания» республиканским унитарным предприятием «Научно-практический центр гигиены» разработаны предельно-допустимые уровни и метод гигиенической оценки комбинированного воздействия транспортной и транспортно-технологической вибрации в производственных условиях.

Критерии гигиенической оценки вибрационных нагрузок на работающих в условиях комбинированного воздействия транспортной и транспортно-технологической вибрации разрабатывались на основе комплексных физиолого-гигиенических исследований, включающих:

- комплексную гигиеническую оценку воздействия транспортной и транспортно-технологической вибрации на рабочих местах водителей автокранов, автовышек, мобильных подъемных платформ, автопогрузчиков, грузового / легкового транспорта, грузового транспорта / автобуса в динамике рабочей смены с учетом тяжести и напряженности трудового процесса, экспозиционных и дозо-временных зависимостей данных факторов в течение рабочей смены;

- изучение влияния комбинированного воздействия транспортной и транспортно-технологической вибрации на организм человека на основе физиолого-гигиенических исследований состояния нервной, сердечно-сосудистой систем, вестибулярного, слухового, зрительного анализаторов человека;

- изучение особенности комбинированного воздействия транспортной и транспортно-технологической вибрации на организм работающих в сравнении с воздействием только транспортной и только транспортно-технологической вибрацией.

В исследованиях участвовали 3 группы водителей, испытывающих в течение рабочей смены различное воздействие вибрации: водители-операторы, испытывающие комбинированное воздействие транспортной и транспортно-технологической вибрации (1-я экспонируемая группа), водители, испытывающие воздействие только транспортной вибрации (2-я экспонируемая группа) и водители, испытывающие только транспортно-технологическую вибрацию (3-я экспонируемая группа).

Физиолого-гигиенические исследования состояния нервной, сердечно-сосудистой систем, вестибулярного, слухового, зрительного анализаторов человека проведены на компьютерном комплексе для психофизиологического тестирования НС-ПсихоТест с применением 11 методик изучения психофизиологического статуса и сердечно-сосудистой системы человека.

По результатам исследований 1-й экспонируемой группы достоверно установлены изменения показателей после окончания смены по отношению к соответствующим показателям до начала смены у водителей-операторов по следующим методикам:

- число запаздывающих реакций после смены больше ($p = 0,02$), чем до рабочей смены, а число реакций опережения до смены ($p = 0,03$) ниже, чем после смены, что свидетельствует о неуравновешенности нервной системы с преобладанием торможения нервных процессов у водителей-операторов после рабочей смены;

- устойчивость реакции к помехам при определении объекта наблюдения у водителей-операторов до рабочей смены по групповому показателю выше ($p = 0,04$), чем по групповому показателю после трудовой смены, что свидетельствует о наличии снижения степени чувствительности к восприятию объектов при наличии помех, как следствие снижения концентрации внимания и общую работоспособность исследованных работников после рабочей смены;

- частота касаний при оценке уровней статического тремора, оцениваемого по методике «Контактная треморометрия», до смены для правой руки в пробе «5 мм» по показателю количество касаний выше ($p < 0,01$), время координации ниже ($p = 0,04$) указанных показателей после рабочей смены;

- продолжительность пробы по методике «Контактная треморометрия по профилю» до рабочей смены для правой и левой рук ниже ($p < 0,01$) данного показателя после рабочей смены; время координации до начала рабочей смены меньше как для правой руки ($p < 0,01$), так и для левой руки ($p < 0,01$), чем после ее окончания; частота касаний до рабочей смены как для правой руки, так и для левой руки выше ($p < 0,01$), чем после окончания рабочей смены.

По результатам сравнения психофизиологического и функционального состояния водителей-операторов, работающих в условиях комбинированного воздействия транспортной и транспортно-технологической вибрации, и водителей грузового транспорта, работающих в условиях воздействия только транспортной вибрации, статистически достоверно установлены следующие отличия показателей:

- уровень простой зрительно моторной реакции водителей-операторов после рабочей смены значительно больше ($p = 0,04$), чем у водителей грузового транспорта;

- уровень функциональных возможностей после рабочей смены у водителей грузового транспорта выше ($p = 0,04$), чем у водителей-операторов;

- реакций опережения по реакции на движущийся объект как до рабочей смены ($p = 0,02$), так и после рабочей смены ($p < 0,01$) у водителей-операторов больше, чем у водителей грузового транспорта; реакций запаздывания после рабочей смены больше ($p < 0,01$) у водителей грузового транспорта, по сравнению с данным показателем у водителей-операторов после рабочей смены;

- среднее значение времени реакции по методике «помехоустойчивость» у водителей-операторов до ($p = 0,03$) и после ($p = 0,04$) рабочей смены ниже данного показателя у водителей грузового транспорта;

– количество касаний, общая длительность касаний, частота касаний в пробе «5 мм» для правой руки меньше ($p < 0,01$) для каждого из показателей, чем у водителей грузового транспорта, время координации и средний период двигательного цикла больше ($p < 0,01$) для каждого из показателей, чем у водителей грузового транспорта; у водителей грузового транспорта после рабочей смены в пробе «5 мм» для правой руки отмечались более высокие показатели количества касаний, общей длительности касаний и частоты касаний ($p < 0,05$) для каждого из показателей, при этом время координации и средний период двигательного цикла меньше ($p < 0,05$) для каждого из показателей, чем у водителей-операторов;

– выносливость левой руки у водителей-операторов до рабочей смены меньше ($p = 0,02$), чем у водителей грузового транспорта.

По результатам сравнения психофизиологического и функционального состояния водителей-операторов, работающих в условиях комбинированного воздействия транспортной и транспортно-технологической вибрации, и водителей, работающих в условиях воздействия только транспортно вибрации, статистически достоверно установлены следующие отличия показателей:

– по тесту критической частоты световых мельканий, установлено, что у водителей 1-й экспонируемой группы как до рабочей смены так и после ее окончания реакция в ответ на убывающие сигналы достоверно ниже ($p < 0,01$ и $p < 0,01$ соответственно), чем у водителей 3-й экспонируемой группы; снижение ($p = 0,02$) уровня реакции по усредненному показателю у водителей 1-й экспонируемой группы после рабочей смены по сравнению с данным показателем у водителей 3-й экспонируемой группы;

– по Теппинг-тесту у водителей 1-й экспонируемой группы общее число ударов, выносливость и лабильность нервной системы достоверно ниже данных показателей, чем у водителей 3-й экспонируемой группы как до рабочей смены, так и после ее окончания при $p < 0,01$ для каждого из показателей;

– усредненный показатель реакции по исследованиям простой зрительно моторной реакции водителей 1-й экспонируемой группы достоверно выше ($p < 0,01$), чем у водителей 3-й экспонируемой группы как до рабочей смены, так и после ее окончания; функциональный уровень системы ($p = 0,05$), уровень реакции ($p = 0,02$) и уровень функциональных возможностей ($p < 0,01$) у водителей 3-й экспонируемой группы выше, чем у водителей 1-й экспонируемой группы после рабочей смены;

– показатели точных и запаздывающих реакций на движущийся объект у водителей 1-й экспонируемой группы меньше ($p < 0,01$ и $p < 0,01$ соответственно), чем у водителей 3-й экспонируемой группы как до рабочей смены, так и после ее окончания; число реакций опережения больше до и после рабочей смены ($p < 0,01$ и $p < 0,01$ соответственно); среднее значение времени реакции до ($p < 0,01$) и после ($p = 0,03$) рабочей смены по методике «помехоустойчивость» у водителей 1-й экспонируемой группы ниже данного показателя 3-й экспонируемой группы;

– по тесту «Координационной треморометрии» показатели количество касаний, общая длительность касаний, частота касаний в пробе «5 мм» для правой руки до рабочей смены ($p < 0,01$) у водителей 1-й экспонируемой группы меньше, чем у водителей 3-й экспонируемой группы; время координации до рабочей смены в пробе «5 мм» для правой руки у водителей 3-й экспонируемой группы меньше ($p < 0,01$), чем у водителей 1-й экспонируемой группы до рабочей смены; средний период двигательного цикла в пробе «5 мм» для правой руки до рабочей смены у водителей 1-й экспонируемой группы больше ($p < 0,01$), чем у водителей 3-й экспонируемой группы; в пробе «6 мм» для правой руки общая длительность касаний до рабочей смены в течение пробы у водителей 3-й экспонируемой группы меньше ($p = 0,04$), чем у водителей 1-й экспонируемой группы; время координации до рабочей смены в пробе «6 мм» для правой руки выше ($p = 0,04$) у водителей 3-й экспонируемой группы, по сравнению с данным показателем у водителей 1-й экспонируемой группы;

– по тесту «Координационной треморометрии по профилю» продолжительность пробы и время координации у водителей 1-й экспонируемой группы до рабочей смены для левой и правой рук ниже ($p < 0,01$) для каждого из показателей, чем у водителей 3-й экспонируемой группы; частота касаний до рабочей смены для обеих рук у водителей 1-й экспонируемой группы выше ($p < 0,01$) для каждого из показателей, чем у водителей 3-й экспонируемой группы; после рабочей смены у водителей 1-й экспонируемой группы продолжительность проб для правой руки ($p = 0,04$) и общая длительность касаний ($p = 0,04$) больше, чем у водителей 3-й экспонируемой группы;

– выносливость правой руки у водителей 1-й экспонируемой группы до и после рабочей смены достоверно меньше ($p < 0,05$ и $p = 0,03$ соответственно), чем у водителей 3-й экспонируемой группы.

По результатам оценки психофизиологического и функционального состояния исследованных водителей-операторов на основании множественного линейного корреляционно-регрессионного анализа зависимости показателей психофизиологического и функционального состояния водителей-операторов после рабочей смены от комбинированного воздействия транспортной и транспортно-технологической вибрации за 8-ми часовую рабочую смену определены психофизиологические признаки, отражающие ответную реакцию организма водителей-операторов на комбинированное воздействие транспортной и транспортно-технологической вибрации после рабочей смены, а также оптимальные пороги психофизиологических показателей, определены предельно допустимые уровни комбинированного воздействия транспортной и транспортно-технологической вибрации по осям X, Y, Z, и по одночисловому (интегральному) показателю.

На основе анализа существующих методов гигиенической оценки транспортной вибрации, транспортно-технологической вибрации, полной транспортной вибрации разработан новый метод гигиенической оценки комбинированного воздействия транспортной и транспортно-технологической вибрации, позволяющий оценивать

комбинированное воздействие транспортной и транспортно-технологической вибрации в производственных условиях. Этот метод представлен в Инструкции по применению № 005-1017 «Метод гигиенической оценки комбинированного воздействия транспортной и транспортно-технологической вибрации», утвержденной заместителем Министра – Главным государственным санитарным врачом Республики Беларусь от 19.12.2017 г.

В целом гигиеническая оценка комбинированного воздействия транспортной и транспортно-технологической вибрации по разработанным показателям безопасности комбинированной вибрации позволит обеспечить эффективный контроль и увеличить точность гигиенической оценки комбинированного воздействия транспортной и транспортно-технологической вибрации для последующего снижения виброопасности условий труда и риска развития производственно обусловленных заболеваний.

ЛИТЕРАТУРА

1. Артамонова, В. Г. Профессиональные болезни / В. Г. Артамонова, Н. А. Мухин. – 4-е изд. перераб. и доп. – М.: Медицина, 2004. – 480 с.

2. Курьеров, Н. Н. Методические аспекты совершенствования и гармонизации требований к гигиенической оценке вибрации : автореф. дисс. ... канд. биол. наук : 14.02.04 / Н.Н. Курьеров; Рос. акад. мед. наук, Науч.-исслед. ин-т медицины труда РАМН. – М., 2010. – 26 с.

3. Измеров, Н. Ф. Вопросы профессиональной заболеваемости: ретроспектива и современность / Н. Ф. Измеров, И. В. Бухтияров, Л. В. Прокопенко // Профессия и здоровье : материалы XI Всерос. конгр., Москва, 27–29 нояб. 2012 г. – 36 с.

4. Некоторые современные аспекты патогенеза вибрационной болезни / В. Г. Артамонова [и др.] // Медицина труда и пром. экология. – 1999. – № 2. – С. 1–4.

5. Лагутина, Г. Н. Вибрационная болезнь в условиях современности / Г. Н. Лагутина, Л. В. Прокопенко, И. Е. Рудакова // Материалы II Всерос. съезда врачей-профпатологов. – Ростов н/Д, 2006. – С. 186–188.

АНАЛИЗ ФАКТОРОВ РИСКА ТРАВМАТИЗМА НА ТЕРРИТОРИИ ПУХОВИЧСКОГО РАЙОНА МИНСКОЙ ОБЛАСТИ

ANALYSIS OF THE RISK FACTORS OF TRAUMATISM ON THE TERRITORY OF THE PUHOVICHY DISTRICT OF THE MINSK REGION

М. С. Финевиц, В. В. Литвяк, А. Н. Батян

M. Finevich, V. Litvyak, A. Batyan

Белорусский государственный университет, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ,

г. Минск, Республика Беларусь

mishamashafinik@tut.by

Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus

Проведен анализ факторов риска травматизма на территории Пуховичского р-на Минской обл. Республики Беларусь. Была разработана анкета для выявления предрасполагающих факторов возникновения травм. Опрос проводился в трех группах населения Пуховичского р-на: к первой группе относились ученики 9–11 классов ГУО «Средняя школа № 2 г. Марьино Горка», ко второй студенты 3–4 курса УО «Марьиногорский государственный ордена «Знак Почета» аграрно-технический колледж имени В. Е. Лобанка», к третьей группе – сотрудники ОАО «Машпищепрод». Основными причинами получения травм являлось падения (64,09 %) и занятия спортом (29,09 %). Во второй и третьей группе было выявлено 3,65 % криминальных травм, а 19,75 % респондентов из третьей группы получили производственные травмы.

The analysis of risk factors for injuries in the territory of the Pukhovichsky district of the Minsk region of the Republic of Belarus was carried out. A questionnaire was developed to identify predisposing factors of injury. The survey was conducted in three groups of the population of the Pukhovichsky district: the first group included students of grades 9–11 of the State Educational Institution «Secondary School No. 2 of Maryina Gorka», the second group was students of 3–4 courses of Mariogorsk State Order «Badge of Honor» Eurasian Technical College behalf of V. E. Lobanka», to the third group – employees of ОАО «Mashpishcheprod». The main causes of injuries were falling (64,09 %) and sports (29,09 %). In the second and third groups, 3,65 % of criminal injuries were identified, and 19,75 % of respondents from the third group received work injuries.

Ключевые слова: травма, профилактика, фактор риска, анкета.

Keywords: injury, prevention, risk factor, questionnaire.

Травматизм населения является одной из актуальных проблем общественного здоровья и здравоохранения. Оказание медицинской помощи, лечение и реабилитация пострадавших требует больших средств, материальных и кадровых ресурсов. Поэтому большое внимание должно уделяться профилактике, выявлению его причин. Травма, хоть и носит вероятностный характер, возникает при сочетании множества условий, включая физическое и психическое состояние человека, его образ жизни. В связи с этим анализ факторов риска возникновения травм в различных группах населения с дальнейшей разработкой рекомендаций по их снижению может являться одной из мер предупреждения травматизма.

Травматизм является серьезной проблемой для разных стран мира, в том числе и для Республики Беларусь. Ежегодно в Республике Беларусь травмируется около 800 000 человек. Травматизм является важной не только медицинской, но социально-экономической проблемой в связи с высокими показателями распространенности и тяжестью его медико-социальных последствий (стойкой утратой нетрудоспособности, инвалидностью и смертностью) [3].

Риск получения травмы носит случайный характер, однако на эту вероятность могут оказать влияние различные факторы, такие как возраст, физическое состояние человека, его образ жизни [2]. Возраст является одним из основных факторов риска повешенного травматизма. Самый высокий риск смерти или серьезных травм в результате падения угрожает пожилым людям, причем такой риск с возрастом возрастает. Другой группой высокого риска являются дети. Падения в детском возрасте происходят, в основном, в результате развития детей, свойственной им любознательности в отношении окружающего их мира и возрастающих уровней независимости. Еще одним фактором является низкая физическая активность, однако следует учитывать, что занятия профессиональным спортом наоборот увеличивают риск травмирования [1]. Для выявления факторов, способствующих возникновению травм, нами была разработана соответствующая анкета (рис. 1).

Опрос проводился в трех группах населения Пуховичского р-на: к первой группе относились ученики 9–11 классов ГУО «Средняя школа № 2 г. Марьина Горка», ко второй студенты 3–4 курса УО «Марьиногорский государственный ордена «Знак Почета» аграрно-технический колледж имени В. Е. Лобанка», к третьей группе – сотрудники ОАО «Машпищепрод». Всего было проанкетировано 253 человека, из них школьников – 89 человек, студентов – 83 человек, сотрудников – 81 человек.

В результате анализа результатов анкетирования возраст респондентов первой группы распределился следующим образом: 14 лет – 32,58 %, 15 лет – 28,09 %, 16 лет – 17,98 %, 17 лет – 21,35 %. Из всего числа опрошенных школьников только 5,62 % школьников ответили, что употребляют алкоголь, 11,24 % – переедают.

На вопрос: «Как часто Вы употребляете продукты, содержащие кальций?» 34,83 % и 42,70 % школьников употребляют продукты, содержащие кальций ежедневно или 3 раза в неделю, соответственно, 16,85 % школьников употребляют такие продукты 1 раз в неделю, 5,62 % – не употребляют. Лишь 23,60 % школьников принимают витаминные комплексы, содержащие кальций и витамин D.

По результатам анкетирования выявлено, что 14,61 % школьников проводят меньше 1 часа на свежем воздухе, 40,45 % – 1–2 часа, 35,96 % – 3–5 часов, 8,99 % – больше 6 часов.

На вопрос: «Любите ли Вы загорать?» 42,70 % респондентов ответили «Да», а 57,30 % – «Нет».

При проведении опроса второй группы установлено, что возраст среди респондентов составлял 19 лет (46,99 %), 20 лет (32,53 %), 21 год (16,87 %) и 22 года (3,61 %). Среди вредных привычек первое место занимает употребление алкоголя (27,71 %), второе – переедание (20,48 %), третье – курение (18,07 %); 10,84 % студентов имеют более двух вредных привычек.

Анализ анкет показал, что 18,07 % студентов меньше 1 часа проводят на свежем воздухе, 20,48 % – 1–2 часа, 51,81 % – 3–5 часов, 9,64 % – больше 6 часов.

Установлено, что 28,92 % и 36,14 % студентов употребляют продукты, содержащие кальций, ежедневно или 3 раза в неделю, соответственно, 18,07 % студентов – 1 раз в неделю, 13,25 % – не употребляют такие продукты. Витаминные комплексы принимают 39,76 % респондентов данной группы.

На вопрос: «Любите ли Вы загорать?» 44,58 % студента ответили «Да», а 55,42 % – «Нет».

Возраст сотрудников ОАО «Машпищепрод» сильно варьировал. 20,99 % респондентов были в возрасте 20–29 лет, 24,69 % – в возрасте 30–39 лет, 18,52 % – в возрасте 40–49 лет, 20,99 % – в возрасте 50–59 лет, 14,81 % – в возрасте 60 лет и старше. Из опрошенных сотрудников 44,44 % были рабочими, 55,56 % – специалистами.

Проанализировав ответы на вопрос о вредных привычках установлено, что 44,44 % сотрудников не имеют вредных привычек, 17,28 % курят, 17,28 % переедают, 11,11 % употребляют алкоголь и 9,88 % сотрудников имеет более двух вредных привычек.

Ежедневно (38,27 %) или 3 раза в неделю (34,57 %) у респондентов в рационе присутствуют продукты, содержащие кальций, 1 раз в неделю – у 27,16 % респондентов. Однако только 18,52 % сотрудников принимают витаминные комплексы, содержащие кальций и витамин D.

Ответы на вопрос «Сколько времени ежедневно Вы проводите на свежем воздухе?» распределились следующим образом: меньше 1 часа – 19,75 % опрошенных, 1–2 часа – 38,27 % опрошенных, 3–5 часов – 17,28 % опрошенных, больше 6 часов – 24,69 % опрошенных, а 48,15 % сотрудников ответили, что любят загорать.

Анализ проведенного анкетирования показал, что из 253 респондентов 84 человека занимаются физкультурой, 50 человек занимаются каким-либо видом спорта, причем из них 19,76 % занимаются ежедневно, 47,04 % – 1 раз в неделю, 33,20 % – 2 раза в неделю. Как видно из рис. 2, в третьей группе респондентов наблюдается самая низкая физическая активность.

Анкета

1. Возраст _____

2. Пол: мужской женский

3. Рост _____ Вес _____

4. Группа крови _____

5. Вид деятельности: Ученик _____ класса Студент _____ курса
 Работающий (указать кем и где работаете) _____

6. Вредные привычки:
курение употребление алкоголя переедание другие _____

7. Сколько времени ежедневно Вы проводите на свежем воздухе?
меньше 1 часа больше 1 часа больше 3 часов больше 6 часов

8. Любите ли Вы загорать? Да Нет

9. Как часто Вы употребляете продукты, содержащие кальций (сыр, творог, молоко, йогурт, орехи и др.)?
ежедневно 3 раза в неделю 1 раз в неделю не употребляю

10. Принимаете ли Вы витаминные комплексы, содержащие кальций и витамин D?
Да Нет

11. Занимаетесь ли Вы физкультурой или каким-либо видом спорта (указать каким)?
 Да, _____ Нет, не занимаюсь

12. Как часто Вы занимаетесь физкультурой или спортом?
Ежедневно 2 или более раз в неделю
1 раз в неделю Вообще не занимаюсь

13. Какие травмы и в каком количестве у Вас были?
ушибы _____
открытые раны _____
переломы _____
растяжения связок _____
вывихи _____

14. При каких обстоятельствах были получены травмы?
производственная травма криминальная травма ДТП
падение занятие спортом
другой вариант _____

15. Знаете ли Вы как оказывать первую медицинскую помощь при:
ушибе Да Нет
открытой ране Да Нет
переломе Да Нет
растяжении связок Да Нет
вывихе Да Нет

16. Какие у Вас имеются хронические заболевания?
 Остеопороз
 Заболевания эндокринной системы
 Заболевания пищеварительной системы
 Другие _____
 Не имею

Рисунок 1 – Анкета для выявления predisposing факторов возникновения травм

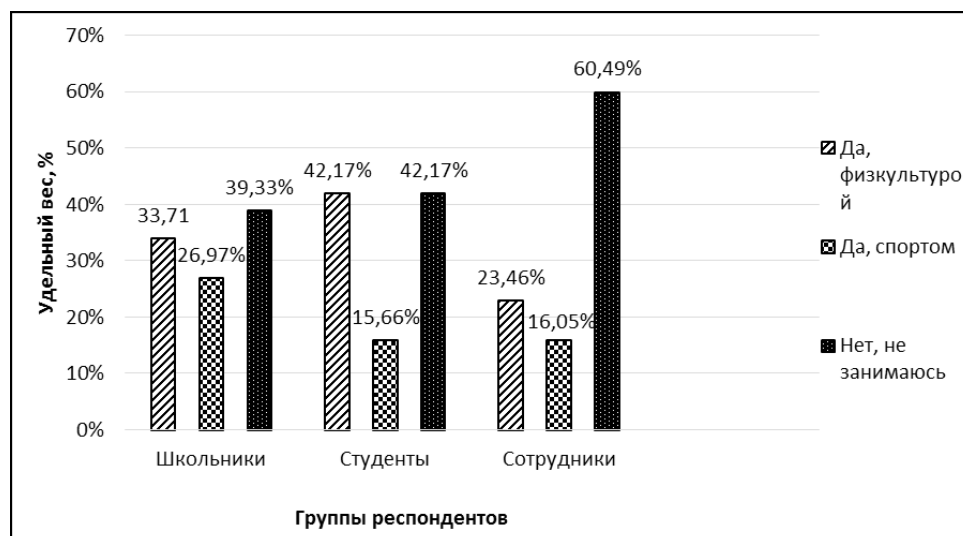


Рисунок 2 – Результаты анализа ответов на вопрос: «Занимаетесь ли Вы физкультурой или каким-либо видом спорта?»

Наиболее встречающимся типами травм у всех респондентов были ушибы (100 %) и открытые раны (86,93 %).

Третье место занимает растяжение связочного аппарата – у 31,39 % опрошенных, четвертое – переломы (27,01 %). Редко встречался такой тип травмы, как вывих (18,72 %). Удельный вес травм в разных группах респондентов предоставлен в табл. 1.

Таблица 1 – Удельный вес травм в группах, участвующих в анкетировании

Группа респондентов	Ушибы, %	Открытые раны, %	Переломы, %	Растяжение связок, %	Вывихи, %
Школьники	100	84,75	22,47	39,33	14,61
Студенты	100	82,48	27,71	28,92	16,87
Сотрудники	100	93,56	30,86	25,93	24,69

Таким образом, нами установлено, что основными причинами получения травм были падение (64,09 %) и занятие спортом (29,09 %). Во второй и третьей группе было выявлено 3,65 % криминальных травм, а 19,75 % респондентов из третьей группы получили производственные травмы.

В результате анализа проведенного анкетирования выявлено, что основными предрасполагающими факторами для возникновения травм являются низкая физическая активность, пребывание незначительное время на свежем воздухе. Большой процент респондентов ведет здоровый образ жизни и следит за своим питанием. В связи с этим основные рекомендации по профилактики травм заключаются в следующем:

- отказ от вредных привычек;
- прием витаминных комплексов, содержащих кальций и витамин D;
- пребывание на свежем воздухе более 3 часов в день;
- ежедневные умеренные физические нагрузки.

Проведение опроса среди различных групп населения с помощью анкет, направленных на выяснение факторов риска возникновения травм, могут быть одной из мер профилактики травматизма.

ЛИТЕРАТУРА

1. Денисов, Н. Л. Анализ факторов риска травм в качестве методической основы профилактики травматизма / Н. Л. Денисов // Медицина. – 2006. – № 4. – С. 9–12.
2. Кавалерский, Г. М. Травматология и ортопедия: учебник для студ. высш. учеб. заведений / Г. М. Кавалерский [и др.]. – М.: Издательский центр «Академия», 2005. – 624 с.
3. Рыбин, А. В. Совершенствование системы профилактики травматизма в крупном индустриальном центре: дис. канд. мед. наук: 14.00.33 / А. В. Рыбин. – СПб., 2006. – 121 с.

АНАЛИЗ ПРЕДРАСПОЛАГАЮЩИХ ФАКТОРОВ К РАЗВИТИЮ ТУБЕРКУЛЕЗА СРЕДИ ЖИТЕЛЕЙ ГОРОДА МИНСКА ANALYSIS OF PREDICTING FACTORS ON THE DEVELOPMENT OF TUBERCULOSIS AMONG RESIDENTS OF MINSK

Е. Н. Хрусталёва, В. В. Литвяк, А. Н. Батян
A. Khrustalyova, V. Litvyak, A. Batyan

*Белорусский государственный университет, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ,
г. Минск, Республика Беларусь
elena.xrustalyova.92@mail.ru
Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus*

Проведен анализ предрасполагающих факторов по развитию туберкулеза среди жителей г. Минска. Разработана анкета по своей структуре состоящая из 21 закрытого вопроса. В качестве респондентов выбрано 3 группы лиц: ученики с 9 по 11 классы школы № 92 г. Минска; студенты 3-го и 4-го курсов Международного государственного экологического института им. А. Д. Сахарова Белорусского государственного университета; работающие и неработающие взрослые. В анкетировании участвовало 204 респондента, из них 67 человек из первой группы, 65 – из 2-й группы, 72 – из 3-й группы. Установлено, что не все респонденты обращаются к врачу при первых симптомах легочных и простудных заболеваний. Важно контролировать своевременное прохождение флюорографического обследования среди всех социальных групп населения, так как это эффективный метод раннего выявления туберкулеза.

A questionnaire has been developed in its structure consisting of 21 closed questions. Three groups of individuals were selected as respondents: pupils from 9 to 11 classes of school № 92 of Minsk city; students of the 3rd and 4th courses of the International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University; working and non-

working adults. The survey involved 204 respondents, 67 of them from the first group, 65 – from the 2nd group, 72 – from the 3rd group. It was established that not all respondents go to the doctor at the first symptoms of pulmonary and catarrhal diseases. It is important to monitor the timely passage of fluorography among all social groups of the population, as this is an effective method for early detection of tuberculosis.

Ключевые слова: туберкулез, предрасполагающий фактор, анкета.

Keywords: tuberculosis, predisposing factor, questionnaire.

Туберкулез – инфекционное заболевание с длительным периодом между инфицированием и развитием болезни. После контакта человека с бактериовыделителем или заражённым материалом возникает вероятность инфицирования здорового человека, что зависит от свойств возбудителя, а также от восприимчивости организма человека. Туберкулёз является не только медико-биологической, но и социальной проблемой. Большое значение в развитии заболевания имеют наличие вредных привычек, хронических заболеваний, материальный уровень жизни, санитарная грамотность, общая культура населения, жилищные условия и другое [1; 2].

Туберкулез остается одной из самых серьезных угроз в мире. Общая картина, согласно последним данным, по-прежнему характеризуется тяжелым бременем заболевания, а текущих мер недостаточно для достижения заметных успехов в ликвидации сохраняющихся пробелов.

Для развития любого инфекционного заболевания, в том числе туберкулеза, необходимо наличие резервуара и источника туберкулезной инфекции, механизма его передачи и восприимчивых людей. Под резервуаром туберкулезной инфекции понимают больных туберкулезом и инфицированных микобактерией туберкулеза людей, животных и птиц. Особое значение имеют бактериовыделители, каждый из которых в течение суток может выделить с мокротой более 1 млрд микобактерий туберкулеза. Источником туберкулезной инфекции являются больные туберкулезом люди и значительно реже животные.

Больные туберкулезом легких с бактериовыделением во время кашля, чиханья, разговора, создают в воздухе аэрозоль из частиц мокроты и слюны с возбудителем туберкулеза. Капли аэрозоля оседают очень медленно и могут оставаться в воздухе несколько часов. Именно аэрозольным путем чаще всего и происходит заражение человека туберкулезом. Другим путем заражения является воздушно-пылевой. Возбудитель туберкулеза может длительно сохраняться в природных условиях и в быту, особенно при плохой уборке и недостаточной дезинфекции помещений. Осевшие и высохшие капельки мокроты или слизи могут снова подниматься в воздух с пылью. Заражение туберкулезом аэрогенным путем – воздушно-капельным и воздушно-пылевым – наблюдается у 90–95 % больных. Иногда заражение происходит через желудочно-кишечный тракт (алиментарный путь). Инфекция, чаще *Mycobacterium bovis*, передается человеку через молоко и молочные продукты, реже – при употреблении зараженного мяса или прямом контакте с больными животными. Алиментарный путь заражения возможен при пользовании общей посудой с больным туберкулезом. Известны случаи заражения туберкулезом через поврежденную кожу и слизистые оболочки (контактный путь) и внутриутробное заражение плода от больной матери с туберкулезным поражением плаценты (трансплацентарный путь).

Определенные группы населения имеют повышенный риск заболевания туберкулезом: бездомные, безработные, мигранты, беженцы, лица, проживающие в общежитиях. Особую группу составляют заключенные, находящиеся в тяжелых условиях.

Выделяют также и факторы риска, которые можно условно разделить на социальные и медико-биологические. К социальным факторам риска относят низкий материальный уровень жизни, длительное пребывание в очагах туберкулезной инфекции, стрессовые ситуации, плохую экологическую обстановку, лица с плохим питанием.

Среди медико-биологических факторов повышенного риска заболевания туберкулезом серьезное значение имеют вирус иммунодефицита человека, алкоголизм и наркомания, сахарный диабет, язвенная болезнь желудка и двенадцатиперстной кишки, психические заболевания, беременность, роды и послеродовой период, продолжительная гормональная и цитостатическая терапия, остаточные изменения в легких и лимфатических узлах после клинически излеченного туберкулеза. К этим факторам относят также впервые отмеченную положительную или гиперергическую реакцию на туберкулин [3].

Имеются данные, что существуют различия в антигенной структуре крови по системе АВО и резус-фактору между здоровыми и больными туберкулезом. Среди больных с впервые выявленным туберкулезом достоверно реже встречаются пациенты с А (II) группой крови ($p = 0,0399$) и достоверно чаще лица с В (III) группой ($p = 0,0028$). Пациенты с резус-отрицательной группой реже заболевают туберкулезом [4].

Исследование факторов, способствующих развитию туберкулёза, заключалось в опросе жителей города Минска с помощью составленной нами анкеты. В качестве респондентов выбрано 3 группы лиц:

- 1) ученики с 9 по 11 классы школы № 92 г. Минска;
- 2) студенты 3-го и 4-го курсов Международного государственного экологического института им. А. Д. Сахарова Белорусского государственного университета;
- 3) работающие и неработающие взрослые.

Анкета по своей структуре состояла из 21 закрытого вопроса. Опрос проводился как в индивидуальной, так и групповой форме. Исследование проводилось в октябре-декабре 2018 года. В анкетировании участвовало 204 респондента, из них 67 человек из первой группы, 65 – из 2-й группы, 72 – из 3-й группы.

Уточнялись следующие данные: пол, возраст, национальность, группа крови и резус фактор, вид деятельности. Заданы вопросы о вредных привычках (курение, алкоголь, наркотики), наличии хронических заболеваний, условиях проживания, времени нахождения на свежем воздухе, употреблении пищи, богатой витаминами и микроэлементами, витаминных комплексов, физической активности. Выяснялось знают ли респонденты о том, что такое туберкулёз, делают ли флюорографию, обращаются ли к врачу при первых симптомах простудных и легочных заболеваний, а также выполняют ли назначения врача.

Среди опрошенных лиц в 1-й группе преобладали мужчины (53,73 %), во 2-й группе – женщины (56,92 %), в 3-й группе женщины (52,78 %).

Возраст опрошенных школьников в 100 % случае приходился на интервал от 14 до 17 лет. 96,92 % опрошенных студентов были в возрасте 18–25 лет, и лишь 3,07 % – 26–30 лет. Среди 3-й группы респондентов 34,72 % пришлось на возраст 41–50 лет, 26,39 % – 31–40 лет, 23,61 % – 51–60 лет, 12,5 % – 61 год и старше, 2,78 % – 21–30 лет. Выявлено, что 13,89 % представителей 3-й группы на момент исследования не работали.

Преобладали респонденты белорусской национальности: 1-я группа – 98,5 %, 2-я и 3-я группа 90,77 % и 97,22 %, соответственно.

Выявлено, что среди школьников с 9-го по 11-е классы В (III) группу крови имели 7,46 % опрошенных, среди студентов 3-го и 4-го курсов Международного государственного экологического института им. А.Д. Сахарова Белорусского государственного университета – 13,84 %, среди 3-й группы респондентов – 16,67 %.

Из 3-й группы 12,5 % лиц связаны с работой на вредных производствах.

Бытовые условия проживания лиц, учествовавших в исследовании, варьировали. Так, 97,01 % школьников и 83,33 % лиц 3-й группы проживали в отдельном доме/квартире, в то время как 90,77 % студентов Международного государственного экологического института им. А. Д. Сахарова Белорусского государственного университета – в общежитии.

Ежедневно проводили влажную уборку и проветривали дом школьников – 8,95 %, студентов и взрослых лиц 3,07 % и 2,78 %, соответственно.

Выяснилось, что чаще всего опрошенные лица ежедневно находились на свежем воздухе по 1–3 часа (1-я группа – 37,31 %, 2-я группа – 50,77 %, 3-я группа – 62,5 %).

97,01 % школьников на вопрос о курении ответили отрицательно. Студенты в 12,31 % случаях имели стаж курения от 1 года до 5 лет, 87,69 % – не имели отношение к курению. Лишь у 63,89 % взрослых отсутствовала такая вредная привычка, как курение (рис. 1).

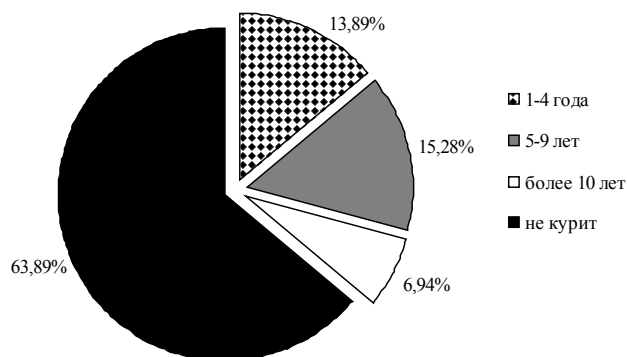


Рисунок 1 – Стаж курения среди 3-й группы респондентов

На вопрос об отношении к алкоголю 4,47 % школьников ответили, что редко употребляют алкоголь, доля ответивших также студентов и взрослых лиц – 32,31 % и 86,11 %, соответственно. Среди взрослых злоупотребляли алкоголем 11,11 % респондентов. По результатам опроса выявлено, что 2,78 % взрослых употребляли наркотики.

Выявлено, что в 1-й группе и 2-й группе не имели хронических заболеваний 80,6 % и 76,92 % опрошенных, соответственно. Из 3-й группы не имело хронических заболеваний лишь 54,17 % респондентов (рис. 2).

Полученные данные говорят о том, что ежедневно употребляли пищу, богатую витаминами и микроэлементами 91,04 % школьников, 16,92 % студентов и 45,83 % взрослых лиц.

Установлено, что принимают витамины 23,88 % школьников, 10,77 % и 19,44 % студентов и взрослых лиц, соответственно.

Доля школьников, занимающихся физкультурой/спортом, составляла 89,55 %, студентов и взрослых – 76,92 % и 20,83 %, соответственно.

Установлено, что 35,82 % опрошенных лиц из 1-й группы не знали, что такое туберкулёз, 2,98 % ответили не верно. Во 2-й и 3-й группе не знают о туберкулёзе 3,07 % и 15,28 %, соответственно.

Ежегодно проходили флюорографическое обследование 71,64 % школьников, 100 % Международного государственного экологического института им. А.Д. Сахарова Белорусского государственного университета и 66,67 % лиц из 3-й группы.

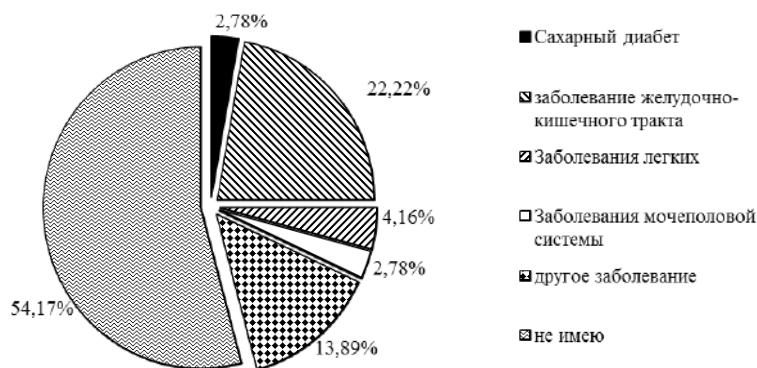


Рисунок 2 – Распределение хронических заболеваний среди лиц 3-й группы

По результатам опроса выявлено, что лишь 5,56 % взрослых и 41,54 % студентов обращались к врачу при первых симптомах легочных и простудных заболеваний. Доля школьников, обращающихся при первых симптомах в лечебное учреждение, составляла 89,55 %.

Доля учеников 9–11 классов, всегда выполняющих назначения врача составляла 92,53 %, 7,46 % опрошенных принимали лишь то, что считают нужным. Ответы студентов высших учебных заведений распределились следующим образом: 87,69 % – всегда выполняли назначения врача, 10,77 % – принимали те лекарственные препараты, которые считают нужным, 1,54 % – не выполняли назначения врача. Часть респондентов 3-й группы ответили о невыполнении назначений врача (6,94 %), 33,33 % – принимают лишь то, что считают нужным.

На основании проведенного исследования основные рекомендации социальной направленности, устраняющие (или минимизирующие) факторы риска, которые способствуют распространению инфекции, заключаются в следующем:

- отказ от вредных привычек (курение, употребление алкоголя, прием наркотиков). Настораживает, что среди участвовавших в исследовании представителей 3-й группы 11,11 % злоупотребляют алкоголем, 2,78 % употребляют наркотики;

- ежедневный прием пищи, содержащей витамины и микроэлементы;

- прием витаминных комплексов. Установлено, что не принимают витаминные комплексы 76,12 % школьников, 89,23 % и 80,56 % студентов и взрослых лиц, соответственно;

- пребывание на свежем воздухе каждый день;

- умеренные физические нагрузки;

- проведение влажной уборки и частое проветривание помещения;

- бережное отношение к своему здоровью, своевременное лечение острых заболеваний. Хроническую патологию имеют 19,4 % школьников, 23,08 % студентов и 45,83 % взрослых респондентов;

- обращение к врачу при первых симптомах легочных и простудных заболеваний. Лишь 5,56 % взрослых сразу обращаются в лечебное учреждение. Необходимо дополнительно информировать людей о том, что нельзя заниматься самолечением и следует выполнять назначения врача;

- своевременное прохождение флюорографического обследования среди всех социальных групп населения, так как это эффективный метод раннего выявления туберкулеза. При помощи флюорографии можно своевременно обнаружить туберкулез легких, так как некоторым формам, даже сопровождающимся бактериовыделением, и тем более малым формам нередко присуще бессимптомное течение.

Необходимо усилить санитарно-просветительную работу среди школьников в связи с тем, что 35,82 % учеников с 9 по 11 классы не знают что такое туберкулез. Следует информировать население и о симптомах туберкулеза: постоянный кашель на протяжении 3 недель, примесь крови в мокроте, боль в грудной клетке, недомогание, общая слабость, одышка, повышение температуры до 38 °С, обильное потоотделение ночью, озноб.

В результате проведения опроса среди различных групп населения с помощью составленной нами анкеты можно выявить факторы риска развития туберкулеза. Знание данных факторов и принятие мер по их устранению могут служить одной из мер профилактики туберкулеза.

ЛИТЕРАТУРА

1. Перельман, М. Фтизиатрия: национальное руководство / М. Перельман. – М. : ГЭОТАР-Медиа, 2007. – С. 112–120.

2. Плетнёва, Н. А. Анализ эпидемиологических показателей туберкулеза и их зависимость от социально-экологических факторов в регионах России: автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. биол. наук: 03.00.16 / Н. А. Плетнева. – М. : РУДН, 2003. – 19 с.

3. Перельман, М. Фтизиатрия: учебник / М. Перельман, И. Богдельникова. – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2013. – С. 39–47.

4. Молофеев, А. Н. Современные тенденции в эпидемиологии туберкулеза: дис. доктора мед. наук: 14.00.26 / А. Н. Молофеев. – М., 2004. – 265 с.

ЭПИДЕМИОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ЗАБОЛЕВАЕМОСТИ НАСЕЛЕНИЯ МИНСКОЙ ОБЛАСТИ БОЛЕЗНЯМИ СИСТЕМЫ КРОВООБРАЩЕНИЯ

EPIDEMIOLOGICAL ASPECTS OF THE MORBIDITY OF THE CIRCULATORY DISEASES AMONG MINSK REGION POPULATION

В. С. Чепля, Н. Е. Порада
V. Cheplya, N. Porada

*Белорусский государственный университет, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ,
г. Минск, Республика Беларусь
vlad1997.cheplya@gmail.com
Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus*

В настоящее время сердечно-сосудистые заболевания являются основной причиной смертности и инвалидности населения Республики Беларусь. Актуальность этой проблемы в нашей стране не только не снижается, но с каждым годом увеличивается. Это обусловлено высокой распространенностью данной патологии и ведущим местом болезней системы кровообращения в причинах трудопотерь населения республики. Число больных в большей степени увеличивается среди лиц в возрасте 40–50 лет, отмечается «омоложение» этих заболеваний. В работе проанализирована заболеваемость населения Минской обл. болезнями системы кровообращения в период 2012–2016 гг. в целом и по возрастным группам. Определены наиболее часто регистрируемые формы патологии, дана количественная оценка заболеваемости населения артериальной гипертензией, атеросклерозом, острой коронарной недостаточностью, инфарктом миокарда.

Currently circulatory diseases are the main cause of death and invalidism among the population in the Republic of Belarus. The relevance of this problem doesn't decrease, but annually increases. It has been subject to the high incidence of this pathology and the key place of the circulatory diseases among the reasons of the days away from work in the Republic of Belarus. To a far greater extent the amount of patients is growing among 40- and 50-year old people, there has been observed the youthification of these diseases. In the paper there has been analyzed morbidity with the circulatory diseases of Minsk region population during the period from 2012 to 2016 yrs on the whole and by age groups. There have been defined the most typical pathology forms, given the quantitative evaluation of the population morbidity with the arterial hypertension, atherosclerosis, acute coronary insufficiency, heart attack.

Ключевые слова: распространенность, заболеваемость, частота, многолетняя динамика, тенденция, инфаркт миокарда, стенокардия, сердечно-сосудистые заболевания.

Keywords: prevalence, incidence, frequency, long-term dynamics, tendency, myocardial infarction, angina pectoris, cardiovascular diseases.

Сердечно-сосудистые заболевания (ССЗ) являются основной причиной смертности и инвалидности населения Республики Беларусь. Среди причин смертности болезни системы кровообращения занимают ведущее место: в 1991 г. – 48,6 %, в 2011 г. – 51,9 %, в 2015 г. – 55,4 % [3; 4]. В структуре первичной заболеваемости этот класс болезней занимает седьмое место (2011 г. – 3,2 %, 2016 г. – 3,4 %), в структуре общей заболеваемости – второе место (2011 г. – 16,2 %, 2016 г. – 17,1 %) [3; 4]. Продолжающийся рост заболеваемости, поражение людей все более молодого возраста делают сердечно-сосудистые заболевания важнейшей медико-социальной проблемой здравоохранения. Структуру класса заболеваний системы кровообращения формируют ишемическая болезнь сердца (ИБС), гипертоническая болезнь и сосудистые поражения мозга. Гипертоническая болезнь занимает первое ранговое место (47,8 %), ИБС – второе (24,5 %), цереброваскулярные заболевания – третье (10,0 %). Болезни этой группы в значительной степени служат показателем преждевременного старения лиц трудоспособного возраста и являются основной причиной смерти этой категории населения [5]. Ключевую роль в развитии сердечно-сосудистых заболеваний играют такие связанные с образом жизни факторы риска, как курение, нездоровое питание (например, излишнее потребление жирных пищевых продуктов, соли), ожирение и недостаточная физическая активность. Даже наличие одного из факторов риска — артериальной гипертензии, курения или гиперхолестеринемии — увеличивает смертность мужчин в возрасте 50–69 лет в 3,5 раза. Сочетанное же воздействие нескольких факторов риска увеличивает смертность в 5–7 раз [1]. Социальная значимость патологии определяется ее последствиями, на долю которых приходится более 40 % инвалидности. Сердечно-сосудистые заболевания занимают первое место среди причин инвалидности в нашей стране. Удельный вес лиц, признанных инвалидами в связи с ИБС, по отношению к общему числу впервые признанных инвалидами в 2000 г. составил 20,7 %, в 2016 г. – 21,5 %. В трудоспособном возрасте ИБС являлась причиной инвалидности в 8,5 % и 11,9 % случаев, соответственно, по отношению к общему числу впервые признанных инвалидами [4]. Сегодня сердечно-сосудистые

заболевания не только определяют уровень смертности населения республики и являются основной причиной инвалидности, но и играют существенную роль в снижении средней продолжительности жизни [3].

Работа посвящена анализу заболеваемости населения Минской обл. в том числе разных возрастных групп болезнями системы кровообращения в период 2012–2016 гг. На основании отчетных данных Минской областной клинической больницы о числе случаев зарегистрированных заболеваний по классу «Болезни системы кровообращения» и численности населения Минской обл. были рассчитаны относительные интенсивные и экстенсивные коэффициенты, проведен расчет ошибки и оценка достоверности относительных величин, использован метод анализа многолетней динамики показателей заболеваемости населения [2].

Проведенный анализ выявил в динамике общей заболеваемости населения Минской обл. болезнями сердечно-сосудистой системы в рассматриваемый период устойчивую тенденцию к росту ($R^2 = 0,9$). Показатели увеличились с 4737,92 на 100 тыс. населения в 2012 г. до 5440,16 % в 2016 г., или на 14,8 %. Среднегодовой уровень заболеваемости по данному классу за 5 лет составил $A_0 = 4985,88$ %. В 2016 г. в структуре сердечно-сосудистой патологии населения области 27,5 % приходилось на артериальную гипертензию, на долю атеросклероза приходилось 23,16 %, острая сердечная недостаточность составила 20,27 %, инфаркт миокарда – 15,96 %, стенокардия – 9,27 %, другие болезни сердца – 3,85 %. В результате анализа данных, было выявлено, что сердечно-сосудистая патология чаще регистрируется среди мужского населения. Удельный вес случаев заболеваний среди мужчин составил 56,14 %.

Были рассчитаны показатели и проведен анализ заболеваемости населения области артериальной гипертензией (АГ), атеросклерозом (АС), инфарктом миокарда (ИМ), острой сердечной недостаточностью (ОСН) в целом и по половозрастному критерию. Изучены показатели заболеваемости в возрастных группах населения: до 18 лет, от 18 до 35 лет (18–35), от 35 до 48 лет (>35–48), от 48 до 65 лет (> 48–65) и старше 65 лет.

В рассматриваемый период среди населения Минской обл. отмечен выраженный рост заболеваемости артериальной гипертензией ($R^2 = 0,79$). Показатели увеличились с 1303,2 случаев заболеваний АГ на 100 тыс. населения в 2012 г. до 1496,0 ‰ в 2016 г. или на 14,8 %. Среднегодовой показатель заболеваемости АГ (A_0) составил 1357,6 на 100 тыс. населения, среднегодовой прирост – 3,61 %, ежегодный показатель тенденции (A_1) был равен 50,8 на 100 тыс. населения. Анализ с учетом половозрастного критерия показал увеличение числа больных артериальной гипертензией с 2012 по 2016 г. в каждой возрастной группе. Отмечен выраженный рост заболеваемости АГ в возрастных группах до 18 лет, 18–35 лет, >35–48 лет ($R^2 = 0,94, 0,95$ и $0,94$ соответственно). Для возрастной группы >48–65 лет отмечен умеренный рост заболеваемости ($R^2 = 0,48$). Для лиц старше 65 лет определить направленность тенденции в заболеваемости АГ за данный период времени не представилось возможным ($R^2 = 0,03$). Максимальный рост заболеваемости АГ – в 2,3 раза, был отмечен среди лиц в возрасте до 18 лет, в возрастной группе 18–35 лет частота случаев заболеваний АГ увеличилась на 21,0%, >35–48 лет – на 23,0 %. Максимальный вклад в заболеваемость населения области АГ вносят возрастные группы >48–65 лет (29,0 %) и >35–48 лет (26,0 %). Наиболее высокие показатели заболеваемости АГ как у мужчин, так и у женщин отмечаются в возрастной группе >48–65 лет. Однако заболеваемость женщин в этом возрасте в 1,7 раза выше, чем мужчин. Так среднегодовое значение частоты АГ у мужчин данного возраста составило 2267,4 на 100 тыс. мужского населения, у женщин – 3793,97 на 100 тыс. женского населения.

В рассматриваемый период времени выявлен устойчивый рост заболеваемости населения Минской обл. атеросклерозом ($R^2 = 0,87$) – на 17,33 %. Показатели заболеваемости АС увеличились с 1073,85 случаев заболеваний на 100 тыс. населения в 2012 г. до 1259,95 % в 2016 г. Среднегодовой показатель частоты случаев АС (A_0) составил 1134,86 на 100 тыс. населения, среднегодовой прирост составил 4,14 %, ежегодный показатель тенденции (A_1) имеет положительное значение и равен 48,05 на 100 тыс. населения. Максимальный рост заболеваемости АС (32,3 %) отмечался среди лиц в возрасте >48–65 лет, минимальный (8 %) – среди возрастной группы до 18 лет. Заболеваемость АС женщин в возрасте >48–65 лет выше, чем мужчин этой же возрастной группы в 1,6 раза. Однако возрастная группа мужчин в возрасте >35–48 лет по уровню заболеваемости АС ($A_0 = 1515,6$ ‰) превосходит женское население этого же возраста в 1,5 раза ($A_0 = 1019,1$ ‰).

В 2012–2016 гг. в динамике заболеваемости населения Минской обл. ИМ выявлена устойчивая тенденция к росту ($R^2 = 0,91$). Показатели увеличились с 760,28 на 100 тыс. населения в 2012 г. до 868,03 ‰ в 2016 г., или на 14,2 %. Среднегодовой уровень заболеваемости по данному классу за 5 лет (A_0) равен 800,19 случаев заболеваний ИМ на 100 тыс. населения. Среднегодовой прирост составил 3,4 %. Ежегодный показатель тенденции (A_1) составил 28,02 на 100 тыс. населения. Устойчивая тенденция к росту заболеваемости ИМ выявлена в возрастных группах 18–35 лет, >35–48 лет и >48–65 лет. Коэффициент детерминации R^2 равен 0,9, 0,84 и 0,81 соответственно. Заболеваемость увеличилась в возрастной группе 18–35 лет на 26,1 %, >35–48 лет – на 12,4 %, >48–65 лет – на 18,2 %. Среди лиц старше 65 лет отмечался слабо выраженный рост показателей заболеваемости ИМ ($R^2 = 0,49$). Увеличение составило 4,1 %. В возрастной группе до 18 лет в динамике заболеваемости ИМ тенденция имела направленность к умеренно выраженному снижению ($R^2 = 0,6$). Показатели в 2016 г. по сравнению с начальным годом исследования уменьшились в 2,2 раза.

В каждой возрастной группе и мужского, и женского населения отмечался рост заболеваемости острой сердечной недостаточностью. У мужчин наиболее высокие показатели регистрировались в возрасте >48–65 лет. Среднегодовое значение заболеваемости (A_0) составило 2028,3 %. К 2016 г. заболеваемость населения этого возраста увеличилась на 30,4 %. Среди женского населения эта патология чаще регистрировалась в возрасте старше 35–48 лет (A_0 равен 842,9 на 100 тыс. женского населения данного возраста) и у женщин старше 65 лет – 974,6 %.

Была проведена количественная оценка показателей заболеваемости населения Минской обл. болезнями системы кровообращения по формам патологии, полу и возрастным группам.

Как видно из табл. 1 и 2 возраст является эндогенным фактором риска развития болезней системы кровообращения. Показатели заболеваемости значительно возрастают с увеличением возраста, как у мужчин, так и у женщин.

Таблица 1 – Количественные показатели заболеваемости мужского населения Минской обл. болезнями системы кровообращения в 2012–2016 гг.

Возрастные группы	АГ			ОСН			ИМ			АС		
	A0 ‰	A1 ‰	R ²	A0 ‰	A1 ‰	R ²	A0 ‰	A1 ‰	R ²	A0 ‰	A1 ‰	R ²
До 18	255,4	59,76	0,92	173,24	14,12	0,69	7,3	-0,82	0,46↓	21,4	7,15	0,66
18–35	1240,5	9,69	0,23	994,2	72,2	0,95	1240,5	9,7	0,23	1083,6	-30,55	0,4↓
>35–48	1697,0	117,21	0,92	1575,3	83,6	0,98	1693,0	117,2	0,91	1515,6	127,95	0,88
>48–65	2267,4	114,35	0,93	2028,3	128,5	0,95	2267,4	114,4	0,93	2083,8	103,1	0,82
>65	1656,6	19,37	0,22	1125,2	95,8	0,64	1654,6	19,4	0,22	1037,5	76,43	0,83

Среди мужского населения увеличение частоты случаев артериальной гипертензией начинается в возрасте 18 лет и старше. Наиболее высокие показатели заболеваемости отмечались в возрастной группе >48–65 лет. Тенденция роста выявлена во всех рассматриваемых группах мужского населения, за исключением мужчин в возрасте 18–35 лет и старше 65 лет, у которых в динамике заболеваемости АГ выявить направленность тенденции не представилось возможным. К 2016 г. показатели заболеваемости АГ среди мужчин по сравнению с начальным годом исследования увеличились в 2,5 раза в возрастной группе до 18 лет, на 3,3 % – среди лиц в возрасте 18–35 лет, на 28,8 % – в группе >35–48 лет, на 21,7 % – в группе >48–65 лет и на 19 % – у мужчин старше 65 лет.

Острая сердечная недостаточность имеет устойчивый рост во всех возрастных группах мужского населения. Увеличение показателей заболеваемости в 2016 г. по отношению к 2012 г. составило соответственно 37,9 %, 31,2 %, 23,3 %, 30,4 % и 44,3 %.

Частота случаев инфаркта миокарда и атеросклероза у мужчин в возрасте от 48 до 65 лет превышает все остальные рассмотренные возрастные группы: А0 составило 2267,4‰ и 2083,8 % соответственно, что в среднем 1,5–2 раза выше уровней в остальных возрастах, без учета лиц до 18 лет. ИМ у мужчин этого возраста имеет слабовыраженную направленность к снижению (табл. 1) на 32,9 %. У мужчин в возрасте от 35 до 65 лет ИМ имеет устойчивый рост в среднем на 25 % к концу периода наблюдения. Слабо выраженная тенденция к снижению выявлена в заболеваемости АС возрастной группы мужчин 18–35 лет (табл. 1). В остальных случаях отмечен устойчивый рост показателей: в возрасте до 18 лет – в 3,6 раза, >35–48 – на 34,6 %, >48–65 – на 19 %, >65 – на 23,3 %.

Из табл. 2 видно, что у женщин в возрасте от 48 до 65 лет регистрировалась наиболее высокая частота случаев заболеваний АГ, ИМ и атеросклерозом. К тому же уровень заболеваемости женщин этого возраста выше, чем среди мужчин. Устойчивый рост отмечен по всем формам патологии и во всех возрастных группах женщин, за исключением лиц до 18 лет, где выявлена выраженная тенденция к снижению заболеваемости ИМ (в 6 раз), и женщин в возрасте старше 48 лет, где не представилось возможным определить направленность тенденции в заболеваемости артериальной гипертензией. У женщин до 18 лет отмечено максимальное увеличение показателей заболеваемости АГ, ОСН и АС в 2016 г. по сравнению с начальным годом исследования (в 2,3, 2,3 и 1,7 раза соответственно), хотя среднегодовые показатели заболеваемости (А0) указывают на низкий уровень сердечно-сосудистой патологии у этой группы в сравнении с женщинами старшего возраста. Острая сердечная недостаточность у женщин имеет устойчивый рост во всех возрастах, точно также как и среди мужского населения.

Таблица 2 – Количественные показатели заболеваемости женского населения Минской обл. болезнями системы кровообращения в 2012–2016 гг.

Возрастные группы	АГ			ОСН			ИМ			АС		
	A0 ‰	A1 ‰	R ²	A0 ‰	A1 ‰	R ²	A0 ‰	A1 ‰	R ²	A0 ‰	A1 ‰	R ²
До 18	190,6	41,1	0,93	22,4	3,25	0,73	3,2	-1,37	0,63↓	14,2	2,73	0,66
18–35	1191,5	24,3	0,83	442,6	35,9	0,9	534,9	0,53	0,03	1022,2	55,4	0,95
>35–48	1379,6	57,9	0,85	842,9	47,7	0,79	621,3	27,2	0,6	1177,3	40,63	0,72
>48–65	3793,9	32,1	0,09	248,5	31,7	0,98	2210,0	35,25	0,3	3407,6	130,8	0,79
> 65	1330,7	27,9	0,17	974,6	31,2	0,87	950,1	35,43	0,69	1135,3	21,7	0,34

Таким образом, проделанная работа позволила прийти к следующим выводам:

– заболеваемость населения Минской обл. болезнями сердечно-сосудистой системы имеет выраженную тенденцию роста;

– в структуре заболеваемости сердечно-сосудистой патологией первые ранговые места занимают артериальная гипертензия, инфаркт миокарда, атеросклероз, острая сердечная недостаточность;

– показатели заболеваемости с возрастом увеличиваются, как у мужчин, так и у женщин;

– в молодых возрастных группах заболеваемость мужчин выше, чем женщин. В старших возрастных группах ситуация меняется на противоположную.

Профилактика этой группы болезней и формирование у населения мотивации к здоровому образу жизни имеют первостепенное значение в снижении заболеваемости и смертности населения от болезней системы кровообращения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Адаменко, Е. И. Факторы риска неинфекционных заболеваний в Республике Беларусь / Е. И. Адаменко // Актуальные вопросы кардиологии и внутренних болезней: сборник научных трудов. – Минск: БГМУ, 2013. – С 17–21.
2. Герасимов, А. Медицинская статистика / А. Герасимов. – Минск: МИА, 2007. – С. 115–142.
3. Здоровоохранение Республики Беларусь: прошлое, настоящее и будущее / В. И. Жарко, И. В. Малахова, И. И. Новик, М. М. Сачек. – Минск: Минсктиппроект, 2012. – 320 с.
4. Здоровоохранение в Республике Беларусь / Официальный статистический сборник. – Минск: ГУ РНМБ, 2010. – 2016.
5. Сайгилов, Р. Т. Сердечно-сосудистые заболевания в контексте социально-экономических приоритетов долгосрочного развития / Р. Т. Сайгилов, А. А. Чулок // Вестник Российской академии медицинских наук. – 2015. – № 3. – С. 286–299.

ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ ГИГИЕНИЧЕСКОГО НОРМИРОВАНИЯ ОРГАНИЧЕСКОЙ ПЫЛИ

MAIN STAGES OF HYGIENIC RATIONING OF ORGANIC DUST

Е. В. Чернышова, В. В. Шевляков, Г. И. Эрм

E. Chernyshova, V. Shevlyakov, G. Erm

*Научно-практический центр гигиены, г. Минск, Республика Беларусь
rspch@rspch.by*

Scientific practical centre of hygiene, Minsk, Republic of Belarus

На примере исследований пыли комбикормов показаны основные этапы и особенности проведения гигиенического нормирования органической пыли. Комбикормовая пыль не обладает раздражающими свойствами, при внутрикожном введении животным проявляет выраженную аллергенную активность, что обусловлено наличием в ее составе растворимых белковых субстанций. Критерием ведущего вредного действия экстракта из пыли комбикормов на организм животных при ингаляционном поступлении является аллергенное. Экспериментально и научно обоснована предельно допустимая концентрация органической пыли комбикормов в воздухе рабочей зоны.

On the example of studies of mixed feed dust, the main stages and features of the hygienic rationing of organic dust have been shown. The dust of mixed fodders does not possess irritating properties, but shows the expressed allergenic activity at an intraskin introduction to the animals. This action is caused by soluble protein substances. Allergenic effect is leading harmful action of the extract from dust of mixed fodders at inhalation receipt in organism of animals. The maximum permissible concentration of mixed fodders organic dust in air of working zone has been experimentally and scientifically grounded.

Ключевые слова: пыль, комбикорм, рабочая зона, аллерген, гигиеническое нормирование, профилактика, заболеваемость.

Keywords: dust, feed, work area, allergen, hygienic rationing, prevention, morbidity.

Пылевой фактор является одним из ведущих вредных производственных факторов на многих предприятиях, в том числе и на комбикормовом производстве. Источниками запыленности воздуха рабочей зоны в основном являются недостаточно загерметизированные щели и неплотности, засовы в оборудовании и коммуникациях. На ряде рабочих мест при выполнении многих операций, связанных с перемещением сырья и готовой продукции, их фасовкой и тарированием, уборкой рабочих мест концентрация пыли в воздухе может возрасти в несколько десятков раз.

Материалы наших исследований доказали наличие аллергенного действия на организм органических аэрозолей растительного, животного и смешанного происхождения (пыль птицеводческого и животноводческого про-

изводства, кормовых дрожжей, мукомольного производства, крупяная). Анализ научной литературы и наши исследования показали и высокую частоту выявляемости аллергических заболеваний у работников, контактирующих в процессе производства с органической пылью [1–3].

Следует отметить, что нормирование, а именно установление предельно допустимых концентраций (далее – ПДК) в воздухе рабочей зоны пыли, в том числе и органической, ранее осуществлялось в зависимости от содержания в ней свободного диоксида кремния, т. е. в качестве определяющего фактора учитывалось только фиброгенное действие пыли.

Таким образом, с целью обеспечения безопасных условий труда и профилактики профзаболеваемости работника необходимость пересмотра ПДК органической пыли с учетом ведущего патогенетического механизма вредного действия ее белковой фракции, которая как мультигетероантиген оказывает преимущественно аллергенное и иммунотоксическое действие.

На примере комбикормового производства рассмотрим основные этапы гигиенического нормирования органической пыли в воздухе рабочей зоны.

Разнообразный состав комбикормов обусловлен наличием в нем преимущественно (до 95 %) веществ, содержащих белковые составляющие. Это растительные и зерновые компоненты (лузга, травяная мука, овес, пшеница, ячмень, кукуруза), рыбная и мясокостная мука, кормовые белки и дрожжи, премиксы. Кроме того в состав входят витамины, микроэлементы, минеральные вещества (соль, мел, фосфаты и др.). Составом комбикормов обусловлен преимущественно органический состав пыли, образующейся в процессе производства.

Целью **первого этапа** является определение ряда показателей, позволяющих охарактеризовать основной состав и физико-химические свойства отобранных на производствах типичных образцов пыли, подбор оптимальных условий для получения экстракт-аллергена из них с максимальным содержанием растворимой фракции, в том числе по белку.

Так, изучение химического состава нескольких образцов комбикормовой пыли показало, что независимо от вида и назначения комбикормов, они характеризовались низким содержанием свободного диоксида кремния (не более 0,12 %) при общем минеральном остатке от 5,89 до 10,9 %, липидной фракции (в среднем 5,24 %), но достаточно высокой удельной массой растворимой фракции белка (14,1–17,9 %). Содержание общего белка по азоту составляло 13–18 %.

Изученные образцы комбикормовой пыли характеризовались низким содержанием минеральных веществ и свободного диоксида кремния, следовательно ожидать существенного фиброгенного действия на организм этой пыли при ее вдыхании маловероятно. В тоже время обнаруженные высокие концентрации в пыли белка, в т. ч. в растворимой форме, при их поступлении в организм могут приводить к гипериммунному ответу, направленному на обезвреживание и элиминацию чужеродного антигена в организме с развитием повреждения собственных тканей, т. е. к аллергии.

Также было определено, что все образцы комбикормовой пыли интенсивно обсеменены микроорганизмами (общее количество микроорганизмов в образцах колебалось от $8,0 \times 10^4$ до $2,0 \times 10^5$ КОЕ/г), в том числе плесневыми и дрожжевыми грибами (обсемененность дрожжевыми грибами довольно высокая – до 500 КОЕ/г). Следовательно, изученная пыль в своем составе содержит антигены микроорганизмов, которые могут быть этиологическим фактором формирования иммунопатологических и аллергологических заболеваний у работников комбикормового производства.

В различных модельных биологических жидкостях изучена растворимость образцов комбикормовой пыли для обоснования оптимальных методов и условий экстрагирования из них растворимых фракций, на основании чего по предложенной нами методике [4] из образцов пыли был получен смешанный экстракт-аллерген с максимально возможным содержанием растворимой белковой составляющей (5,2 мг/мл) для моделирования и выявления биологического действия комбикормовой пыли на организм.

На **втором этапе** проводилось изучение параметров острой токсичности пыли и ее раздражающего действия на кожу и слизистые оболочки глаз на лабораторных животных. Изучение токсичности в экспериментах на животных показало, что по параметрам острой внутрижелудочной (отсутствие летальных эффектов у белых крыс на максимально возможные дозы 5000 и 7500 мг/кг) и внутрибрюшинной токсичности (для белых мышей $LD_{50} > 2000$ мг/кг) комбикормовая пыль согласно ГОСТ 12.1.007-76 относится к малоопасным веществам (IV класс).

Однократные 4-х часовые аппликации 50 %-ной водной суспензии пыли не вызывали раздражения кожных покровов морских свинок, а однократное внесение 50 мкл 30 %-ной водной суспензии пыли в нижний конъюнктивальный свод глаз кроликов сопровождалось слабыми признаками раздражения слизистой глаз, которые носили адаптационный характер и проходили в течение первого часа после воздействия без каких-либо поражений конъюнктивы и роговицы. Следовательно, комбикормовая пыль не обладает раздражающим кожу и слизистые оболочки действием.

Многие продукты биологического происхождения, попадая в организм, особенно ингаляционным путем, могут непосредственно воздействовать на клеточные элементы иммунной системы (микро- и макрофаги, базофилы, лимфоциты), вызывая в организме негативные проявления, подобные патохимической и патофизиологической стадиям гипериммунных аллергических процессов. Итогом такого неспецифического действия является повреждение тканевых структур, развитие воспаления, бронхоспазма и других клинических проявлений, подобных аллергическим реакциям («псевдоаллергических реакций»).

В связи с этим на **третьем этапе** экспериментов было изучено *in vitro* неспецифическое влияние комбикормовой пыли и полученного экстракт-аллергена на клетки-мишени организма и установлено, что пыль и экстракт из нее обладают неспецифической дозозависимой мембрано- и цитотоксичностью, гистаминолиберирующей способностью в больших дозах. Следовательно, в больших дозах комбикормовая пыль может вызывать активацию механизмов формирования «псевдоаллергических реакций».

Полученную информацию о механизме действия пыли необходимо учитывать для обоснования и подбора оптимальных тест-доз по белку экстракта из пыли для последующего выявления специфических иммуно-аллергических эффектов в экспериментах *in vivo* при изучении ее действия на организм в процессе обоснования ПДК пыли в воздухе рабочей зоны.

На **четвертом этапе** экспериментов изучали особенности биологического действия пыли.

Аллергенную активность изучали на модели внутрикожной сенсибилизации путем введения 100 мкл экстракт-аллергена (доза – 500 мкг по белку) в ухо морским свинкам. Через две недели выявление специфических и неспецифических биологических эффектов показало, что введение экстракт-аллергена вызывало у животных развитие выраженной гиперчувствительности по анафилактическому немедленному типу: средние величины относительного и абсолютного показателей активной кожной анафилактической реакции существенно превышали таковые в контрольной группе ($P < 0,01-0,001$). Достоверно высокий ($P < 0,02$) по сравнению с контролем уровень специфической дегрануляции тучных клеток подтвердил развитие Ig E-зависимой аллергической реакции. Одновременно у морских свинок в опыте отмечалось достоверное ($P < 0,05$) возрастание активности компонента в сыворотке крови, что свидетельствовало о развитии в организме умеренной аллергической реакции комплементзависимого цитотоксического типа.

Внутрикожным тестированием морских свинок было также выявлено формирование гиперчувствительности замедленного типа. Статистически достоверные ($P < 0,001$) более высокие величины индексов стимуляции реакции специфического НСТ-теста в опыте по сравнению с контролем доказали развитие клеточнообусловленного гипериммунного ответа.

Выраженная аллергия организма животных в опыте сопровождалась значимым ($P > 0,05$) угнетением фагоцитарно-гранулоцитарного звена иммунитета.

Экстракт-аллерген из комбикормовой пыли вызывал сенсибилизацию 75 % животных по внутрикожному тесту опухания уха с уровнем достоверной значимости различий по критерию X при $P < 0,05$, что позволило основываясь на критериях классификационной оценки аллергенной активности веществ [5] отнести данную пыль к выраженным аллергенам – 2 класс аллергенной активности.

Таким образом, внутрикожное введение экстракт-аллергена в стандартной дозе сопровождалось формированием в организме животных гиперергического иммунного ответа, в патогенезе которого задействованы смешанные механизмы аллергических реакций на фоне значительного угнетения фагоцитарно-клеточного звена иммунитета.

Следовательно, при гигиеническом нормировании пыли комбикормов следует учитывать ее выраженную аллергенную способность, обусловленную наличием растворимых белоксодержащих субстанций.

Пятый этап исследований позволил использовать сокращенную методическую схему и принципы, принятые для нормирования белоксодержащей пыли [4] для обоснования ориентировочно безопасного уровня воздействия (далее – ОБУВ) комбикормовой пыли в воздухе рабочей зоны.

По данной схеме проводилось сравнение результатов исследования аллергенных свойств изучаемого вещества в стандартных условиях эксперимента с референс-аллергенами, т. е. близкими по химическому составу и структуре, нормированными по аллергенному эффекту веществами. В качестве референс-аллергенов для сравнительного анализа использовали нормированную белоксодержащую пыль птицеводческого, животноводческого производств и кормовой добавки, которые классифицированы как сильные аллергены (1 класс) и нормированы в воздухе рабочей зоны по критерию аллергенного действия на уровне $0,1 \text{ мг/см}^3$ по белку с отметкой «Аллерген».

Сравнительный анализ результатов иммуноаллергологического тестирования животных, сенсибилизированных экстракт-аллергенами из пыли комбикормов и пыли референс-аллергенов в стандартной дозе по белку, показал, что все они вызывали индукцию гиперчувствительности замедленного типа, выявляемую внутрикожными тестами и реакцией специфического НСТ-теста.

Однако, показатели референс-аллергенов по частоте и выраженности алергодиагностических реакций в опыте превышали контроль по критерию «X» с достоверностью $P < 0,01$, тогда как на экстракт-аллерген из пыли комбикормов различия в опыте и контроле были достоверны при $P < 0,05$ по критерию «X», следовательно референс-аллергены отнесены к 1 классу аллергенной активности, а пыль комбикормов – ко 2 классу.

Итак, руководствуясь принципами ускоренного нормирования и сравнительного анализа, показавшего более низкую аллергенную способность экстракт-аллергена из пыли комбикормов по сравнению с референс-аллергенами, было допущено, что величина ОБУВ в воздухе рабочей зоны комбикормовой пыли будет в 2 раза выше уровня установленных гигиенических нормативов пыли референс-аллергенов, т. е. $0,2 \text{ мг/м}^3$ по белку с отметкой «Аллерген».

Далее для подтверждения адекватности соотнесения ПДК комбикормовой пыли с аналогичными величинами для уже нормированных белоксодержащих аэрозолей были проведены дополнительные ингаляционные эксперименты с месячной затравкой морских свинок полученным экстракт-аллергеном в расчетных ингаляционных концентрациях по белку $1,0 \text{ мг/м}^3$ и $0,2 \text{ мг/м}^3$.

Было установлено, что концентрация экстракт-аллергена 1,0 мг/м³ по белку при ингаляционном воздействии вызывала положительные реакции активной кожной анафилаксии у половины животных в опытной группе без достоверных различий с контролем. Это свидетельствовало о весьма слабо выраженной индукции в организме гиперчувствительности немедленного типа, что подтверждалось незначительными сдвигами косвенного показателя аллергизации – абсолютного количества базофилов, которое у животных в опыте находилось в пределах колебаний контрольных величин ($P > 0,05$). Однако отмечалось достоверное возрастание в опытной группе величины реакции дегрануляции тучных клеток.

Вместе с тем абсолютный и относительный показатели гиперчувствительности замедленного типа у животных в опыте были достоверно выше по сравнению с контролем при внутрикожном тестировании в ухо и боковые поверхности туловища. Обращало на себя внимание возрастание у животных в опыте показателей реакции специфической микропреципитации и циркулирующих иммунных комплексов в сыворотке крови, что свидетельствовало об активации иммунокомплексного механизма аллергических реакций в ответ на избыточное поступление чужеродных антигенов.

На воздействие экстракт-аллергена на уровне 0,2 мг/м³ по белку у морских свинок частота и выраженность всех показателей аллергизации находилась в пределах колебаний контрольных величин.

Остальные изученные показатели (прирост массы тела, относительные коэффициенты массы внутренних органов, показатели иммунологической резистентности), а также биохимические показатели, характеризующие функциональное состояние гепатобилиарной и мочевыделительной систем, системы перекисного окисления липидов и антиоксидантной защиты, и гематологические показатели у животных обеих опытных групп не имели значимых различий с таковыми в контрольной группе.

Со стороны показателей гемограммы у животных только 1 опытной группы отмечалось существенная тенденция к возрастанию количества тромбоцитов при несущественных сдвигах со стороны других клеточных элементов. У животных 2 опытной группы все показатели гемограммы находились в пределах колебаний контрольных величин ($P > 0,05$).

Таким образом, критерием ведущего вредного действия на организм комбикормовой пыли при ингаляционном поступлении является аллергенное, аналогично другим нормированным белоксодержащим аэрозолям.

Результатами исследования установлено, что ингалируемая концентрация экстракт-аллергена из комбикормовой пыли на уровне 1,0 мг/м³ по белку является надпороговой по лимитирующему показателю аллергенного эффекта, так как у опытных животных установлены достоверно высокие величины реакций гиперчувствительности замедленного типа и иммунокомплексного типа, а на уровне 0,2 мг/м³ по белку – недействующей.

Критерием гигиенического нормирования в воздухе рабочей зоны аллергоопасных белоксодержащих аэрозолей является величина фактической максимально недействующей по аллергенному эффекту концентрации [4]. Поэтому, исходя из определенной в экспериментах недействующей по аллергенному эффекту концентрации экстракт-аллергена из комбикормовой пыли по белку – 0,2 мг/м³, которая совпадает с величиной ОБУВ, обоснована ПДК органической пыли комбикормов в воздухе рабочей зоны на уровне 0,2 мг/м³ по белку, 2 класс опасности с отметкой «Аллерген».

ЛИТЕРАТУРА

1. Мосендз, С. А. О действии на организм пылей комбинированных кормов, применяющихся в промышленном животноводстве / С. А. Мосендз // Гигиена и санитария. 1982. № 2. С. 66–68.
2. Ушков, С. А. Характерные нарушения здоровья работников мукомольного производства / С. А. Ушков [и др.] // Здоровье и окружающая среда. – Минск: Смэлток, 2009. – Вып. 16. – С. 248–256.
3. Шевляков, В. В. Разработка предельно допустимой концентрации в воздухе рабочей зоны органической пыли зерно-растительного происхождения / В. В. Шевляков, Г. И. Эрм, Е. В. Чернышова // Медицина труда и экология человека. – 2017. – № 1. – С. 31–37.
4. Требования к постановке токсиколого-аллергологических исследований при гигиеническом нормировании белоксодержащих аэрозолей в воздухе рабочей зоны: МУ № 11-11-10-2002 // Сборник официальных документов по медицине труда и производственной санитарии. – Минск, 2004. – Ч. XIV. – С. 4–49.
5. Классификация и перечень аллергоопасных для человека промышленных веществ, основные меры профилактики: руководство № 11-11-11 РБ 02 // Сборник официальных документов по медицине труда и производственной санитарии. – Минск, 2003. – Ч. XI. – С. 94–126.

ОЦЕНКА РИСКА БЕЗОПАСНОГО ПРИМЕНЕНИЯ СРЕДСТВ ЗАЩИТЫ РАСТЕНИЙ НА ОСНОВЕ ДЕЙСТВУЮЩЕГО ВЕЩЕСТВА ДИКАМБА

RISK ASSESSMENT OF THE SAFE USE OF PESTICIDES ON THE BASIS OF THE ACTIVE SUBSTANCE DICAMBA

Е. С. Юркевич, В. И. Иода

E. Yurkevich, V. Ioda

Научно-практический центр гигиены, г. Минск, Республика Беларусь

wikuschka.ioda@mail.ru

Scientific and Practical Center of Hygiene, Minsk, Republic of Belarus

Для оценки риска безопасного применения новых средств защиты растений, обладающих высокой эффективностью и специфичностью в отношении вредных объектов, необходимым является проведение токсикологических экспериментов и санитарно-химических исследований в полевых условиях, позволяющих выявить неблагоприятные биологические эффекты для человека и среды обитания и разработать меры по безопасному обращению и минимизации негативного влияния на здоровье населения, окружающую среду и связанный с ними экономический ущерб, предложить производителям средства защиты растений, максимально безопасные для человека и эффективные для борьбы с вредителями сельскохозяйственных культур.

To assess the risk of safe use of new plant protection products, with high efficiency and specificity in relation to harmful objects, it is necessary to conduct Toxicological experiments and sanitary-chemical studies in the field, enabling the identification of adverse biological effects to humans and the environment and develop measures for safe handling, minimization of negative impact on public health, environment and related economic damage, offer plant protection products to manufacturers, the most safe for humans and effective for pest control of crops.

Ключевые слова: средство защиты растений, действующее вещество, гербицид.

Keywords: plant protection product, active substance, herbicide.

Интенсификация сельскохозяйственного производства сопровождается увеличением масштабов использования средств защиты растений (СЗР) и естественным ростом зависимости от их использования со всеми положительными и отрицательными эффектами.

Основная масса средств защиты растений – химические соединения для борьбы с сорняками и вредителями, применение которых позволяет получать стабильные урожаи и ограничивать распространение инфекций, передаваемых животными-переносчиками, например, малярии и сыпного тифа. Неконтролируемое использование пестицидов приводит к появлению устойчивых к ним видов организмов, особенно среди насекомых; губит хищников (естественных врагов вредителей) и других полезных животных. Загрязняя окружающую среду, пестициды угрожают и человеку.

По применяемому количеству среди средств защиты растений лидируют гербициды, ежегодное производство которых по всему миру составляет около 4,5 млн т. Гербициды в интенсивном режиме вносятся в почву, особенно в районах развитого земледелия, что оказывает неблагоприятное воздействие окружающую среду этих регионов: они накапливаются в почве; способны вымываться из почвы, попадая в водоемы, а затем в организм животных и человека. Процессы физико-химического поглощения, биологического и ферментативного разрушения играют свою роль в самоочищении почвы от ядов, однако часть токсинов системного действия способна проникать в урожай и создавать угрозу для качества кормов и продовольствия [1]. Химические компоненты угнетают жизнедеятельность биологической составляющей почвы: обитающих в ней бактерий, грибов, актиномицетов, водорослей, корненожек, жгутиковых и т. д., которые участвуют в образовании гумуса, и их гибель приводит к ухудшению питательных свойств почвы. Кроме того, действие внесенного препарата может продолжаться достаточно длительное время.

В сравнении с другими СЗР, гербициды отличаются более высокой фитотоксичностью, проявляющейся в большей степени у препаратов, обладающих слабым избирательным действием [2]. Иногда вещества с широким спектром действия уничтожают не только сорняки, но и полезные культуры, находящиеся в родстве с целевым объектом (одно семейство и др.), например, в посевах свеклы некоторые препараты вызывают гибель и сорняка марь белая, и самой свеклы, а при воздействии гербицидов на однодольные сорные злаки может пострадать основная зерновая культура. С целью сохранения культивируемой культуры из ряда гербицидов выбирают вещества, к которым полезные растения устойчивы, или которые обладают максимально избирательным действием [1].

По внешним признакам действия на растения и способам применения все гербициды делят на три подгруппы: гербициды контактного действия, гербициды системного действия и гербициды, действующие на корневую систему растений или прорастающие семена [3]. Такое деление условно, так как одни и те же вещества в зависи-

мости от применяемых концентраций и норм расхода на единицу обрабатываемой площади могут проявлять себя и как сплошные, и как избирательные препараты [3].

В соответствии с природой и механизмом действия выделяют следующие основные группы гербицидов: ингибиторы фотосинтеза, влияющие на дыхание растений, ингибиторы клеточного деления (митоза), регулирующие рост растений («синтетические ауксины»). Активность гербицидов может быть связана также с подавлением процессов синтеза нуклеиновых кислот, каротиноидов, белков, липидов, или с блокированием биосинтеза и транспорта природных регуляторов, катализирующих эти процессы; механизм действия многих гербицидов пока не выяснен [3; 4].

Одним из недавно применяемых действующих веществ является Дикамба, которое используется в препаративных формах гербицидов, как самостоятельно, так и в комбинациях с другими действующими веществами, против двудольных сорняков на посевах зерновых культур, в плодоводстве, на лугах, газонах и полосах дерна вдоль дорог.

Дикамба, или 3,6-дихлор-2-метоксибензойная кислота представляет собой синтетический ауксин, разработан компанией Velsicol Chemical Corporation и впервые попал на рынок в 1965 г. Это селективный гербицид для уничтожения многолетних корнеотпрысковых сорняков, полыни, молочая, лебеды, клевера, лютика, василька, амброзии, осота, борщевика и др.

Дикамба относится к группе гербицидов с ауксиноподобной активностью, производных хлорбензойной кислоты, механизм действия заключается в увеличении скорости синтеза РНК и ее концентрации, ускорении синтеза липидов и белка, увеличении растяжимости оболочек и росте клеток в длину [3]. Проникает в растения через листья, быстро передвигается в корневую систему, но не накапливается в них, а перемещается в верхние части растения, концентрируется в основном в молодых листьях, откуда перенос существенно замедляется [4].

Внешние признаки повреждения дикамбой заключаются в удлинении стебля, скручивании и увядании листьев и их последующем отмирании [5].

Из множества средств по борьбе с сорными культурами Дикамба выделяется быстрой усвояемостью растительными волокнами, как через листву и стебли, так и через корни сорняка; токсичностью к широкому спектру сорной растительности; продолжительным гербицидным воздействием, длящимся около 5 недель; полным разложением в грунте на протяжении вегетационного периода посевной культуры; отсутствием влияния на последующие растения и севооборотные процессы; отсутствием резистентности к ядохимикатам из других химических классов; отсутствием фитотоксичности для обрабатываемых посевных и сенокосных культур; хорошей сочетаемостью с другими гербицидами, что позволяет использовать препарат в баковых смесях; лояльностью по отношению к пчелам, а также относительной безопасностью для человека и животных.

Дикамба умеренно токсична для теплокровных (3 класс опасности), LD_{50} для крыс 1000–1100 мг/кг; клиническая картина острого отравления животных: угнетение, парезы конечностей и нарушение координации движений; гибель наступает на первые-вторые сутки; у выживших животных внешние признаки интоксикации исчезают на вторые-третьи сутки. Не обладает кумулятивной активностью на уровне проявления смертельных эффектов; быстро выводится без изменения с мочой [3]. Хроническое отравление сопровождается изменениями окислительно-восстановительных процессов, угнетением активности холинэстеразы, нарушением условнорефлекторной деятельности с преобладанием тормозных процессов [3].

Изучение условий труда при применении гербицида на основе дикамбы проводилось на опытном поле РУП «Институт защиты растений» НАН Беларуси с использованием штангового опрыскивателя Зубр 2000 с шириной захвата 12 м, агрегатированного с трактором Беларусь; норма расхода препарата: 0,7 л/га, расход рабочей жидкости – 200–300 л/га. Заправку опрыскивателя и обработку сельскохозяйственных культур выполняли 2 человека (оператор-заправщик, оператор при опрыскивании), одетые согласно рекомендациям, имеющимся в паспорте безопасности производителя.

В соответствии с поставленной целью оценку условий труда при применении средства защиты растений проводили на основании результатов анализа остаточных количеств действующего вещества в следующих объектах:

- воздух зоны дыхания оператора-заправщика (заправка ранцевого опрыскивателя) по приготовлению рабочего раствора препарата и заправке ранцевого опрыскивателя;
- смывы с кожных покровов оператора ранцевого опрыскивателя после окончания работ;
- снос на почву при обработке.

Отбор проб воздуха рабочей зоны проводили в соответствии с требованиями ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны и Методических рекомендаций № 2002/73 «Определение фактического содержания пестицидов в воздухе рабочей зоны и на кожных покровах». Определение микроколичеств действующих веществ в отобранных пробах проводили в соответствии с действующими инструкциями.

Риск неблагоприятного воздействия вещества при попадании на кожу определяли путем сравнения фактической экспозиционной дозы ($D_{ф}$, мг/см²), рассчитанной на основании полученных данных, с ориентировочно допустимым уровнем загрязнения кожных покровов действующими веществами (ОДУ з.к.п., мг/см²).

Полученные данные свидетельствуют о том, что при указанных условиях выполнения производственных операций в зоне дыхания оператора-заправщика и оператора при внесении дикамбы не обнаружены, (ОБУВ дикамбы в воздухе рабочей зоны – 1,0 мг/м³). У работающих не возникало ухудшения самочувствия или раздражения кожи и слизистых оболочек глаз; жалобы на ухудшение самочувствия после работы отсутствовали.

В сносах на почву дикамбы с подветренной и наветренной сторон, на расстоянии 1, 3, 6 м от края опрыскивателя не обнаружено (ПДК в почве дикамбы 0,25 мг/кг). Следовательно, применение гербицида на основе дикамбы при максимальной норме расхода препарата 0,7 л/га не будет приводить к загрязнению почвы на расстоянии 1 м, 3 м, 6 м от опрыскивателя с наветренной и с подветренной сторон. Предупредительные знаки безопасности должны быть размещены на расстоянии 6 м – на границе обрабатываемых и обработанных пестицидами участков.

Результаты гигиенической оценки степени риска для лиц, контактирующих с гербицидом на основе дикамбы, ходе обработки посевов яровой пшеницы с нормой расхода 0,7 л/га, проведенной в соответствии с Инструкцией по применению «Метод определения риска здоровью работающих при применении пестицидов», утв. Главным государственным санитарным врачом РБ 07.04.2016 г. (рег. № 008-0915), представлены в табл. 1–3.

Таблица 1 – Значения фактической кожной экспозиция ($D_{ф.}$, мг/см²) дикамба, действующего вещества исследуемого гербицида, воздействующей на оператора-заправщика и оператора опрыскивателя после выполнения производственных операций по обработке посевов яровой пшеницы с нормой расхода 0,7 л/га

Трудовые операции	Действующее вещество (дикамба)
Оператор опрыскивателя	0,000005
Оператор-заправщик	0,000025

Примечания (используемые при расчете величины): $D_{ф.}$ – фактическая кожная экспозиция, мг/см²; $D_{ср.}$ – среднее содержания вещества на коже (дермальная экспозиция); F – продолжительность рабочей смены – 6 часов; F_1 – фактическое время работы – 30 минут.

Таблица 2 – Величины пороговых доз и ориентировочно допустимого уровня загрязнения кожных покровов гербицидом (124 г/л дикамба) для оператора-заправщика и оператора опрыскивателя после выполнения производственных операций по обработке посевов яровой пшеницы с нормой расхода 0,7 л/га

Действующее вещество	Трудовые операции	Пороговая доза, Lim_{ch}^e , мг/кг	Допустимое суточное поступление для человека, мг/сутки	Допустимое эпидуральное поступление пестицида в смену для работающего, мг/чел	Ориентировочно допустимый уровень загрязнения кожных покровов, ОДУ _{з.к.п.} , мг/см ²
Дикамба	Оператор опрыскивателя	2	0,7	1,56	0,0004342
	Оператор-заправщик	2	0,7	1,56	0,0004342

Примечания (используемые при расчете величины): Lim_{ch}^e – пороговая доза, рассчитанная на основании DL_{50}^K ; K – коэффициент для веществ 3-4 класса опасности – 0,001; M – масса тела человека, принятая в среднем 70 кг; $K_{ост.}$ – коэффициент остаточный, выражающий экспозиционное соотношение количества вещества, попавшего и оставшегося на коже – 0,25; S – площадь кожного покрова человека, в среднем составляет 16 120 см²; $K_{отн.прон.}$ – ориентировочный коэффициент относительной проницаемости кожи человека и крысы или кролика для данного вещества равен 2; K_s – коэффициент запаса, принят равным 10; ДСД – допустимая суточная доза, мг/кг массы тела человека (70 кг); * – расчетная величина.

Таблица 3 – Величины суммарного риска для оператора опрыскивателя и оператора-заправщика при накожном и ингаляционном воздействии гербицида (124 г/л дикамба) при выполнении производственных операций по обработке посевов яровой пшеницы с нормой расхода 0,7 л/га

Рассчитанные коэффициенты	Действующее вещество (дикамба)	
	Оператор опрыскивателя	Оператор-заправщик
Коэффициент безопасности при кожном поступлении пестицида (риск дермального воздействия), $KB_{д.}$	0,0012	0,058
Коэффициент безопасности при ингаляционном поступлении (риск ингаляционного воздействия), $KB_{инг.}$	0,01	0,01
Величина суммарного риска, $KB_{сумм.}$	0,0112	0,068
Нормативное значение величины суммарного риска, $KB_{сумм.}$	< 1	< 1

Примечания (используемые при расчете величины): $D_{ф.}$ – фактическая кожная экспозиция, мг/см²; ПДК/ОБУВ_{в.р.з.} – предельно допустимая концентрация/ ориентировочно безопасный уровень воздействия в воздухе рабочей зоны.

На основании проведенных исследований установлено: отсутствие действующего вещества дикамба в зоне дыхания оператора-заправщика и оператора опрыскивателя на участках тела работающих, закрытых СИЗ и открытых, при обработке сельскохозяйственных культур, позволяют сделать вывод, что условия применения гербицида при данной технологии, соблюдении регламентов и мер безопасности соответствует гигиеническим требованиям.

Следовательно, при соблюдении установленных агротехнических и гигиенических регламентов использования препарата результаты исследований позволяют оценить гербицид (124 г/л дикамба), как препарат с допустимым риском, не представляющий опасности для объектов окружающей среды и здоровья работающих; сроки безопасного выхода людей на обработанные препаратом площади – через 3 суток для механизированных работ и 7 суток для ручных работ.

Результаты работы позволяют увеличить ассортимент применяемых средств защиты растений и использовать в агропромышленном комплексе наименее опасные для окружающей среды и здоровья человека препараты, и увеличить урожайность сельскохозяйственных растений.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Куликова, Н. А.* Гербициды и экологические аспекты их применения: учебное пособие / Н. А. Куликова, Г. Ф. Лебедева. – М.: книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2010. – 152 с.
2. *Зинченко, В. А.* Химическая защита растений: средства, технология и экологическая безопасность / В. А. Зинченко. – М.: Колос С, 2005. – 232 с.
3. *Горелов, А. А.* Экология / А. А. Горелов. – М.: Academia, 2006. – 400 с.
4. *Степановских, А. С.* Общая экология / А. С. Степановских. – М.: ЮНИТИ, 2001. – 520 с.
5. *Жеребко, В. М.* Классификация гербицидов // Защита и карантин растений. – 2001. – № 10. – 52 с.

**АДАПТАЦИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СИСТЕМ
ЧЕЛОВЕКА К ЕСТЕСТВЕННЫМ
И ЭКСТРЕМАЛЬНЫМ ФАКТОРАМ СРЕДЫ**

**PATTERNS OF FORMATION OF MICROELEMENT STATUS IN INDIVIDUALS
WITH AN INCREASED BODY MASS INDEX AND THE RISK
OF MICROELEMENTOSIS**

**ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ МИКРОЭЛЕМЕНТНОГО СТАТУСА
У ЛИЦ С ПОВЫШЕННЫМ ИНДЕКСОМ МАССЫ ТЕЛА И РИСК
ВОЗНИКНОВЕНИЯ МИКРОЭЛЕМЕНТОЗОВ**

Ali Adeeb Hussein Ali, L. Loseva, S. Anuchin
Али Адуб Хуссейн Али, Л. П. Лосева, С. Н. Анучин

Yanka Kupala State University of Grodno, Grodno, Republic of Belarus
fxmioos@mail.ru

Гродненский государственный университет имени Янки Купалы, г. Гродно, Республика Беларусь

Obesity is a huge social problem. Creating a database of bioelement status of people with increased body weight, depending on gender and age, will allow to carry out preventive measures at an early stage. The observation groups were men and women aged 18-30 with a body mass index of 19–24.9 (control group) and a group with a body mass index of 25–30. In total, there were 4 groups of 25 people each. A non-invasive method based on the use of X-ray fluorescence analysis was used to assess the bioelement balance. It should be noted that in the observation groups of men and women with increased body mass there are elevated concentrations of lead in the hair, which may reflect both the level of anthropogenic environmental pollution and insufficient diuresis. Correction of nutrition on the identified violations of bioelements at an early stage will allow for the prevention of overweight and thus have a social effect.

Ожирение – это колоссальная социальная проблема. Создание базы данных биоэлементного статуса людей с повышенной массой тела в зависимости от пола и возраста позволит провести профилактические мероприятия на ранней стадии. В качестве групп наблюдения были взяты мужчины и женщины в возрасте 18–30 лет с индексом массы тела 19–24,9 (контрольная группа) и группа с индексом массы тела 25–30. Всего под наблюдением было 4 группы по 25 человек в каждой. Для оценки биоэлементного баланса использовали неинвазивный метод, основанный на использовании рентгенофлуоресцентного анализа. Следует отметить, что в группах наблюдения мужчин и женщин с повышенной массой тела имеют место повышенные концентрации свинца в волосах, что может отражать как уровень антропогенного загрязнения окружающей среды, так и недостаточный диурез. Коррекция питания по выявленным нарушениям биоэлементов на ранней стадии позволит провести профилактику избыточного веса и тем самым иметь социальный эффект.

Keywords: microelement status, body mass index (BMI), microelementosis, X-ray fluorescence analysis, bioelement balance.

Ключевые слова: микроэлементный статус, индекс массы тела (ИМТ), микроэлементоз, рентгенофлуоресцентный анализ, биоэлементный баланс.

According to the WHO, there are more than 1.7 billion people who are overweight or obese in the world. However, the citizens of many countries themselves do not believe that the scale of the problem is so serious. This was confirmed by a population survey conducted recently by the British analytical company Ipsos Mori. Total surveyed residents of 28 countries. Only in three of them do people overestimate real obesity data. These are Japan, India and China, where, in reality, the percentage of obesity does not exceed 28 percent. The leaders of the survey were residents of Saudi Arabia, who believe that 28 percent are obese in their country, although in fact more than 70. Russians are in 3rd place with 57 percent of fat people. An alarming indicator and the fact that in 10 countries, obesity is already characteristic of more than half of the population, but in four of them the recognized scale of the disaster and the real differed by 20 percent or more. Today, scientists believe that the main cause of obesity is unhealthy diet, followed by lack of physical activity, stress, external factors and heredity. “Today, our main threats are overeating and micronutrient deficiencies,” said Academician Victor Tutelyan, director of the Nutrition Institute.

The lack of an organism in mineral substances occurs in certain regions, where their content is reduced in soil and water. In cases of insufficient intake of minerals in the body, for some time, they can be replenished by mobilizing some parts of the body that have powerful reserves of macronutrients (for example, bone tissue contains calcium, magnesium, phosphorus; muscles - potassium; skin - sodium) and in case of insufficient their intake with food make up the deficit. As for the reserves of microelements in the tissues, they are insignificant and must constantly come from food. The problem of microelementoses is caused by the unfavorable ecological situation in our country, especially in large industrial centers. On the one hand, it is the increased concentration of the heavy metals in the environment, such as lead, mercury and some

other leading to the considerable tension of the immune system of the person. On the other hand, there are anthropogenically and naturally caused deficiencies of vital microelements: iron, iodine, selenium, zinc, etc., which cause certain physiological and biochemical disturbances in normal human activity.

In most developed countries of Europe, between 15 and 25 percent of the adult population suffers from obesity. Recently, there is an increase in the frequency of obesity in children and adolescents around the world: in the developed countries of the world, 25 percent of adolescents are overweight, and 15 percent are obese. Being overweight in children is a significant predictor of obesity in adulthood: 50 percent of children who are overweight at 6 years of age become obese as adults, and in adolescence this probability increases to 80 percent. In Europe and the USA, the percentage of overweight people is much higher and every third is fat. In addition to everything else, every second one has a violation of the ratio of the growth of mass, upwards [1].

The body mass index for a normal person of any body type from thin to wide bone is 19–24. If the coefficient is 25, then the person begins to gain weight, and after 27 the first problems from overweight begin to manifest. According to the compiled table of obese people of the world, the USA has become the leader, but there are Arab countries in the top ten: Kuwait, Croatia, Qatar and Egypt. Around the world, the average number of obese people varies around 9% among men and 13 percent among women. Approximately 55 percent of Belarusians are overweight and obese. The critical mark, after which it can be said that the nation is sick – has already been passed. According to statistics, in two years the world will be 2.3 billion overweight people and 700 million obese people, and this is a third of the world's population. Therefore, the problem of obesity in our time is becoming increasingly urgent and begins to pose a social threat to people's lives.

The World Health Organization (WHO) came to the conclusion that the main cause of the obesity epidemic in the world was the lack of spontaneous and labor physical activity of the population combined with excessive consumption of high-calorie fatty foods. Obesity significantly reduces the life expectancy of the average from 3-5 years with a slight excess weight, up to 15 years with severe obesity. In almost two cases out of three, the death of a person comes from a disease associated with the destruction of fat metabolism and fattening. Obesity is a huge social problem.

The effect of microelements on metabolic processes is realized, first of all, through their effect on the genetic apparatus of the cell. By binding to nucleotides, metal ions cause significant changes in the structure of nucleic acids. Therefore, the deficiency, excess and imbalance of microelements in the human body can lead to various genetic disorders at the level of germ cells in the form of gene, chromosomal or genomic mutations. Disruption of the exchange of microelements (both their lack and excess) in the body of a pregnant woman can cause various malformations. Genetic disorders of the metabolism of microelements can be primary, affecting all metabolic processes in the body or disturbing only certain stages of the metabolism of certain microelements, and secondary, caused by other genetic effects. [2].

Creating a database of bioelement status of people with increased body weight, depending on gender and age, will allow to carry out preventive measures at an early stage.

The purpose of the work is to assess the risk groups for the development of polydismicroelementoses depending on the body mass index and to develop methods for their prevention.

The Research was carried out on the basis of the laboratory of physic-chemical methods for the study of environmental objects of the Grodno State University. Y. Kupala, which has laboratory areas, equipment for studying the content of chemical elements in various objects in the form of an X-ray fluorescence analyzer with software, methods approved by the RB supervisors, computers with software. Equipment for sample preparation (press, molds, electronic scales).

The observation groups were men and women aged 18–30 with a body mass index of 19-24.9 (control group) and a group with a body mass index of 25–30. In total, there were 4 groups of 25 people each.

To assess the bioelement balance, a non-invasive method will be used, based on the use of X-ray fluorescence analysis, which does not require complicated sample preparation, does not consume the sample substance, does not change its chemical composition, it allows you to analyze the same sample the necessary number of times and avoid loss. And, very importantly, the speed of obtaining information about the object under study, without significant costs. Based on the method for determining the chemical elements in biological samples (hair) by XRF method on the instrument CEP-01 – MT “МВИ.МН 3730-2011”.

The content of the bioelements in the hair reflects retrospectively their consumption for a considerable period of time, which allows us to characterize the general elemental status of the human body and evaluate the effect of actual nutrition on its formation. Very promising is the use of hair samples as archival material in historical biomonitoring, which, with the continuous improvement of the analytical base, opens up new possibilities for this type of control of the level of elements in the human body and for the assessment of environmental pollution. The scientific and medical data accumulated to date on the role of mineral elements in the functioning of individual organs, systems and the human body as a whole, data on the consequences for human health, nutrient deficiencies, vital elements and toxic excess can be generalized and widely used in diagnostic and medical practice (table 1).

Reference standards for microelements are respectively: Ca 550–1700 $\mu\text{g/g}$, Zn 120–200 $\mu\text{g/g}$, K 70–30 $\mu\text{g/g}$, I 0.4–4.0 $\mu\text{g/g}$, Fe 10–30 $\mu\text{g/g}$, Cu 9–30 $\mu\text{g/g}$, Se 0.3–1.2 $\mu\text{g/g}$, Mn 0.5–2.0 $\mu\text{g/g}$, Cr 0.5–5.0 $\mu\text{g/g}$, S 21000–49000 $\mu\text{g/g}$, Br 2.0–12 $\mu\text{g/g}$, Cl 60–560 $\mu\text{g/g}$, Co 0–2 $\mu\text{g/g}$, Ag 0–2 $\mu\text{g/g}$, V 0–1 $\mu\text{g/g}$, Ni 0–3.5 $\mu\text{g/g}$, Rb 0–2 $\mu\text{g/g}$, Mo 0–3 $\mu\text{g/g}$, Sr 0–3 $\mu\text{g/g}$, Ti 0–4.4 $\mu\text{g/g}$, Ba 0–5 $\mu\text{g/g}$, 93 Pb 0–5 $\mu\text{g/g}$, As 0–2 $\mu\text{g/g}$, Hg 0–2 $\mu\text{g/g}$, Cd 0–1 $\mu\text{g/g}$, Sb 0–1.6 $\mu\text{g/g}$, Zn 0–2 $\mu\text{g/g}$, Sn 0–3 $\mu\text{g/g}$. The obtained data were processed on a

personal computer, using the statistical package “Statistic for Windows” 6.0, Excel 2003 and educational and methodical recommendations on the main features of the statistical package “Statistic for Windows” and application programs [3; 4].

*Table 1 – Informative definition of chemical elements in the blood, urine and hair
(Krause C. et al., 1989; Sabbioni E. et al., 1992)*

Element	Blood	Urine	Hair	Element	Blood	Urine	Hair
As	+	+	+	Fe	–	–	+
Al	–	–	+	Pb	+	–	+
Ba	–	–	+	Mg	–	–	+
Bi	+	–	–	Hg	+	+	–
B	–	–	+	P	–	–	+
Cd	+	+	+	Se	+	–	–
Ca	+	+	+	Ag	+	–	–
Cr	+	+	–	Sr	–	–	+
Co	+	–	–	Tl	+	–	–
Cu	+	+	+	Zn	+	–	+

As a result of the research, an imbalance in the concentration of micro and macro elements in the body of women with increased body weight was revealed:

- 86 percent of women had a high calcium content in the hair, which exceeded the reference norms by 2–2.5 times, (it can be assumed that there is a tendency to osteoporosis);
- 60 percent of women had a low zinc content of 1.5–2 times the reference levels (we can assume the presence of endocrine pathology, hidden allergies);
- 40 percent of women had a low potassium content, which is 1.5 times lower than the reference value (it can be assumed that there is a cardiovascular pathology);
- 30 percent of women had a high iron content, which exceeded 1.5–2 times the reference values (it can be assumed that liver disease occurs);
- 80 percent of women have impaired potassium / chlorine metabolism (it can be assumed that kidney disease occurs)
- 70 percent of men have protein deficiency;
- 70 percent of males have a calcium / potassium imbalance disorder;
- 30 percent of men can assume endocrine pathology.

In 30 percent of cases, a high lead content, in some cases exceeding the upper limit of the norm by 2 times in 20 % of cases (it is necessary to carry out detoxification adjustments of the diet (unknown cause)

The calculated Ca / K ratio in the median is 30, while the reference value is up to 5. There is a significant deviation in the calcium-potassium metabolism. As is known, the Ca / K ratio is proposed to be used to assess the activity of calcium regulatory hormones as a bioelement expression of their effect. An increase in its value, in this case 6 times, may indicate a violation of the hormonal activity of the endocrine glands that regulate calcium metabolism. The calculated Zn / Cu ratio in the median was 6, with a reference value of 8.

Attention is drawn to identical changes in groups of men and women with a body mass index of 25–30 – a decrease in the content of Ca, Zn, K. in hair.

It should be noted that in the observation groups of men and women with increased body mass there are elevated concentrations of lead in the hair, which may reflect both the level of anthropogenic environmental pollution and insufficient diuresis. It is known that the deficiency of essential microelements necessarily violates the basic processes of the body. The insufficiency of such elements affects the most subtle mechanisms of maintaining homeostasis, the basis of the existence of the living. The lack or excess of such microelement is accompanied by a cascade of metabolic disorders. In conditions of deficiency or microelement toxicosis, quite characteristic diseases and syndromes arise.

For toxic and conditionally-toxic microelements also deficient states in humans have not been established. Their accumulation in the body leads to various toxicoses with damage to various organs and systems. The scientific and medical data accumulated to date on the role of mineral elements in the functioning of individual organs, systems and the human body as a whole, data on the consequences for human health, nutrient deficiencies, vital elements and toxic excess can be generalized and widely used in diagnostic and medical practice.

It is known that by eating food of the same distribution in energy value of proteins, fats and carbohydrates, some people gain weight and others do not. People who are predisposed to obesity, disrupted the mechanism of energy consumption, in particular, due to lower energy consumption for basal metabolism [5].

Studies are preliminary and require more detailed study and statistical processing.

It can be assumed that the imbalance of bioelements is associated with impaired metabolism against the background of increased body weight and lead accumulation, which requires detoxification measures against the background of nutrition correction for vital elements (calcium, zinc, potassium).

It is necessary to establish the relationship between the bioelement status and the actual nutrition of the observation groups.

Correction of nutrition for the identified violations of bioelements at an early stage will allow for the prevention of overweight and thus have a social effect: prevention of cardiovascular, oncological and endocrine diseases and, as a consequence, an increase in life expectancy.

REFERENCES

1. Krymskaya, I. G. Human Hygiene and Ecology / I.G. Krymskaya // Tutorial. – 2nd ed. – Rostov-on-Don: “Phoenix”, 2012. – 351 p.
2. Goncharuk, E. I. Community hygiene / E. I. Goncharuk, V. G. Bardov, S. I. Garkavyi [et al.] // Tutorial. – Kiev, “Health”, 2006. – 792 p.
3. Loseva, L. P. Studying the features of the formation of the microelemental status of the body of students in conditions of increased physical activity Correction Measures / L. P. Loseva, V. A. Maksimovich, S. S. Anufrick, et al. // [Information resource]. Registration certificate № 4341303346 from 20.03.2013 г
4. Loseva, L. The prospect of determining micro- macroelements in student-athletes / L. Loseva, S. Anufrick, et al. // Sporto mokslas, 2016. – № 1, – P. 62–68.
5. Milasius, K. Concentration of macro- and microelements in physically active students’ hair under the influence of multivitamins and minerals intake/ Kazys Milasius, Liudmila Loseva, Tatjana Krupskaja, Slavomir Anufrick // Journal of Sports Science, 2017. – № 4. – P. 59–68.

THE INFLUENCE OF STORAGE AND SOLVENT ON THE TOTAL PHENOL, FLAVONOID AND ANTIOXIDANT ACTIVITIES OF SAGE (*SALVIA FRUTICOSA* L.)

ВЛИЯНИЕ ХРАНЕНИЯ И РАСТВОРИТЕЛЯ НА ОБЩУЮ ФЕНОЛЬНУЮ, ФЛАВОНОИДНУЮ И АНТИОКСИДАНТНУЮ АКТИВНОСТЬ ШАЛФЕЯ (*SALVIA FRUTICOSA* L.)

M. M. Özcan¹, V. Lemiasheuski²

M. M. Озкан¹, В. О. Лемешевский²

¹University of Selçuk, Konya, Turkey

²Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus
mozcan@selcuk.edu.tr

¹Университет Сельчука, г. Конья, Турецкая Республика

²Белорусский государственный университет, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ,
г. Минск, Республика Беларусь

The total phenol contents of methanol extract change between 875.14 and 784.39 mg GAE/ 100 g. In addition, total phenol contents of methanolic extracts stored at +4 °C changed between 987.46 (2th month) and 819.57 mg GAE/100 g. So, while antioxidant values of methanol extracts depending on storage are determine between 795.61 and 711.47, antioxidant activity values of ethanol extracts changed between 744.83 and 668.51. With respect to flavonoid contents of extracts, these values for methanol extracts were found between 44.13 (1th month) and 20.43 (12th month). These values obtained from extracts of *S. fruticosa* stored at refrigerator (+4 °C) were found higher then those of results kept stored room temperature. Also, antioxidant activities of methanol extracts kept at +4 °C changed between 857.41 and 746.84 mg/ml.

Общее содержание фенола в метанольном экстракте изменяется от 875,14 до 784,39 мг ЭГК/100 г. Кроме того, общее содержание фенола в метанольных экстрактах, хранящихся при +4 °С, изменялось между 987,46 (2-й месяц) и 819,57 мг ЭГК/100 г. Таким образом, в то время как антиоксидантные значения метанольных экстрактов, в зависимости от хранения, определяются между 795,61 и 711,47, антиоксидантные активности этанольных экстрактов изменяются в пределах 744,83 и 668,51. Что касается содержания экстрактов флавоноидов, эти значения для экстрактов метанола найдены между 44,13 (1-й месяц) и 20,43 (12-й месяц). Показатели, полученные по экстракту *S. fruticosa*, хранившемуся в холодильнике (+4 °С), оказались выше, чем результаты, полученные при комнатной температуре. Кроме того, антиоксидантная активность метанольных экстрактов, хранившихся при + 4 °С, изменялась между 857,41 и 746,84 мг/мл.

Keywords: total phenol activities, flavonoid activities, antioxidant activities, sage, GAE.

Ключевые слова: общая фенольная активность, флавоноидная активность, антиоксидантная активность, шалфей, ЭГК.

The genus *Salvia* is the largest member of the Lamiaceae family with nearly 1000 species spread throughout the various regions of the World mainly central and south America, western Asia (especially Turkey, Iran, Russia) and eastern Asia. Recently, 99 species of the genus *Salvia* have been identified in Turkey and 52 (52 %) of them are endemic to Turkey. Some members of the *Salvia* genus are commercially important and used for flavouring agents in foods as well as cosmetics, perfumery and the pharmaceutical industries with its biological activities.

Sage (*Salvia* spp) is a common herbal plant widely grown in various in the world, and especially in Mediterranean region (Pop *et al.*, 2015). It is an endemic in Turkey.

Salvia has a tonic, carminative, antiseptic, spasmolytic, astringent, haemostatic and diuretic affect in traditional medicine (Alimpic *et al.*, 2014). The leaves contain carnosolic acid, salvigenin, genkwanin, hispidulin, luteolin, rosmarinic, caffeic, labiatic.

Traditionally, the leaves of the sage are used as herbal tea by infusing it into hot boiled water for 3–5 min. Recently, it has been marketed in tea bags and has also potential for processing into instant herbal tea but the extraction process of the sage is the main issue for the potential herbal tea products. From an engineering point of view, understanding of mass transfer phenomenon at the solid–liquid interface in sage extraction is important for optimizing process, scaling up to pilot, consequently development of industrial application.

Today, it is well known that free radicals cause many diseases. Antioxidants have great importance in the fight against free radicals, which can damage biological molecules with different mechanisms of action and the interest in the usage of antioxidants in the food, pharmaceutical and cosmetic industries is constantly increasing. Nowadays, synthetic antioxidants such as butylated hydroxyanisole (BHA), Butylated hydroxytoluene (BHT) and natural antioxidants are used as preservatives in many industries, especially in food industry. However, the concerns about the safety and toxicity of synthetic antioxidants have not been overcome yet. Therefore, the need for new and safer antioxidant sources is still maintained.

Total antioxidant capacity of plant material depends not only on the content and composition of phenolics, but also on the contents of other antioxidants. Antioxidants such as β , carotene, ascorbic acid, and alfa-tocopherol are proved to prevent oxidations of free radicals by *in vitro* and *in vivo* studies.

As one of the plants used as natural antioxidant source is the genus *Salvia* and the antioxidant activities of *Salvia* extracts have been associated mainly with their total phenolic contents. Plants with phenolic content are used especially in oily food because of their significant functions such as dealing with undesirable fragrances, prolonging their shelf life, delaying the formation of toxic oxidation products, increasing nutritional value and preventing microbial growth. Phenolic compounds are known to be extremely beneficial in terms of human nutrition, cosmetic and pharmacological.

Several studies were conducted on antioxidant, antimicrobial, antiviral, antitumor effects of different aromatic plants (Özcan *et al.*, 2009; Alimpic *et al.*, 2014). Sage is used as a herbal tea for many years in Turkey. It is estimated a reduction at the bioactive components during the storage of plant tea. There is limited study on storage of herbal teas.

The objective of this study was to determine the total phenol, total flavonoid and antioxidant activities of methanol and ethanol extracts of *Salvia fruticosa* stored in dark at room temperature and +4 °C for one year.

Aerial parts of *Salvia fruticosa* Mill. were collected at the early vegetative stage on May 2015. About 10 g ground sample was extracted 100 ml mixture of 90 % methanol+9 % water+1 % acetic acid and 90 % ethanol+9 % water+1 % acetic acid, respectively at 28 °C for 48 h in a shaker. After filtration, the filtrate was evaporated under vacuum by a rotary evaporator apparatus.

The total phenol content was determined with Folin-Ciocalteu colorimetric method according to Singleton and Rossi (1965). The results were given as mg GAE/100 g.

Total flavonoids content was estimated according to Dewanto *et al.* (2002). The flavonoid content of extract was stated as mg CE/100 g dry-weight.

Antioxidant activity values of methanol and ethanol extracts of *S. fruticosa* were determined by using 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazil (DPPH) method modified by Odriozola-Serrano *et al.*, 2008).

All results were mean±standard deviation (MSTAT C) of independent plant parts (Püskülcü, İkiz, 1989).

Total phenol, flavonoid and antioxidant activity values of methanol and ethanol extracts of *Salvia fruticosa* stored in dark at room temperature and +4 °C for one year are presented in Table 1. While the total phenol contents of methanol extract change between 875.14 and 784.39 mg GAE/100 g, the total phenol contents of ethanol extract were found between 799.21 and 601.84 mg GAE/100 g. As a parallel with antioxidant values of both extracts, antioxidant values decreased when compared with total phenol values of extracts. So, while antioxidant values of methanol extracts depending on storage are determined between 795.61 and 711.47 mg/ml, antioxidant activity values of ethanol extracts changed between 744.83 and 668.51 mg/ml. With respect to flavonoid contents of extracts, these values for methanol extracts were found between 44.13 (1th month) and 20.43 (12th month). In addition, total flavonoid contents changed between 39.54 and 18.67. These values obtained from extracts of *S. fruticosa* stored (kept) at refrigerator (+4 °C) were found higher than those of results kept stored room temperature. Total phenol contents of methanolic extracts kept at +4 °C changed between 987.46 (2th month) and 819.57 mg GAE/100 g. In addition, total phenol contents of ethanol extracts were found between 846.14 and 642.39 mg GAE/100 g. Also, antioxidant activities of methanol extracts kept at +4 °C changed between 857.41 and 746.84 mg/ml. Total flavonoid contents of methanol extract kept at +4 °C were determined between 57.84 and 31.11 mg CE/100 g. The total phenol, total flavonoid contents and antioxidant activity values of sage depending on storage periods

in both storage conditions were significant at $p < 0.05$. Generally, total phenol, total flavonoid and antioxidant activity values of methanol extract were found partly high compared with results of ethanol extract.

Table 1 – Total phenol, total flavonoid and antioxidant activities of methanol and ethanol extracts of *S. fruticosa* stored room and refrigerator conditions

Storage (Month)	Solvents	Room Conditions		
		Total phenol (mg GAE/100 g)	Total flavonoid (mg CE/100 g)	Antioxidant activity ($\mu\text{g/ml}$)
1	2	3	4	5
2	methanol	875.14 \pm 12.43*a	44.13 \pm 2.26a	795.61 \pm 13.46a
	ethanol	799.21 \pm 17.28b**	39.54 \pm 1.17b	744.83 \pm 10.52b
4	methanol	861.56 \pm 13.62a	41.74 \pm 2.13a	784.17 \pm 11.49a
	ethanol	784.33 \pm 21.56b	36.41 \pm 1.39b	734.66 \pm 17.43b
6	methanol	848.42 \pm 9.89a	35.63 \pm 1.56a	771.48 \pm 15.49a
	ethanol	767.18 \pm 15.24b	32.78 \pm 2.34b	721.83 \pm 14.86b
8	methanol	830.27 \pm 11.67a	28.56 \pm 3.28a	752.93 \pm 14.27a
	ethanol	736.13 \pm 10.55b	27.51 \pm 1.57b	709.58 \pm 13.49b
10	methanol	807.41 \pm 8.37a	23.14 \pm 1.89a	738.23 \pm 11.88a
	ethanol	720.49 \pm 9.23b	20.46 \pm 1.13b	688.76 \pm 13.21b
12	methanol	784.39 \pm 7.61a	20.43 \pm 1.46a	711.47 \pm 12.54a
	ethanol	601.84 \pm 8.38b	18.67 \pm 1.29b	668.51 \pm 10.83b

Continuation of table 1

Storage (Month)	Solvents	Refrigerator (+4 °C)		
		Total phenol (mg GAE/100 g)	Total flavonoid (mg CE/100 g)	Antioxidant activity ($\mu\text{g/ml}$)
1	2	6	7	8
2	methanol	987.46 \pm 18.77a	57.84 \pm 2.39a	857.41 \pm 11.43a
	ethanol	846.14 \pm 15.39b	47.62 \pm 1.71b	758.18 \pm 10.37b
4	methanol	886.55 \pm 11.54a	55.84 \pm 1.21a	837.48 \pm 11.28a
	ethanol	829.11 \pm 12.27b	49.76 \pm 2.45b	768.29 \pm 13.72b
6	methanol	887.21 \pm 16.38a	51.54 \pm 3.28a	847.76 \pm 11.63a
	ethanol	791.34 \pm 10.89b	44.81 \pm 1.67b	769.27 \pm 14.38b
8	methanol	844.61 \pm 11.65a	39.87 \pm 1.51b	798.44 \pm 14.46a
	ethanol	762.17 \pm 12.49b	41.33 \pm 2.48a	728.67 \pm 11.39b
10	methanol	844.15 \pm 13.67a	36.43 \pm 2.33a	767.56 \pm 10.53a
	ethanol	748.14 \pm 15.29b	29.66 \pm 1.19b	718.41 \pm 11.39b
12	methanol	819.57 \pm 14.37a	31.11 \pm 1.23a	746.84 \pm 17.36a
	ethanol	642.39 \pm 13.62b	29.48 \pm 1.47b	697.56 \pm 15.28b

Note: * – mean \pm standard deviation, ** – Values within each column followed by different letters are significantly different ($p < 0.05$).

In previous study, while antioxidant activity values of *Salvia fruticosa* extracts, change between 287.57 and 450.51 $\mu\text{mol TE}/100\text{ g}$, total phenol and flavonoid contents of *Salvia fruticosa* extracts were determined between 488.70 and 1170.18 mg GAE/100 g and 664.03 and 1943.89 mg CE/100 g, respectively (Erdoğan *et al.*, 2014). Tawaha *et al.*, (2007) reported that the total phenolic content of *S. fruticosa* was 24.1 mg GAE/g. Papageorgiou *et al.*, (2008) have reported that the total phenolic content of leaves of *S. fruticosa* in different year and season ranged between 63.7 (determined in May) and 144 mg GAE g^{-1} DW (determined in August). These differences can be related with plant parts and storage conditions before analysis and they stored their samples under nitrogen. Also, extraction methods employed, geographical coordinates, climate, UV radiation, soil characteristics, and other ecological conditions may also cause such differences in total phenolic content (Papageorgiou *et al.*, 2008; Kallithraka *et al.*, 2009). Our results suggest that *S. fruticosa* is a strong antioxidant activity due to its total phenol contents in in vitro study. So it can be used as natural antioxidant source in the protection and preservation of certain foods and nutraceuticals.

Antioxidant activity as well as flavonoids total phenols of *S. fruticosa* extracts obtained by two different solvents were studied. Consequently, it is believed that storage in refrigerator for a long time is a convenient storage compared with storage at room due to bioactive constituents. In further research, it will be conducted on the correlation between the antioxidant capacity and the chemical composition of the sage plants.

REFERENCES

1. Antioxidant activity and total phenolic and flavonoid contents of *Salvia amplexicaulis* Lam. extracts / A. Alimipic *et al.* // Arch Biol Sci Belgrade. – 2014. – No. 66 (1). – P. 307–316.
2. Antioxidant activity and total phenolic content of selected Jordanian plant species / K. Tawaha *et al.* // Food Chem. – 2007. – No. 104. – P. 1372–1378.

3. Erdoğan, S. S. The Determination of antioxidant activity of some sage populations of in the Marmara Region / S. S. Erdoğan, Ü. Karık, K.H.C. Başer // Turkish J Agric Nat Sci. – 2014. – No. 2. – P. 1877–1881.
4. Evaluation of Antioxidant Activity and Phenolic Content in Different *Salvia officinalis* L. extracts / A. V. Pop (Cuceu) et al. // Bulletin UASVM Food Sci Technol. – 2015. – No. 72(2). – P. 210–214.
5. Kallithraka, S. Changes in phenolic composition and antioxidant activity of white wine during bottle storage: Accelerated browning test versus bottle storage / S. Kallithraka, M. I. Salacha, I. Tzourou // Food Chem. – 2009. – No. 113. – P. 500–505.
6. Odrizola-Serrano, I. Effect of minimal processing on bioactive compounds and color attributes of fresh-cut tomatoes / I. Odrizola-Serrano, R. Soliva-Fortuny, O. Martin-Belloso // LWT-Food Sci Technol. – 2008. – No. 41. – P. 217–226.
7. Özcan, M. M. Antioxidant activity, phenolic content and peroxide value of essential oil and extracts of some medicinal and aromatic plants used as condiment and herbal tea in Turkey / M. M. Özcan, O. Erel, E. Etöz Herken // J Med Food. – 2009. – No. 12. – P. 198–202.
8. Püskülcü, H. Introduction to statistic / H. Püskülcü, F. İkiz. – Bilgehan Press : Bornova, Izmir, Turkey, 1989 (in Turkish).
9. Singleton, V. L. Colorimetry of total phenolics with phosphomolibdic phosphotungstic acid / V. L. Singleton, J. R. Rossi // Am J Enol Vitic. – 1965. – No. 16. – P. 144–158.
10. Thermal processing enhances the nutritional value of tomatoes by increasing total antioxidant activity / V. Dewan- et al. // J Agric Food Chem. – 2002. – No. 50(10). – P. 3010–3014.
11. Variation of the chemical profile and antioxidant behavior of *Rosmarinus officinalis* L. and *Salvia fruticosa* Miller grown in Greece / V. Papageorgiou et al. // J Agric Food Chem. – 2008. – No. 56. – P. 7254–7264.

**ANTIOXIDANT EFFECT OF POWDER AND EXTRACTS
OF THE DATE SEED BY-PRODUCTS THAT CAUSE ENVIRONMENTAL
PROBLEMS ON THE OXIDATIVE STABILITY OF SESAME OIL**

**АНТИОКСИДАНТНОЕ ВЛИЯНИЕ ПОРОШКА И ЭКСТРАКТА
ФИНИКОВ КАК ПРИЧИНА ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ
В ОКИСЛИТЕЛЬНОЙ СТАБИЛЬНОСТИ КУНЖУТНОГО МАСЛА**

M. M. Özcan¹, E. S. Tanrıverdi²
M. M. Ozkan¹, E. S. Tanrıverdi²

¹University of Selçuk, Konya, Turkey,

²University of Gümüşhane, Giresun, Turkey
mozcan@selcuk.edu.tr

¹Университет Сельчука, г. Конья, Турецкая Республика

²Университет Гюмюшане, г. Гиресан, Турецкая Республика

Antioxidant effects of the date powder and extracts on the oxidative stability of sesame oil stored at 70 °C were investigated. For this purpose, the date powder (at the concentration of 2 %, 6 % and 10 %) and extract (at the concentration of 1 %, 3 % and 5 %) were added into sesame oil. Effects of the date powder and extract on the oxidative stability of sesame oil were assessed as connected with colour (Hunter *L*, *a* and *b*), viscosity, free fatty acid (FFA%) and peroxide value. The consequences were compared with 0.02% BHA and control sample. All concentrations of the date powder and extracts also showed greater activity than BHA on sesame oil. But the addition of 10 % date powder was shown the greatest effect. The addition of 10 % date powder has been determined to show best impact on peroxide value of sesame oil.

Исследованы антиоксидантное влияние порошка и экстрактов фиников на окислительную стабильность кунжутного масла, хранящегося при температуре 70 °C. Для этой цели порошок (в концентрации 2 %, 6 % и 10 %) и экстракт фиников (в концентрации 1 %, 3 % и 5 %) добавляли в кунжутное масло. Влияние порошка и экстракта фиников на окислительную стабильность кунжутного масла оценили как связанные с цветом (Hunter *L*, *a* and *b*), вязкостью, величиной свободных жирных кислот (СЖК%) и перекисным числом. Результаты сравнивали с 0,02 % БГА и контрольной пробой. Все концентрации порошка и экстрактов фиников также показали большую активность, чем БГА в кунжутном масле. Добавление 10 % порошка фиников показало наибольший эффект. Установлено, что добавление 10 % порошка фиников наилучшим образом влияет на перекисное число кунжутного масла.

Keywords: date powder, date extract, sesame oil, antioxidant, BHA.

Ключевые слова: порошок фиников, экстракт фиников, кунжутное масло, антиоксидант, БГА.

Oxidative degradation of lipids is one of the main factors limiting the shelf-life of food products. Oxidative degradation occurring fats and oils leads to the formation of unwanted taste and odor, the emergence of a large number of compounds harmful to human health, a decrease in nutritional value. The oxidation reactions due to the fatty acids may be inhibited by antioxidants that present naturally in oils and fats or subsequently added to foods such as tocopherols, sulphur compounds, ascorbic acid or phenolic substances. Antioxidant is the name the overall group of compound that free radicals caused by oxidation reactions stopping or slowing down. Because of these properties, antioxidants may protect food quality by preventing oxidative deterioration. Antioxidants, we can divide to two groups as of synthetic (unnatural) and natural antioxidants (Alaca and Arabacı, 2005).

Synthetic antioxidants have been used to retard undesirable changes as a result of oxidation in many foods for over 50 years. There are certain safety concerns and carcinogenic issues related to the used of synthetic antioxidants such as butylated hydroxytoluene (BHT), butylated hydroxyanisole (BHA) and tertiary butylhydroquinone (TBHQ) and hence their use in foods is being discouraged. Especially tertiary butylhydroquinone usage is banned in certain countries. For a long time, due to damages of synthetic antioxidants and consumers prefer natural antioxidants, for improve the properties of foods such as smell and taste, used as contribution oilseeds, spices and natural aromatic plants, in particular their essential oils has gained increasing importance (Ali, 2010; Çoban and Patır, 2010; Mechergui et al., 2010). *Date* species are getting increasing economic importance as their fruits are cherished as both fresh and processed fruits which result in production of substantial quantities of inedible date seed as waste although it has been reported to contain valuable natural antioxidants. Increasing date fruit consumption has resulted in efforts to utilize potential nutritional benefits of date seed. In general plant seeds are considered as valuable sources for producing edible oil for nutritional, industrial, and pharmaceutical applications. There are few reports on the utilization of date seed natural products for their effects in other food products. Antioxidant activity of extract of rosemary was evaluated in natural olive and sesame oils stored at 55 °C (Özcan, 1999).

The purpose of this study was to evaluate compare antioxidant activities of date powder and extract compare to antioxidant activity of BHA in sesame oil.

Sesame oil was provided from the local oil factory of Konya, Turkey. All solvents used were of analytical grade. The seeds of date (*Phoenix dactylifera* L.) (sukary cv.) fruit were obtained by manually removal them from flesh of date fruit obtained from local market in Riyadh, Saudi Arabia. Manual washing of seed was carried out remove any adhering flesh contents following by drying in air. A further drying process was carried out at 50 °C for 5 h followed by grinding of seeds to form powder passable from 1–2 mm screens. The powder was stored at 4 °C up to analysis.

Isolation of powder and extract of date. At 10 g powdered date seed sample was mixed by shaking with 50 ml of methanol (Merck, Darmstadt, Germany) in a flask at 35 °C for 1 h followed by filtration and centrifugation. The solvent was removed under reduced pressure using rotary evaporator. Different concentrations of residue were used as natural antioxidant in sesame oil (Özcan and Akgül, 1995).

The addition of antioxidant into sesame oil and storage process. Date powder (2 %, 6 % ve 10 %), date extract (1 %, 3 % ve 5 %) and BHA (0.02 %) as antioxidant were added at particular concentrations into separately 60 mL sesame oil. Sesame oil that was not added date extract was stored as for control group together with other samples at 70 °C. Beginning FFA% value, peroxide value, colour and viscosity value of sesame oil were designated. For each samples, FFA%, peroxide, colour and viscosity were analysed on 2nd, 5th, 8th and 12th days and results were noted.

Determination of peroxide number. About calculated amount of oil sample was weighed in the erlenmayer. 10 mL chloroform, 15 mL acetic acid and 1 mL potassium iodide solution were added upon its and were shaken. Then, closing the mouth of it was kept in a dark environment for ~ 5 min. At the end of this period, 75 ml distilled water and a few drops of starch solution were added upon its and sample was titrated with 0.01 N sodium thiosulfate (AOAC, 1990). Peroxide value were calculated according to the following formula.

$$\text{Peroxide value: } (V / m) \times 10,$$

V – used in titration sodium thiosulfate, ml; m – sample weight, g

Assessment of Instrumental Color. A colorimeter (Minolta Chroma meter CR 400 (Minolta Co., Osaka, Japan) was used for colour analysis. Oil sample (20 mL) was put into a clean petri and the colour value of three different regions was read in the instrument and averages were taken for triplicate reading. A CIELAB colorimetric system was used. The liquid probe of colorimeter was immersed into the sample kept in the petri dish kept on white tile followed by recording of CIE lab coordinates which were the average of ten reading for L*, a* and b*. The L* was attributed to the measurement of whiteness which ranged from 0 (black) to 100 (white). The red color was explained by coordinate a* which showed either positive (red) or negative (green) values. The b* values reflected yellow when positive and blue when negative (Pagliarini and Rastelli, 1994; Criado et al. 2004).

Determination of % free fatty acid. The oil samples were weighed to 5 g fat ± 0.01 for determination of % free fatty acid of frying oil, thawed in 100 mL ether. A few drops of phenolphthalein were added and were shaken. Finally, it titrated with 0,1 N KOH (potassium hydroxide) solution, consumption was recorded. % FFA were calculated according to the following formula:

$$\text{FFA\% : } (V / m) \times 2,8,$$

V – consumed KOH solution, ml; m – sample weight, g

Determination of viscosity. 35–45 mL sample of oil was put into the viscometer device. Value was recorded as mPas.

Statistical analyses. Analysis of variance (Püskülcü and İkiz, 1989) was applied to the results of properly replicated data for obtaining statistical significance which was defined at $P < 0.05$.

Peroxide value. The peroxide value (PV) is the measure of active oxygen in oils and it is the amount of peroxide oxygen as miliequivalengram in 1 kg oil. As shown while initial peroxide value of sesame oil was determined as 6.31 meq O₂/kg, from 27.09 meq O₂/kg (2nd day) to 256.95 meq O₂/kg (12th day) of peroxide values of the control sample; from 25.77 meq O₂/kg (2nd day) to 194.52 meq O₂/kg (12th day) of peroxide values of sample that 0.02 % BHA added; from 5.82 meq O₂/kg (2nd day) to 199.51 meq O₂/kg (12th day) of peroxide values of sample that 1 % date extract added; from 6.22 meq O₂/kg (2nd day) to 112.38 meq O₂/kg (12th day) of peroxide values of sample that 3 % date extract added; from 7.46 meq O₂/kg (2nd day) to 152.40 meq O₂/kg (12th day) of peroxide values of sample that 5 % date extract added; from 20.49 meq O₂/kg (2nd day) to 216.27 meq O₂/kg (12th day) of peroxide values of sample that 2 % date powder added; from 15.0 meq O₂/kg (2nd day) to 156.65 meq O₂/kg (12th day) of peroxide values of sample that 6 % date powder added; from 6.76 meq O₂/kg (2nd day) to 70.10 meq O₂/kg (12th day) of peroxide values of sample that 10 % date powder added were seen to increase. Increase for preservation period were seen in peroxide values of all samples. Addition of 1 % and 3% date extract were seen to reduce more than addition of 0.02 % BHA, 3 % date extract and 2 % and 6 % date powder. While addition of 10 % date powder caused by an increase of less than the other samples on peroxide value of sesame oil; 0.02 % BHA addition was not decline too much the peroxide value. Increase in the number of peroxide is thought to be explained with oil and fat to be oxidized exposing to heat, light and air. Inoxidized of oil formed peroxides and hydroperoxide and the peroxide value of oil rises. Increase in peroxide value of all samples was determined in this study. However, thought that addition of 10% date powder showed the greatest effect on oxydative stability of sesame oil.

Color analysis. The highest *L* value was determined in sesame oil that BHA added at the end of 12th day. *L* value of sesame oil that 10% date powder added was changed at least and it is close to '*L*' value of sesame oil that nothing added (0th day). The hydroperoxides fission in double bond fatty acids as a result of the improve of oxidation with the effect of heat and so alcohols, aldehydes, short-chain acids and hydrocarbons are formed. These formations cause darkening in oil color. At this stage we say that addition of 10 % palm powder has increase minimum thus it has prevent darkening of the oil color. Excluding the 8th day; '*a*' values which is designated of sesame oil that BHA added on the 2nd, 5th and 12th days and a values of sesame oil that 3 %, 5 % date extract added are closest initial value of sesame oil. As to a value is the lowest, in sesame oil that 10 % date powder added was determined. For control, sesame oil that 2% date powder added at the end of 8th day and sesame oil that 6 % date powder added at the end of 2nd and 5th days, '*a*' values were determined to be quite high. The initial value (0th day) to the nearest *b* value was seen in sesame oil that 5% date extract and 10 % date powder added excluding the 12th day of their. While *b* value of control sample decreased on the 2nd, 5th and 8th days, it increased on the 12th day. Particularly the lowest '*b*' value was determined in control sample at the end of 8th day. As to the highest '*b*' value was determined in sesame oil that 5% date extract added at the end of 12th day. The sesame oils stored at 70 °C were evaluated according to the Hunter color system. The colour values were expressed as '*L*' (brightness/darkness), *a* (redness/greenness) and *b* (yellowness/blueness).

Free fatty acid. Free fatty acids are the weight of milligrams of potassium hydroxide necessary to neutralization of 1 gram oil. The addition of date powder and extract were as effective as BHA on FFA%. The free fatty acids were lowest in sesame oils that 2 % and 6 % date powder added. Free acid values of sesame oil that BHA, date powder and date extract added were lowest than free acid value of sesame oil that nothing added (0th day). According to 0th day, the free acidity increased during experiment. Generally, date powder inhibited oxidation in sesame oil.

Viscosity. Addition of BHA, date powder and extract into sesame oil increased the viscosity. While the addition of BHA increased at the furthest the viscosity, the addition of date powder and extract increased less than addition of BHA. While the peroxide value of all the samples increased their viscosity values also increased. Increasing in viscosity of sample that BHA added was highest (2th day: 44.8 mPa.s; 12th day: 52.1 mPa.s). We can explain this change in viscosity occurred with oxidation of oil is exposed to heat, light and air. Hydroperoxides are exposed to dehydration or are transformed into free radicals which become dimers, trimers, epoxides, alcohols and hydrocarbons during the formation of ketones with the advancement of oxidation. The viscosity of oil increases as a result of formed these free radicals. While the peroxide value of sample that 6 % date powder added rised, viscosity of its partially reduced on 5th and 8th days and slightly increased on 12th day (2nd day: 46.3 m Pa.s; 5th day: 44.9 mPa.s; 8th day: 44.8 mPa.s; 12th day: 46.3 mPa.s). Biglari et al. (2008), a study examined the antioxidant activity and phenolic content of various date palm (*Phoenix dactylifera*) fruits from Iran, they have demonstrated the potential of Iranian dates as antioxidant functional food ingredients.

As a result of this study; effects of addition of diverse concentrations of date powder and extract have been examined on sesame oil stored for 12 days at 70 °C. The date powder have been examined to show the antioxidant effect more than the addition of 0.02 % BHA and date extract. As to the best effect, the addition of 10 % date powder has been examined to show. Effects of the date powder and extract on the oxidative stability of sesame oil were assessed as connected with colour (Hunter *L*, *a* and *b*), viscosity, free fatty acid (FFA%) and peroxide value.

REFERENCES

1. Özcan, M. Antioxidant activity of extracts and essential oils from Turkish spices on sunflower oil / M. Özcan, A. Akgül // Acta Alimentaria 24, 1995. – P. 81–90.

2. Alaca, F. G. Bazı tıbbi bitkilerdeki doğal antioksidanlar ve önemi / F. G. Alaca, ve O. Arabacı // *Türkiye VI. Tarla Bitkileri Kongresi*, Antalya, 2005. – P. 465–470.
3. AOAC, Official Methods of Analysis, 15th ed. Association of Official Analytical Chemists, Washington DC. – 1990.
4. Biglari, F. Antioxidant activity and phenolic content of various date palm (*Phoenix dactylifera*) fruits from Iran / F. Biglari, A. F. M. AlKarkhi, and A. M. Easa // *Food Chemistry*, 107 (4), 2008. – P. 1636–1641.
5. Criado, M. N. Comparative study of the effect of the maturation process of the olive fruit on the chlorophyll and carotenoid fractions of drupes and virgin oils from Arbequina and Fraga cultivars / M. N. Criado, M. J. Motilva, M. Goni, M. P. Romero // *Food Chemistry* 2, 2005. – 748–755.
6. Mechergui, K. Essential oils of *Origanum vulgare* L. subsp. *glandulosum* (Desf.) Ietswaart from Tunisia: chemical composition and antioxidant activity / K. Mechergui, J. A. Coelho, M. C. Serra, S. B. Lamine, S. Boukhchina, M. L. Khouja // *J Sci Food Agric*, 90, 2010. – P. 1745–1749.
7. Özcan, M. Antioxidant activity of extracts and essential oils from Turkish spices on sunflower oil / M. Özcan, A. Akgül // *Acta Alimentaria*, 24(1), 1995. – P. 81–90.
8. Özcan, A. Antioxidant activity of rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.) extracts on natural olive and sesame oils. *Grasas y Aceites*, 50 (5), 1999. P. 355–358.
9. Pagliarini, E. Sensory and instrumental assessment of olive oil appearance / E. Pagliarini // *Grasas y Aceites*. 45, 1994. – P. 62–64.
10. Püskülcü, H. Introduction Statistic (İstatistiğe Giriş) / H. Püskülcü, F. İkiz // Bilgehan Press, Bornova-İzmir, Turkey (in Turkish). – 1989.

КВАНТОВО-ХИМИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ И СИНТЕЗ НОВЫХ АЗОМЕТИНОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ, ОБЛАДАЮЩИХ АНТИОКСИДАНТНОЙ АКТИВНОСТЬЮ

QUANTUM-CHEMICAL CALCULATION AND SYNTHESIS OF NEW AZOMETHINE COMPOUNDS WITH ANTIOXIDANT ACTIVITY

M. A. Амрошко¹, С. Н. Шахаб^{1,2,3}

M. Atroshko¹, S. Shahab^{1,2,3}

¹Белорусский государственный университет, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ,
г. Минск, Республика Беларусь

²Институт физико-органической химии Национальной академии наук Беларуси,
г. Минск, Республика Беларусь

³Институт химии новых материалов Национальной академии наук Беларуси,
г. Минск, Республика Беларусь

atroshkomikhail@gmail.com

siyamakshahab@mail.ru

¹Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus

²Institute of Physical Organic Chemistry National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Republic of Belarus

³Institute of Chemistry of New Materials National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Republic of Belarus

В работе приведены результаты квантово-химического моделирования новых азометинов перспективных в биологии, биохимии и медицине.

This publication represents some of the data obtained when applying the methods of quantum chemical modeling to azomethine structures, which are promising compounds for use in biological and medical sciences.

Ключевые слова: оптимизация, метод теории функционала плотности, антиоксидантная активность.

Keywords: optimization, density functional theory method, antioxidant activity.

Поиск перспективных препаратов, имеющих определенную биологическую активность, является одним из основных направлений научной деятельности в жизни человека в силу увеличения биоразнообразия микроорганизмов и растущего числа заболеваний, по мере открытия новых биохимических механизмов патологических процессов и модификация уже известных.

Молекулы, имеющие в своем составе –CH=N– связь применяются в неорганической, органической, аналитической, биологической химии и могут проявлять антиоксидантную, противомикробную, противораковую, противовоспалительную, противогельминтную, противогрибковую, противовирусную активность.

Выявление различных химико-биологических свойств соединений эмпирическим путем полезно для обнаружения биологической активности соединений, но такой подход часто дорог в применении и требует много вре-

мени и ресурсов. Прогресс в области компьютерного моделирования и программного обеспечения, а также в теоретической химии привел к тому, что высокопроизводительные вычислительные и графические инструменты стали доступны многим академическим и промышленным лабораториям [2]. Теоретические методы квантовой химии на основе теории функционала плотности (DFT) широко используются для расчета равновесной геометрии, электронного спектра, УФ-, ИК- и ЯМР спектров молекул. В последнее время DFT широко применялся для изучения биологических свойств оснований Шиффа и их производных, а также азотсодержащих оснований [1].

Предварительное квантово-химическое моделирование молекулы азометинов. Для расчетов использован персональный компьютер с процессором intel core i7 (2.21 GHz CPU) с установленной операционной системой Ubuntu 18.04. При вычислениях стартовой геометрии молекулы с азометиновым основанием выбран метод молекулярной механики (ММ⁺) программного пакета HyperChem 08. Выбор метода ММ⁺ обоснован тем, что он разработан для органических молекул, учитывает потенциальные поля, формируемые всеми атомами рассчитываемой системы, и позволяет гибко модифицировать параметры расчета в зависимости от конкретной задачи. Стартовую геометрию молекулы дополнительно оптимизировали в среде растворителя N,N-диметилформамида (DMF) полумпирическим методом РМ6 программного пакета Gaussian 16 до достижения глобального минимума полной энергии изучаемых систем. Для нахождения глобального энергетического минимума и наиболее устойчивых конформеров анализировали все стационарные точки на поверхности потенциальной энергии молекул. Методом РМ6 находят оптимизированные геометрические конфигурации, общую энергию молекул, электронные свойства и энтальпию образования веществ [2]. Для визуализации результатов использована программа Gauss View 06. Равновесная геометрия молекулы полумпирическим методом РМ6 приведена на рис. 1.

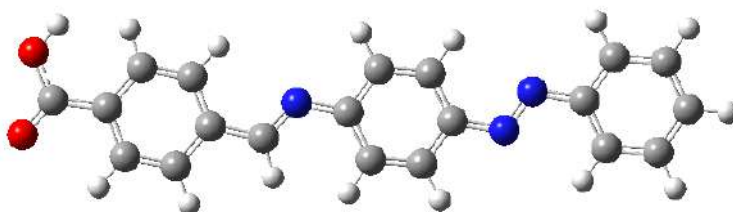


Рисунок 1 – Оптимизированная молекула методом РМ6

Полное квантово-химическое моделирование равновесной геометрии и электронной структуры молекулы азометинов. Полная оптимизация и расчет электронной структуры проводились неэмпирическим методом DFT/ RB3LYP в базисе 6-31++G. Данный метод используется для расчета оптимизированных геометрий, электронных абсорбционных спектров, значений полной энергии и теплоты образования и применен нами для расчета электронного спектра поглощения молекул новых азометинов. Электронный спектр молекулы 4-((E)-((E)-фенилдиазенил) фенил) имино) метил) бензойной кислоты (А) рассчитан для 20 одноэлектронных возбуждений в области 240.13-533.25 нм. Результаты расчета абсорбционного спектра даны в табл. 1.

Максимальная длина волны с высокой силой осциллятора наблюдалась при $\lambda = 432,52$ нм и $f = 1.8784$ (табл. 1, рис. 2, 3). Расчет показал, что самый сильный переход электрона наблюдается при максимуме поглощения 432.52 нм, который относится к переходу электрона в возбужденное синглетное состояние $S_0 \rightarrow S_2$. Остальные переходы имеют маленькое значение f и запрещены по симметрии.

Теоретический спектр поглощения оптимизированной молекулы в среде растворителя рассчитан с помощью программного пакета Gaussian 16, используя уровень теории RB3LYP/6-31++G. Усредненный масштабирующий коэффициент программы при расчете УФ спектров равен 0.99. Рассчитанный электронный спектр поглощения молекулы в среде растворителя представлен на рис. 2.

Таблица 1 – Рассчитанный электронный спектр поглощения молекулы (А)

Состояние	Длина волны, нм	Энергия перехода, эВ	Разложение волновых функций по однократно возбужденной конфигурации	Сила осциллятора (f)
$S_0 \rightarrow S_1$	533,25	2,33	+0.64286(H-1→L) -0.28906(H-1→L+1)	0,00
$S_0 \rightarrow S_2$	432,52	2,90	+0.70511(H→L)	1,88
$S_0 \rightarrow S_3$	368,42	3,37	+0.68193(H-4→L) +0.13465(H-4→L+1) +0.11583(H-4→L+2)	0,00
$S_0 \rightarrow S_4$	347,72	3,57	+0.29315(H-1→L) +0.63221(H-1→L+1) +0.10116(H-1→L+2)	0,00
$S_0 \rightarrow S_5$	344,10	3,60	-0.15328(H-3→L) -0.23251(H-2→L) +0.64387(H→L+1)	0,01
$S_0 \rightarrow S_6$	336,55	3,68	-0.43971(H-3→L) +0.10924(H-3→L+1) +0.51528(H-2→L) -0.10830(H-2→L+1)	0,02
$S_0 \rightarrow S_7$	329,52	3,76	+0.68557(H-5→L) +0.12883(H→L+4)	0,03
$S_0 \rightarrow S_8$	317,07	3,91	+0.13109(H-6→L) +0.50021(H-3→L) +0.39245(H-2→L) +0.25951(H→L+1)	0,02

<i>Продолжение табл. 1</i>				
Состояние	Длина волны, нм	Энергия перехода, эВ	Разложение волновых функций по однократно возбужденной конфигурации	Сила осциллятора (f)
$S_0 \rightarrow S_9$	307,41	4,03	+0.66066(H-6→L) +0.12442(H-6→L+1) +0.11152(H→L+3)	0,03
$S_0 \rightarrow S_{10}$	285,80	4,34	-0.40196(H-8→L) -0.24223(H-8→L+1) +0.10984(H-8→L+2) -0.10064(H-4→L) +0.50026(H-4→L+1)	0,00
$S_0 \rightarrow S_{11}$	284,32	4,36	+0.42398(H-8→L) +0.25893(H-8→L+1) -0.10960(H-8→L+2) -0.10134(H-4→L) +0.47164(H-4→L+1)	0,00
$S_0 \rightarrow S_{12}$	273,27	4,54	+0.16389(H-7→L) +0.55534(H-5→L+1) +0.17944(H-3→L+1) -0.32272(H-2→L+1)	0,00
$S_0 \rightarrow S_{13}$	272,75	4,55	+0.39453(H-5→L+1) -0.26709(H-3→L+1) +0.48285(H-2→L+1)	0,01
$S_0 \rightarrow S_{14}$	271,08	4,57	+0.53321(H-7→L) -0.12189(H-5→L+1) -0.35991(H-3→L+1) -0.11335(H-2→L+1) +0.18188(H→L+2)	0,00
$S_0 \rightarrow S_{15}$	267,20	4,64	+0.24155(H-7→L) +0.45923(H-3→L+1) +0.31986(H-2→L+1) +0.30786(H→L+2)	0,17
$S_0 \rightarrow S_{16}$	261,10	4,75	+0.20223(H-7→L) -0.17168(H-6→L) +0.57476(H-6→L+1) -0.18035(H→L+2) +0.20749(H→L+3)	0,01
$S_0 \rightarrow S_{17}$	253,87	4,88	-0.23097(H-7→L) +0.25572(H-6→L+1) -0.10468(H-3→L+1) -0.12092(H-2→L+1) +0.54488(H→L+2) -0.11206(H→L+4)	0,07
$S_0 \rightarrow S_{18}$	253,30	4,89	-0.10287(H-1→L+1) +0.63620(H-1→L+2) +0.11962(H-1→L+3) -0.21900(H-1→L+4) -0.10014(H-1→L+8)	0,00
$S_0 \rightarrow S_{19}$	245,56	5,05	+0.16885(H-1→L+2) +0.12957(H-1→L+3) +0.66054(H-1→L+4) -0.10454(H-1→L+5)	0,00
$S_0 \rightarrow S_{20}$	240,13	5,16	-0.21304(H-6→L+1) +0.57703(H→L+3) -0.29546(H→L+4)	0,00

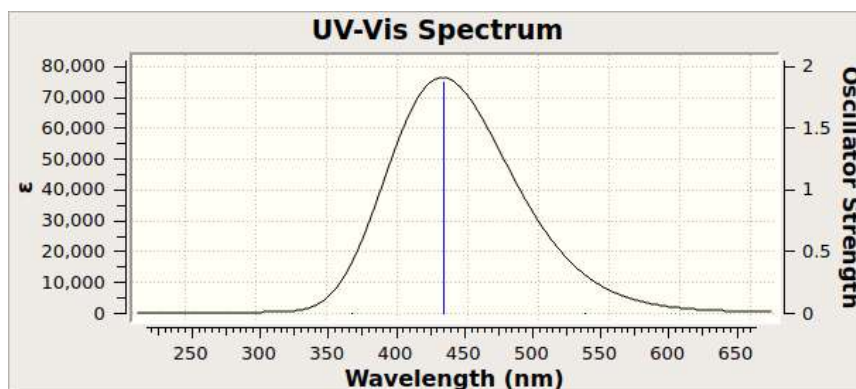


Рисунок 2 – Спектр поглощения молекулы

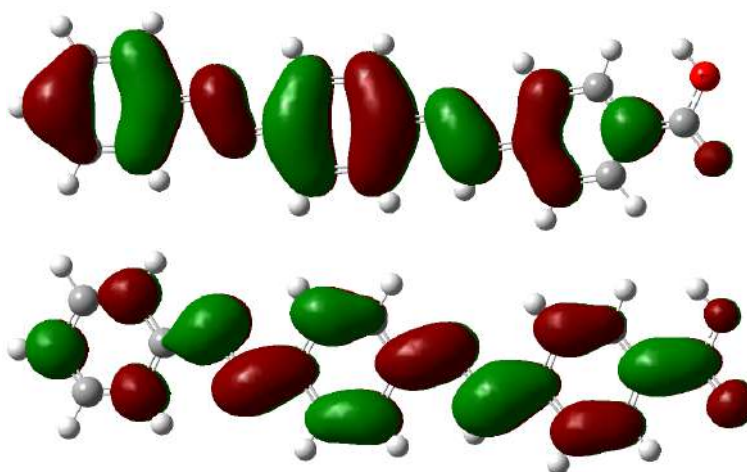


Рисунок 3 – Виды молекулярных орбиталей, участвующих в образовании спектра поглощения молекулы (A) при $\lambda = 432,52$ нм

ЛИТЕРАТУРА

1. Shahab, Siyamak & Sheikhi, Masoome & Filippovich, Liudmila & Dikusar, Evgenij & Yahyaei, Hooriye & Kumar, Rakesh & Khaleghian, Mehrmoosh. (2017). Design of Geometry, Synthesis, Spectroscopic (FT-IR, UV/Vis, Excited State, Polarization) and Anisotropy (Thermal Conductivity and Electrical) Properties of New Synthesized Derivatives of (E,E)-Azomethines in Colored Stretched Poly (Vinyl Alcohol) Matrix. Journal of Molecular Structure. 1157. 10.1016/j.molstruc.2017.12.094.
2. Shahab, S., Sheikhi, M., Filippovich, L., Dikusar E., Yahyaei, H. Quantum chemical modeling of new derivatives of (E,E)-azomethines: synthesis, spectroscopic (FT-IR, UV/Vis, polarization) and thermophysical investigations, J. Mol. Struct. 1137 (2017) 335e348

АНТИОКСИДАНТНАЯ АКТИВНОСТЬ ЭКСТРАКТОВ ЦВЕТОВ КАШТАНА (*AESCULUS HIPPOCASTANUM L.*), РЯБИНЫ (*SORBUS AUCUPARIA L.*), АКАЦИИ (*ACACIA*) И РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ СИРЕНИ (*SYRINGA*)

ANTIOXIDANT ACTIVITY OF EXTRACTS OF FLOWERS OF CHESTNUT (*AESCULUS HIPPOCASTANUM L.*), ROWAN (*SORBUS AUCUPARIA L.*), ACACIA (*ACACIA*) AND DIFFERENT TYPES OF LILAC (*SYRINGA*)

Д. А. Баскина¹, Е. И. Тарун¹, В. П. Курченко²
D. Baskina¹, E. Tarun¹, V. Kurchenko²

¹Белорусский государственный университет, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ,
г. Минск, Республика Беларусь

²Белорусский государственный университет, г. Минск, Республика Беларусь
ktarun@tut.by

¹Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus

²Belarusian State University, Minsk, Republic of Belarus

Проведено сравнительное изучение антиоксидантной активности экстрактов цветов акации, рябины, каштана и разных видов сирени. Получены зависимости интенсивности флуоресценции флуоресцеина от логарифма концентрации экстрактов цветов, из которых графически определены показатели IC_{50} . Экстракты цветов акации, рябины и каштана восстанавливали флуоресценцию флуоресцеина до 98–100 % при концентрации образцов 10^3 – 10^{-2} %. Экстракты цветов сирени восстанавливали флуоресценцию флуоресцеина до 86–95 % при концентрации образцов 10^{-1} –1 %. Показатели IC_{50} экстрактов цветов акации, рябины и каштана находились в пределах $2 \div 5,3 \cdot 10^{-5}$ %, экстрактов цветов сирени – в пределах $1,26 \div 7,31 \cdot 10^{-4}$ %. Максимальная антиоксидантная активность определена для экстракта акации.

The comparative study of the antioxidant activity of extracts of flowers of acacia, rowan, chestnut and different types of lilac was made. The dependence of the fluorescence intensity of fluorescein from the logarithm of the concentration of extracts of flowers obtained, of which graphically determined indicators IC_{50} . Were received extracts of flowers of acacia, rowan and chestnut restored fluorescence of fluorescein to 98–100 % at a concentration of samples of 10^3 – 10^{-2} %. Extracts of lilac flowers restored the fluorescence of fluorescein to 86–95 % at a concentration of samples of 10^{-1} –1 %. The IC_{50} of extracts of flowers of acacia, rowan and chestnut were within $2 \div 5,3 \cdot 10^{-5}$ %, extracts of flowers of lilac – within $1.26 \div 7.31 \cdot 10^{-4}$ %. The maximum antioxidant activity for acacia extract is determined.

Ключевые слова: антиоксидантная активность, экстракты цветов акации, рябины, каштана и разных видов сирени, флуоресцеин.

Keywords: antioxidant activity, extracts of flowers of acacia, rowan, chestnut and different types of lilac, fluorescein.

Избыточная концентрация свободных радикалов в организме является центральным фактором риска сердечно-сосудистых, онкологических заболеваний и других патологий. Флавоноиды обладают сильными антиоксидантными свойствами и могут использоваться для профилактики различных заболеваний. Биологически активные вещества, входящие в состав цветов акации, каштана, рябины и сирени, определяют их фармакологические свойства, что позволяет использовать их в качестве сырьевого источника для фармакологической промышленности. В цветках акации белой содержится гликозид робинин, а также ряд других флавоноидов [1]. В цветах рябины содержатся такие антиоксиданты, как гликозид кверцетина, рутин, кэмпферол, кофейная кислота и ее производные, изомеры хлорогеновой кислоты [2]. В цветах каштана содержится кверцетин, эпикатехин и кэмпферол, а также гликозиды кэмпферола, в частности ацилированный гликозид кэмпферола тилирозид [3]. Экстракты

цветов сирени содержат сиренгин и другие фенольные и гликозидные соединения, в частности, такие фенилпропаноидные соединения как актеозид и эхинакозид [4].

Проведено сравнительное исследование антиоксидантной активности (АОА) экстрактов цветов акации, рябины, каштана и 6 разных видов сирени. Метод определения АОА по отношению к активированным формам кислорода (АФК) основан на измерении интенсивности флуоресценции окисляемого соединения и ее уменьшении под воздействием АФК. В настоящей работе для детектирования свободных радикалов использован флуоресцеин, обладающий высоким коэффициентом экстинкции и близким к 1 квантовым выходом флуоресценции. Генерирование свободных радикалов осуществляли, используя систему Фентона, в которой образуются гидроксильные радикалы при взаимодействии комплекса железа (Fe^{2+}) с этилендиаминтетрауксусной кислотой (EDTA) и пероксида водорода [5]. При взаимодействии флуоресцеина со свободными радикалами происходит тушение его флуоресценции, восстановить которую можно при добавлении в систему веществ, проявляющих антиоксидантные свойства.

Приготовление спиртового экстракта из цветов различных видов исследуемых растений. Экстракты цветов готовили следующим образом: навески цветов сирени белой, сирени сиреневой, сирени темно- сиреневой, сирени темно-синей, сирени сиренево-белой, сирени бело-розовой, каштана, рябины и акации измельчали в электрической кофемолке. Из измельченного стандартизированного по размерам частиц сырья (0,1 г) экстрагировали 70 % этиловым спиртом в течение одного часа на водяной бане, затем экстрагировали 18 ч при комнатной температуре. Соотношение сырье (г): экстрагент (мл) составило – 1:10. После экстракции сырье пропускали через бумажный фильтр.

Приготовление раствора экстракта из цветов различных видов исследуемых растений. Концентрацию исходного раствора экстракта принимали за 100 %. Делали ряд разведений исходного раствора экстракта, концентрации которых составляли 10^{-10} – 10^{-8} %. Концентрации растворов экстракта в пробе уменьшались в 10 раз и составляли $1-10^{-9}$ %.

Методика определения антиоксидантной активности экстракта из из цветов различных видов исследуемых растений. Общий объем пробы, помещаемый в кювету составлял 2 мл. В кювету вносили 0,02 мл флуоресцеина (10^{-6} М) и 1,98 мл 0,1 М Na-фосфатного буфера. Прописывали спектр. Полученные значения пика флуоресценции принимали за 100 %.

В кювету вносили 0,02 мл флуоресцеина (10^{-6} М), 0,2 мл Fe^{2+} с ЭДТА (10^{-3} М), 1,58 мл 0,1 М Na-фосфатного буфера и 0,2 мл пероксида водорода (10^{-2} М). При взаимодействии Fe^{2+} с H_2O_2 (реакция Фентона) образующиеся радикалы подавляли свечение флуоресцеина. Полученные значения пика флуоресценции принимали за минимальное.

В кювету вносили 0,02 мл флуоресцеина (10^{-6} М), 0,2 мл Fe^{2+} с ЭДТА (10^{-3} М), 0,2 мл раствора экстракта цветов (10^{-8} – 10 %) и 1,38 мл 0,1 М Na-фосфатного буфера. Реакцию начинали добавлением 0,2 мл пероксида водорода (10^{-2} М).

Конечные концентрации: флуоресцеин – 10^{-8} М, Fe^{2+} – 10^{-4} М, ЭДТА – 10^{-4} М, H_2O_2 – 10^{-3} М, раствор экстракта цветов – 10^{-9} – 1 %.

Измерения флуоресценции проводили на флуориметре RF-5301 PC («Shimadzu», Япония). Регистрировали интенсивность флуоресценции на длине волны 514 нм. Длина волны возбуждения – 490 нм.

Для всех образцов получены зависимости интенсивности флуоресценции флуоресцеина от логарифма концентрации экстрактов цветов. На рис. 1 представлены зависимости интенсивности флуоресценции флуоресцеина от логарифма концентрации экстрактов цветов акации (1), рябины (2) и каштана (3). Исследования проведены в широком диапазоне концентраций 10^{-9} – 1 %. Образцы экстрактов цветов акации, рябины и каштана начинали проявлять АОА при концентрации 10^{-9} %. При последующем увеличении концентрации экстрактов цветов наблюдается увеличение подавления действия свободных радикалов и возрастание флуоресценции флуоресцеина до 98–100 % при очень малой концентрации образцов 10^{-3} – 10^{-2} %, что соответствует разведению исходного экстракта в 10^4 – 10^5 раз (табл. 1). Дальнейшее повышение концентрации экстракта вызывает тушение флуоресценции флуоресцеина. При высоких концентрациях флавоноидов, фенилпропаноидов и других соединений, обладающих антиоксидантной активностью и содержащихся в экстракте, радикальные продукты их окисления могут взаимодействовать с флуоресцеином и снижать его флуоресценцию.

Графически определены показатели IC_{50} – концентрация экстрактов цветов, при которой достигается 50 % ингибирования свободных радикалов. Самый низкий показатель IC_{50} ($2 \cdot 10^{-5}$ %) (табл. 1) получен при внесении образца экстракта цветов акации, что свидетельствует о его самой высокой антиоксидантной способности. Экстракт цветов рябины проявлял максимальную активность при концентрации $5 \cdot 10^{-3}$ %, что в 5 раз выше, а его показатель IC_{50} ($5 \cdot 10^{-5}$ %) в 2,5 раза выше, чем аналогичные показатели для экстракта цветов акации. Экстракт цветов каштана проявлял максимальную активность при концентрации 10^{-2} %, что в 5 и 10 раз выше, чем аналогичные показатели для экстрактов цветов рябины и акации соответственно. Показатель IC_{50} для экстракта цветов каштана ($5,3 \cdot 10^{-5}$ %) близок к аналогичному показателю для экстракта из цветов рябины и в 2,65 раза выше, чем аналогичный показатель для экстракта из цветов акации.

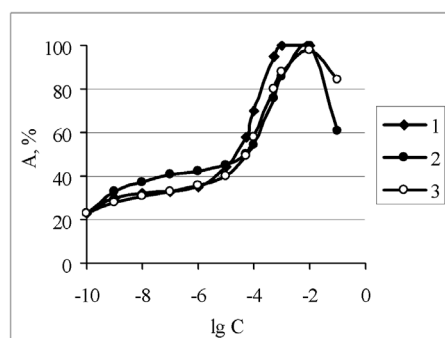


Рисунок 1 – Зависимость интенсивности флуоресценции флуоресцеина (A) от логарифма концентрации (C) экстрактов цветов акации (1), рябины (2) и каштана (3)

Таблица 1 – Показатели антиоксидантной активности соков экстракта цветов акации, рябины и каштана

Экстракт цветов	$A_{max}, \%$	$C_{max}, \%$	$IC_{50} \cdot 10^{-5}, \%$
Акация	100	10^{-3}	2
Рябина	100	$5 \cdot 10^{-3}$	5
Каштан	98	10^{-2}	5,3

В цветках акации белой содержится гликозид робинин. В сушеных лепестках на стадии бутона робинина – 3,6 %, а в распутившихся цветках 1–1,5 % [1]. Кроме того, в цветках обнаружены бикробин, бикверцитин, а также жирное и эфирное масло, содержащее метиловый эфир антраниловой кислоты, индол, гелиотропин, бензиловый спирт, линалоол, α -терпинеол, сложные эфиры салициловой кислоты, метилантранилат, витамины, минералы, танины, гликозиды, сахара, органические кислоты. С помощью ультразвуковой экстракции цветов акации были найдены такие антиоксиданты, как галловая кислота, мирицитрин-3-рамнозид, кверцитрин-3-рамнозид, европетин-3-рамнозид, кемпферол-3-рамнозид, рамнетин-3-глюкозид и рамнетин-3-рамнозид.

Кверцетин является сильным антиоксидантом благодаря наличию 5 гидроксильных групп, входящих в его состав. Гликозид робинин является производным кверцетина, в состав которого входит 3 остатка сахара, благодаря которым количество гидроксильных групп увеличивается до 11, что способствует увеличению его антиоксидантной активности. Благодаря содержанию мирицитрин-3-рамнозида антиоксидантные свойства также могут быть усилены, так как в его состав входят 8 гидроксильных групп.

В цветах рябины содержатся такие антиоксиданты, как гликозид кверцетина, рутин, кэмпферол, кофейная кислота и ее производные, изомеры хлорогеновой кислоты [2]. В цветах каштана содержится кверцетин, эпикатехин и кэмпферол, а также гликозиды кэмпферола, в частности ацилированный гликозид кэмпферола тилирозид [3]. Остатки сахаров усиливают антиоксидантные свойства флавоноидов в их гликозидных производных. Очевидно, робинин, имеющий 3 гликозидных остатка, является наиболее сильным антиоксидантом, что подтверждается минимальными показателями C_{max} и IC_{50} , полученными для экстракта из цветов акации. Рутин, имеющий в своем составе 2 гликозидных остатка, и гликозиды кверцетина и кэмпферола, а также хлорогеновая кислота, имеющие по одному гликозидному остатку, проявляют более слабые антиоксидантные свойства по сравнению с робинином, что подтверждается более высокими показателями C_{max} и IC_{50} , полученными для экстракта из цветов рябины и каштана. Эпикатехин, содержащийся в цветах каштана, отличается от кверцетина отсутствием карбонильной группы в 4-ом положении кольца C, что приводит к снижению его антиоксидантной активности. Более низкая антиоксидантная активность флавоноидов и их гликозидов, содержащихся в экстрактах цветов каштана, подтверждается более высокими показателями C_{max} и IC_{50} по сравнению с аналогичными показателями, полученными для экстрактов из цветов акации и рябины. Показатель C_{max} , полученный для экстракта цветов каштана на порядок выше аналогичного показателя, полученного для экстракта из цветов акации, и в 2 раза выше C_{max} , полученного для экстракта цветов рябины.

Образцы экстрактов цветов сирени также показали высокую антиоксидантную активность. Они восстанавливали флуоресценцию флуоресцеина до 86–95 % при малой концентрации образцов 10^{-2} –1 %, что соответствует разведению исходного экстракта в 10^2 – 10^4 раз (табл. 2). Положительный эффект при добавлении экстрактов проявлялся при его концентрации 10^{-7} % (разведение исходного экстракта в 10^9 раз).

Таблица 2 – Показатели антиоксидантной активности экстракта цветов сирени

Экстракт цветов сирени	$A_{max}, \%$	$C_{max}, \%$	$IC_{50} \cdot 10^{-4}, \%$
Темно-сиреневая	95	10^{-2}	1,26
Белая	86	10^{-1}	1,51
Сиреневая	94	10^{-1}	2,14
Сиренево-белая	94	10^{-1}	6,58
Темно-синяя	90	10^{-1}	6,58
Бело-розовая	91	1	7,31

Максимальная АОА получена для экстракта цветов темно-сиреневой сирени. Подавление свободных радикалов до 95 % достигается при наименьшей концентрации 10^{-2} %. Показатель IC_{50} также минимален ($1,26 \cdot 10^{-4}$ %). Образцы 4 видов сирени: белой, сиреневой, сиренево-белой и темно-синей восстанавливали флуоресценцию флуоресцеина до 86–94 % при концентрации 10^{-1} %, что в 10 раз выше аналогичного показателя для экстрактов из цветов сирени темно-сиреневой. Образец экстракта сирени бело-розовой показал наименьшую АОА, восстанавливая флуоресценцию флуоресцеина до 91 % при концентрации 1 %, что в 10 раз выше аналогичных показателей образцов сирени белой, сиреневой, сиренево-белой и темно-синей и в 100 раз выше аналогичного показателя для экстракта из цветов сирени темно-сиреневой. Его показатель IC_{50} имеет максимальное значение ($7,31 \cdot 10^{-4}$ %), что свидетельствует о самой низкой антиоксидантной активности. Он в 1,1–5,8 раз превышает аналогичные показатели для экстрактов из цветов других видов сирени.

Сравнение АОА экстрактов цветов сирени по возрастанию интенсивности сиреневой цветовой гаммы (рис. 2) показывает уменьшение показателей C_{max} и IC_{50} (табл. 2). Можно предположить, что цветы более интенсивного сиреневого цвета (темно-сиреневые) содержат в своем составе более сильные антиоксиданты.

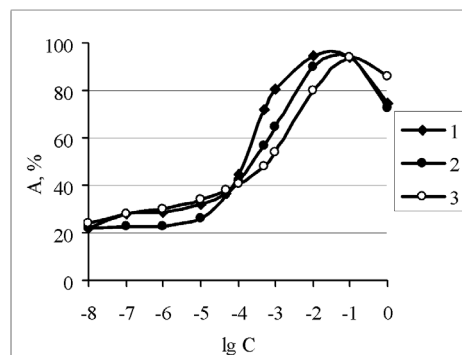


Рисунок 2 – Зависимость интенсивности флуоресценции флуоресцеина (A) от логарифма концентрации (C) экстрактов цветов сирени темно-сиреневой (1), сирени сиреневой (2) и сирени сиренево-белой (3)

Экстракты цветов сирени показали более низкую АОА по сравнению с экстрактами цветов акации, рябины и каштана. Антиоксидантная активность начинала проявляться при концентрации этих экстрактов на два порядка выше (10^{-7} %), чем концентрация экстрактов цветов акации, рябины и каштана (10^{-9} %). Показатель C_{max} для экстракта сирени темно-сиреневой на порядок выше аналогичного показателя для экстракта цветов акации. Показатель C_{max} для экстрактов сирени белой, сиреневой, сиренево-белой и темно-синей в 10–100 раз выше аналогичного показателя для экстракта цветов каштана и акации соответственно. Показатель C_{max} для экстрактов сирени бело-розовой в 100–1000 раз выше аналогичного показателя для экстракта цветов каштана и акации соответственно. Показатель IC_{50} для экстрактов сирени в 2,4–13,8 раз превышает показатель IC_{50} для экстрактов цветов каштана, в 2,5–14,6 раз превышает показатель IC_{50} для экстрактов цветов рябины и в 6,3–36,6 раз превышает показатель IC_{50} для экстрактов цветов акации. Очевидно, более низкое содержание фенольных и гликозидных соединений, входящих в состав экстрактов цветов сирени объясняет их более слабую антирадикальную активность по сравнению с экстрактами из цветов акации, рябины и каштана.

ЛИТЕРАТУРА

1. Tung, Y. T. Ultrasound-assisted extraction of phenolic antioxidants from *Acacia confusa* flowers and buds/ Y. T. Tung [et al]// J Sep Sci. 2011. – Vol. 34. – No. 7. – P. 844–851.
2. Olszewska, M. A. In vitro antioxidant activity and total phenolic content of the inflorescences, leaves and fruits of *Sorbus torminalis* (L.) Crantz/ M.A. Olszewska // Acta Pol Pharm. – 2011. – Vol. 68. – No. 6. – P. 945–953.
3. Sapkota, K. Antioxidant and antimelanogenic properties of chestnut flower extract/ K. Sapkota [et al]// Biosci Biotechnol Biochem. – 2010. – Vol. 74. – No. 8. – P. 1527–1533.
4. Dudek, M. K. Hydroxycinnamoyl derivatives and secoiridoid glycoside derivatives from *Syringa vulgaris* flowers and their effects on the pro-inflammatory responses of human neutrophils / M. K. Dudek [et al]// Fitoterapia. – 2017. – Vol. 121. – P. 194–205.
5. Cao, G. H. Oxygen-radical absorbance capacity assay for antioxidants / G. H. Cao, H. M. Alessio, R. G. Cutler // Free Radicals In Biology And Medicine. – 1993. – Vol. 3. – № 14. – P. 303–311.

МОЛЕКУЛЯРНЫЕ МЕХАНИЗМЫ ИНСУЛИНОРЕЗИСТЕНТНОСТИ: ПОДХОДЫ К ЛЕЧЕНИЮ САХАРНОГО ДИАБЕТА 2 ТИПА (СД2)

MOLECULAR MECHANISMS OF INSULIN RESISTANCE: APPROACHES TO THE TREATMENT OF DIABETES TYPE 2 (SD2)

**Н. В. Богданова¹, Н. Ю. Трущенко¹, К. А. Белявская¹,
Е. А. Шубенок¹, В. Э. Сяхович², Е. И. Квасюк¹,
В. И. Степура⁴, А. А. Маскевич⁴, Л. М. Лобанок³, К. Я. Буланова¹**
**N. Bogdanava¹, N. Truschenko¹, K. Belyavskaya¹, E. Shubianok¹, V. Syakchovich²,
E. Kvasyuk¹, V. Stepuro³, A. Maskevich³, L. Labanok⁴, K. Bulanava¹**

¹Белорусский государственный университет, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ,
г. Минск, Республика Беларусь

²Национальная антидопинговая лаборатория, аг. Лесной, Республика Беларусь

³Гродненский государственный университет им. Я. Купалы, г. Гродно, Республика Беларусь

⁴Белорусский государственный медицинский университет, г. Минск, Республика Беларусь
tasha.bo@mail.ru

¹Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus

²National Anti-Doping Laboratory, Lesnoy, Republic of Belarus

³Grodno State University Y. Kupaly, Grodno, Republic of Belarus

⁴Belarusian State Medical University, Minsk, Republic of Belarus

Представлен анализ современных данных о молекулярных механизмах развития и прогрессирования инсулиннезависимого диабета. Обоснована ведущая роль снижения экспрессии шаперона HSP72 в клетках поджелудочной железы и органов-мишеней для инсулина в нарушениях при СД2 структуры молекул инсулина, рецепторного его восприятия, функционирования митохондрий. Обсуждены и предложены новые подходы к лечению СД2.

An analysis of current data on the molecular mechanisms of progression of insulin-independent diabetes is presented. The leading role of reducing the expression of chaperone HSP72 in pancreatic cells and target organs for insulin in disorders in T2DM of insulin structure molecules, its receptor perception, mitochondrial function is substantiated. New approaches to the treatment of T2DM are discussed and proposed.

Ключевые слова: инсулиннезависимый диабет, инсулинорезистентность, рецептор инсулина, шапероны HSP72, экспрессия, белки теплового шока.

Keywords: non-insulin dependent diabetes, insulin resistance, insulin receptor, chaperones HSP72, expression, heat shock proteins.

В современном мире проблема роста заболеваемости инсулиннезависимым сахарным диабетом (СД2) обостряется с каждым годом. В настоящее время с этой болезнью вынуждены жить свыше 450 млн человек, причем через каждые 12–15 лет предполагается вероятность удвоения количества больных СД2 и вовлечение в эту когорту людей все более молодого возраста. Большинство исследователей связывает прогрессирование СД2 с изменением характера питания и экологических условий, возрастающим техногенным прессингом.

Главным патогенетическим звеном СД2 типа является устойчивость клеток ряда органов к действию инсулина (инсулиновая резистентность, ИР), приводящая к нарушению усвоения глюкозы, повышению ее уровня в крови. Однако важнейшие проблемы развития ИР, поиска и разработки методов ранней диагностики и новых путей лечения СД 2 типа и его осложнений до сих пор не решены в связи с отсутствием четкого понимания причин и молекулярных механизмов развития заболевания. Исследователи указывают на целый ряд нарушений, характерных для инсулинорезистентности. Отмечается что при СД2 возможны изменения синтеза и/или структуры молекул инсулина, его секреции, рецепторного восприятия, изменения внутриклеточных механизмов проведения инсулинового сигнала.

Цель работы – выявить на молекулярном уровне триггерные механизмы, инициирующие при СД2 структурно-функциональные перестройки инсулина, его рецепторных структур и сигнальных путей, активированных гормон-рецепторным взаимодействием, а также обосновать новые подходы для его лечения.

Большинство исследователей рассматривает рецептор инсулина (РИ), как молекулярный комплекс, на уровне которого способны произойти изменения, провоцирующие инсулинорезистентность. Анализируя молекулярную структуру РИ можно обнаружить несколько «узких мест», и в его структурной организации, и в механизмах сигнальной регуляции его функции, где при определенных условиях, возможно возникновение нарушений, приводя-

щих к СД2. Рецептор инсулина, имеющий белковую природу, образован двумя гетеродимерами, представленными α -и β -субъединицами. Обе α -субъединицы почти целиком располагаются на внешней стороне биомембраны, объединены дисульфидными мостиками и выполняют функцию связывания инсулина в 2-х местах, различающихся по аффинности. Следует обратить внимание, что активация рецептора происходит при связывании инсулина с центром, обладающим высоким сродством.

β -Субъединицы, также связанные дисульфидным мостиком, представляют собой трансмембранный белок, выполняющий функцию преобразования сигнала. Присоединение инсулина к центру связывания на α -субъединицах активирует фермент – тирозиновую протеинкиназу β -субъединицы, причем субстратом служат тирозиновые компоненты полипептидной цепи самого фермента. Аутофосфорилирование происходит каскадно по ОН-группам 6 молекул тирозина за счет $Mg \cdot ATP$, что приводит к изменению субстратной специфичности фермента, приобретению тирозиновой протеинкиназой β -субъединицы способности фосфорилировать другие внутриклеточные белки (мембранные или цитозольные тирозин-, серин- или треонинкиназы). Выявлено несколько внутриклеточных белков-субстратов для тирозиназной активности РИ: ИРС1(IRS-1, insulin reseptor substrate), ИРС2(IRS-2), ИРС3(IRS-3), ИРС4(IRS-4), Shc, а также некоторые белки семейства STAT (signal transducer and activator of transcription), являющиеся переносчиками сигнала и активаторами множества регуляторных сигнальных путей [1].

Ключевым субстратом тирозиназной активности инсулинового рецептора является цитоплазматический белок ИРС-1. Пептидная цепь ИРС-1 содержит 1200 аминокислотных остатков, 20–22 центров фосфорилирования по тирозину и около 40 центров – по Сер/Тре.

В базальном состоянии ИРС1 фосфорилирован по серину и, в меньшей мере, по треонину; после стимуляции рецептора инсулином степень его фосфорилирования по тирозину и по серину существенно увеличивается. Важно отметить, что от степени фосфорилирования этого субстрата $Mg \cdot ATP$, т. е. от проявления тирозиназной активности, зависит увеличение или уменьшение реакции клетки на инсулин, а при прогрессировании последнего процесса, формирование инсулинорезистентности и последующие молекулярные нарушения. Поскольку фосфорилированный IRS-1 в норме активирует ферменты и белки различных сигнальных путей (тирозинфосфатазу сур, р85-субъединицу ФИ-3-киназы (фосфатидилинозитол-3-киназы), адапторный белок Grb2, протеинтирозинфосфатазу SH-PTP2, ростовые факторы, фосфолипазу Cy , GAP (активатор малых GTP-связывающих белков) [2], то при инсулинорезистентности также нарушается регуляция всех этих внутриклеточных процессов.

Таким образом, в развитие инсулинорезистентности (ИР) на рецепторном уровне определенный вклад вносит снижение/ингибирование тирозинкиназной активности, что возможно при следующих условиях: 1) при отсутствии инсулина или нарушении его связывания (изменение аффинности рецептора или структуры инсулина); 2) при сохранении условий для связывания инсулина - при снижении или отсутствии фосфорилирования; 3) при возникновении мутаций или отсутствии гена ИРС1 (у мышей лабораторной линии, лишенных этого гена).

Какие из этих вариантов могут реализоваться при инициации СД2? Мутации гена ИРС1 или его отсутствие могут быть причиной развития только СД1, но не СД2. Что касается роли состояния фосфорилирования рецептора инсулина и проявления активности тирозинкиназы в инициации СД2, то можно предположить, что только достаточное количество $Mg \cdot ATP$ позволяет создать условия для нормального протекания этих процессов. Исследования содержания в крови ионов магния показали, что для больных сахарным диабетом характерна гипомagneмия, с которой связано уменьшение утилизации глюкозы. В экспериментах на животных обнаружено, что длительный дефицит магния приводил к истощению и гибели β -клеток поджелудочной железы [3]. При СД2, как оказалось, снижается также синтез ATP из-за дефицита некоторых митохондриальных ферментов, доставка которых из цитоплазмы становится невозможной [4]. Таким образом, дефицит $Mg \cdot ATP$ создает условия для снижения/ингибирования тирозиназной активности рецептора инсулина и, соответственно, развития инсулинорезистентности.

Тирозиназная активность ингибируется также при отсутствии инсулина. Но СД2 является инсулиннезависимым, т. е. инсулина в крови достаточно. Следовательно, возникает вопрос о способности самого гормона взаимодействовать с рецептором у больных СД2. Клинические данные свидетельствуют, что на определенной стадии СД2 больным показаны инъекции фармпрепарата инсулина, который вызывает снижение глюкозы в крови, что указывает на его способность взаимодействия с инсулиновым рецептором, тогда как собственный инсулин пациента не воспринимается рецептором. Эти данные указывают, что при СД2 нарушается структура молекулы инсулина. Каким образом в клетках организма могут возникать нарушения нативной структуры белка? Как известно, многие белки не могут самостоятельно приобретать свои функционально активные формы, вследствие чего склонны формировать искаженные и неактивные агрегаты. Для молекул инсулина доказана способность трансформироваться и образовывать агрегаты [5]. В клетках поддержанию функционально правильной структуры белков способствуют, либо специальные ферменты (фолдазы), либо группа вспомогательных специализированных белков, называемых шаперонами. Как выяснилось, у больных СД2 наблюдалась уменьшенная экспрессия шаперона HSP72, что четко коррелировало со сниженной чувствительностью к инсулину [6].

Можно полагать, что именно дефицит этого шаперона в β -клетках не позволяет синтезированным в поджелудочной железе человека молекулам инсулина приобрести функционально необходимую третичную структуру для взаимодействия с рецептором, что является важнейшей причиной инсулинорезистентности.

Далее выяснилось, что не только в поджелудочной железе, но и в клетках периферических органов, потребляющих глюкозу (в скелетных мышцах, печени и др.), также отмечается уменьшенная экспрессия белка HSP72. Важно отметить, что снижение образования HSP72 сочеталось с повышенным фосфорилированием JNK – воспалительного цитокина, т.е., его активацией.

Известно, что воспаление инициирует секрецию ряда воспалительных цитокинов, таких как фактор некроза опухоли α (TNF- α) из макрофагов и/или адипоцитов, что приводит к активации серин-треонинкиназ: c-jun-аминоконцевой киназы (JNK) и ингибитора киназы κ B (IKK) в тканях, чувствительных к инсулину. В указанных условиях нарушается конформация специфических фосфатаз, которые обычно ингибируют активность, как самого JNK, так и активность белков, связанных с активацией JNK. [7].

Активированные JNK, так и IKK способны фосфорилировать IRS-1 (ИРС-1) по Ser-307, что делает этот белок плохим субстратом для активированного рецептора инсулина, приводя к нарушению активности различных сигнальных путей, в том числе, ответственных за усвоение тканью глюкозы. Важность JNK и IKK в резистентности к инсулину подчеркивается тем, что генетическое нарушение этих путей у мышей обеспечивает защиту от инсулинорезистентности, индуцированной ожирением.

В экспериментах *in vitro* показано, что шаперон HSP72 может блокировать активацию этих процессов, а восстановление чувствительности к инсулину коррелирует с блокированием шапероном HSP72 повышенной активности JNK. Таким образом, нормализация содержания этого шаперона ведет к функциональному раствориванию рецепторов клеток периферических органов. Точный механизм, с помощью которого HSP72 защищает от инсулинорезистентности, остается неясным. Тем не менее, некоторые исследователи полагают, что причины возникновения ряда заболеваний, таких как диабет, сердечно-сосудистые заболевания и опухоли, каким-то образом связаны с дисфункцией митохондрий, поскольку при обследовании пациентов была обнаружена корреляция между экспрессией мРНК HSP72 и активностью митохондриальных ферментов (цитратсинтазы (CS) и β -гидроксиацил-СоА-дегидрогеназы (β -HAD) в скелетной мышце. Оказалось, что и у мышей максимальная активность этих же ферментов также значительно увеличивалась под воздействием HSP72. Каков механизм влияния HSP72 на активность митохондриальных ферментов?

Хорошо известно, что подавляющее большинство митохондриальных белков (препротеинов) синтезируется в цитозоле и импортируется в митохондрии через поры (каналы), расположенные в митохондриальных мембранах. Изначальная функция шаперона HSP72 заключается в том, чтобы помочь в импорте через поры митохондрий тех белков, которые закодированы в ДНК ядра, а не в ДНК митохондрий. Вторая функция шаперонов связана с «охранной деятельностью». Следует отметить, что цитозольные препротеины не могут быть транслоцированы через митохондриальные мембраны в глобулярной форме; они должны быть в определенной мере развернутыми, чтобы иметь возможность пройти через каналы импорта. Для сохранения от агрегации этих полуразвернутых форм препротеинов также используется шаперон (mtHsp70) [4].

Таким образом, можно отметить, что нарушения третичной структуры инсулина, дисфункция инсулинового рецептора, снижение энергообеспеченности клеток при СД2 являются следствием снижения экспрессии шаперонов HSP72 в поджелудочной железе, скелетных мышцах, печени и других органах.

Возникает вопрос, каким же образом внутренние и внешние, средовые факторы, действующие, одни из них в организме, другие – на организм, способны вызвать изменения экспрессии HSP72, провоцирующие СД2. Положения эпигенетики позволяют приблизиться к объяснению этих феноменов. Считается, что воздействие различных внутренних и внешних (термических, физических, химических факторов) имеют не мутагенную, а сигнальную значимость для организма, вызывая изменения транскрипции, экспрессии тех или иных белков-регуляторов, отвечающих за приобретение и сохранение нативной третичной структуры определенных белковых молекул и другие функции, в частности, при СД2 – HSP72.

Возникает основной вопрос: включение каких рецепторных структур и сигнальных путей провоцируют «диабетогенные» факторы, перекрывая экспрессию генов шаперонов HSP72?

В этой связи представляют интерес сигнальные пути, задействованные в активации JNK. Выявлено, что активировать JNK могут не только внутриклеточные сигналы: воспалительные, избыток диацилглицерина и церамида, образующиеся у тучных людей, некоторые ингибиторы синтеза белка, но также и внешние факторы: ультрафиолетовое излучение, различные стрессовые стимулы, повышающие уровни активных форм кислорода и т. д. Выявление рецепторных структур и молекулярных механизмов их сведения в один путь, провоцирующий инсулинорезистентность, позволит вплотную подойти к решению, как проблемы инициации СД2, так и способов профилактики.

Способность влиять на транскрипцию определенных генов принадлежит, например, Ras-белкам, которые входят в суперсемейство малых ГТФ-связывающих белков. Следует отметить, что инсулин также активирует сигнальный путь Ras-белков, но не через ИРС-1, а через SH2-компактный глобулярный домен (адапторные белки). Это небольшие белки (молекулярная масса 21 кДа, около 190 аминокислотных остатков), содержащие на С-конце ковалентно связанный фарнезилный или геранильный остаток. С помощью этого гидрофобного конца белки Ras (p21ras) прикрепляются к внутренней поверхности плазматической мембраны. Ras белки вовлечены в разнообразные клеточные процессы: в везикулярный транспорт, в пролиферацию, а также, каким-то образом, в выполнение функций шаперонов, возможно, путем влияния на его транскрипцию. Известно, что белок Ras регулирует каскад протеинкиназ (ПК), передающих сигнал в ядро: сначала Ras регулирует активность первой ПК

каскада, эта первая ПК фосфорилирует вторую ПК каскада и изменяет ее активность и т. д., последняя ПК каскада фосфорилирует транскрипционный фактор (ТФ), изменяя его активность, то есть, способность ТФ влиять на транскрипцию определенных генов, синтез мРНК и белков.

С настоящее время ведутся исследования с целью создания методов активизации синтеза HSP72 у пациентов с СД2. Особенностью шаперонов HSP72 является существование помимо конститутивной его формы, постоянно функционирующей в клетках, также индуцибельного белка, экспрессия которого вызывается тепловым шоком, снижением температуры, либо другими стрессорными факторами.

В экспериментах *in vitro* активацию синтеза HSP70 в культуре человеческих фибробластов осуществили с помощью экстракта планктона (*Artemia Salina*), в котором действующим субстратом является дигуанозинтетрафосфат (Diguanosine tetraphosphate). Раствор, содержащий 3 % GP4G, уже через три часа вызвал максимум выработки молекулярных шаперонов HSP70 [8].

Самый простой способ, который можно использовать для активации экспрессии HSP72 в клетках живого организма (*in vivo*) – это воздействовать повышенными температурами. Любая клетка организма в ходе реакции на действие стрессового фактора начинает синтез белков теплового шока. По данным иммуноблоттинга с применением антител, узнающих только HSP70, содержание этого белка в клетке заметно возрастает в течение 12 часов после теплового шока и затем остается постоянным в течение 48 ч. Такой же динамике подчиняется и уровень накопления его помощника – шаперона Hdj1, хотя его количество в клетке гораздо ниже, чем основного шаперона. Количество другого кошаперона, не являющегося белком теплового шока, после стресса не изменяется [9].

В настоящее время различные воздействия (тепловой шок, трансгенная сверхэкспрессия, гидроксиламины), используемые *in vivo* для стимуляции образования HSP72, выполняются на животных [10,11]. Наши исследования ведутся по нескольким направлениям: изучения возможности предотвращения агрегации молекул инсулина *in vitro* и нормализации содержания глюкозы в крови человека *in vivo* при локальном действии нагревателей (50°C, в течение 30 мин) на тело в области проекции поджелудочной железы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Sparrow, L. G., Macaulay, S. L. Insulin receptor complex and signaling by insulin // Hand Book of cell signaling (Eds. R.A. Bradshaw and E.A. Dennis) // Academic Press. – 2004. – 1. – P. 293–297.
2. Henquin, J. C. Triggering and amplifying pathways of regulation of insulin secretion by glucose // J. C. Henquin // Diabetes – 2000. – Vol. 49. – P. 1751–1760.
3. Mario Barbagallo, Ligia J. Dominguez Magnesium and type 2 diabetes // World J Diabetes 2015 August 25; 6 (10): 1152-1157.
4. Lwell, B. B. Mitochondrial dysfunction and tipe 2 diabetes / B. B. Lwell // Science. – 2005. – P. 384–387.
5. Некипелова, В. О. Агрегация инсулина в растворах / В. О. Некипелова // Биофарм. журн. 2009. – Т. 1. – № 3. – С. 3–9.
6. Kurucz, I. Decreased expression of heat shock protein 72 in skeletal muscle of patients with type 2 diabetes correlates with insulin resistance / I. Kurucz // Diabetes. – 2002. – P. 1102–1109.
7. Hirosumi, J. A central role for JNK in obesity and insulin resistance // J.Hirosumi // Nature. – 2002. – P. 333–336.
8. Karin Cucumel, Riad Domloge Skin-protecting dinucleotide examined // Journal Clinical Services. 2008 January; 25–28.
9. Гужова, И. В. Механизмы работы шаперона Hsp70 в нормальных клетках и при клеточной патологии. // Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора биологических наук по специальности 03.00.25 - гистология, цитология, клеточная биология. – СПб., 2004
10. Jason Chung, Anh-Khoi Nguyen, Darren C. Henstridge, Anna G. Holmes, M. H. Stanley Chan, Jose L. Mesa, Graeme I. Lancaster, Robert J. Southgate, Clinton R. Bruce, Stephen J. Duffy, Ibolya Horvath, Ruben Mestri, Matthew J. Watt, Philip L. Hooper, Bronwyn A. Kingwell, Laszlo Vigh, Andrea Hevener, and Mark A. Febbraio HSP72 protects against obesity-induced insulin resistance // PNAS 2008. – Vol. 105. – No. 5 – P. 1739–1744.
11. Kavanagh, K. Tissue-specific regulation and expression of heat shock proteins in type 2 diabetic monkeys / K. Kavanagh, L. Zhang, JD. Wagner // Cell Stress Chaperones. – 2009. – Vol. 14. – P. 291–299.

**CATHEPSINS, GLYCOSAMINOGLYCANS
AND BIOLOGICAL ROLE OF THEIR INTERACTIONS**
**КАТЕПСИНЫ, ГЛЮКОЗАМИНОГЛИКАНЫ
И БИОЛОГИЧЕСКАЯ РОЛЬ ИХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ**

К. К. Боярски, С. А. Самсонов
K. Wojarski, S. Samsonov

Гданьский университет, г. Гданьск, Республика Польша
krzysztof.bojarski@ug.edu.pl
University of Gdańsk, Gdańsk, Poland

Cathepsins are protein-degrading enzymes that can be found in many living organisms. Most of them are cysteine proteases but are also cathepsins A and G which are serine proteases or cathepsins D and E which are aspartyl proteases. To date we know that there are 15 members of this family with most of their structures experimentally available. Regardless differences in their aminoacid sequences cathepsins share the same secondary structure pattern which is reflected in the same fold. Cathepsins play a vital role in diverse of biological processes such as bone resorption, intracellular proteolysis and regulation of programmed cell death. Changes in their activity in organism may lead to many serious diseases, either to pycnodysostosis in case of deficiency or to osteoporosis in case of excessive activity. However, enzymatic activity of the cathepsins can be moderated by glycosaminoglycans – a group of linear, periodic, negatively charged carbohydrates.

Катепсины – это протеазы, которые есть у многих живых организмов. Большинство из них – это цистеиновые протеазы, а также несколько сериновых и аспартиловых протеаз. На сегодняшний день 15 членов этой белковой семьи охарактеризованы экспериментально. Независимо от их аминокислотных последовательностей, все катепсины имеют один структурный фолд. Катепсины играют жизненно важную роль в разнообразных биологических процессах как резорбция кости, внутриклеточный протеолиз и апоптоз. Изменение их активности может привести ко многим серьезным заболеваниям как пикодизостоз в случае дефицита, либо остеопорозу в случае чрезмерно повышенной активности. Ферментативная активность катепсинов может регулироваться с помощью гликозами-ногликанов – группы линейных, периодических, отрицательно заряженных полисахаридов.

Keywords: modeling protein-glycosaminoglycan interactions, lysosomal proteases, molecular dynamics.

Ключевые слова: моделирование взаимодействий белков и гликозаминогликанов, протеазы лизосом, молекулярная динамика.

The family of cathepsins consists of lysosomal proteases that are present in many living organisms [1]. Depending on the aminoacid residues present in active site pocket of those enzymes, we can distinguish aspartyl, cysteine and serine proteases with 11 of the cathepsins being cysteine ones. Cathepsins regardless of differences in their aminoacid sequence share the same secondary structure pattern which is reflected in same 3D fold (Fig. 1).

Cathepsins are present in the extracellular matrix and lysosomes, in which they play a crucial role in various biological processes. Those include bone resorption, intracellular proteolysis, regulation of programmed cell death or degradation of antimicrobial peptides/proteins depending on the type of the cathepsin. Due to that it is important to understand the theoretical basis underlying molecular processes in which cathepsins are involved. Disruptions of their activity in an organism may lead to many serious diseases, such as pycnodysostosis, osteoporosis, rheumatoid arthritis, osteoarthritis, asthma, psoriasis, atherosclerosis, cancer, obesity autoimmune disorders and viral infection depending on the type of cathepsin.

It is known that cathepsins activity might be mediated by glycosaminoglycans (GAGs). GAGs are a group of linear negatively charged polysaccharides that are located in the extracellular matrix [2]. Each GAG (excluding keratan sulfate) consists of a recurring disaccharide unit in which one aminosugar and one uronic acid with different sulfation patterns are present (Fig. 2).

The family of cathepsins consists of lysosomal proteases that are present in many living organisms [1]. Depending on the aminoacid residues present in active site pocket of those enzymes, we can distinguish aspartyl, cysteine and serine proteases with 11 of the cathepsins being cysteine ones. Cathepsins regardless of differences in their aminoacid sequence share the same secondary structure pattern which is reflected in same 3D fold (Fig.1).

Cathepsins are present in the extracellular matrix and lysosomes, in which they play a crucial role in various biological processes. Those include bone resorption, intracellular proteolysis, regulation of programmed cell death or degradation of antimicrobial peptides/proteins depending on the type of the cathepsin.

Due to that it is important to understand the theoretical basis underlying molecular processes in which cathepsins are involved. Disruptions of their activity in an organism may lead to many serious diseases, such as pycnodysostosis,

osteoporosis, rheumatoid arthritis, osteoarthritis, asthma, psoriasis, atherosclerosis, cancer, obesity autoimmune disorders and viral infection depending on the type of cathepsin. It is known that cathepsins activity might be mediated by glycosaminoglycans (GAGs). GAGs are a group of linear negatively charged polysaccharides that are located in the extracellular matrix [2].

Each GAG (excluding keratan sulfate) consists of a recurring disaccharide unit in which one aminosugar and one uronic acid with different sulfation patterns are present (Fig. 2).

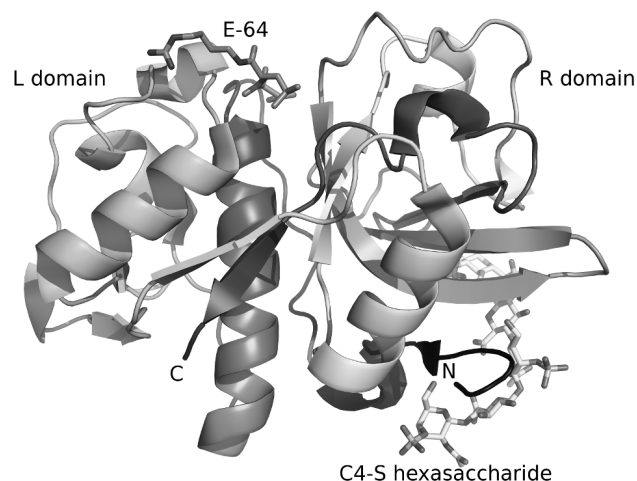


Figure 1 – Experimental structure of cathepsin K (in cartoon), a representative of cystein cathepsins in complex with chondroitin 4-sulfate (C4-S) hexasaccharide and E-64 inhibitor (in sticks)

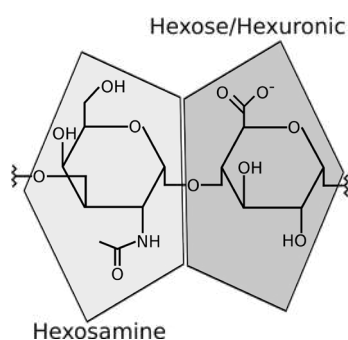


Figure 2 – Schematic representation of the GAG structure. Disaccharide units are made up of hexose/hexuronic acid and hexosamine indicated in dark grey and light grey, respectively. Each labelled hydroxyl group could be sulfated

Those polysaccharides are involved in numerous processes including cell proliferation, angiogenesis, anticoagulation, adhesion and signaling cascades. It is suggested that GAGs may play a vital role in medical treatment of disorders associated with the above-mentioned processes and represent one of the key targets for regenerative medicine. Regulation of cathepsin enzymatic activity by GAGs might be fulfilled in three ways:

- GAG can bind into active site of the cathepsin which makes it inaccessible for a substrate;
- GAG can bind on the already formed complex between protein and substrate, which makes dissociation of a substrate unfeasible;
- GAG binds to cathepsin in a way that causes allosteric change in the active site which alters its accessibility for a substrate.

Modeling systems containing GAGs represents a substantial challenge in computational approach due to their high complexity. Features that make GAG modeling challenging are:

- GAGs are very flexible molecules, hence molecular docking requires consideration of multiple degrees of freedom;
- GAGs highly charged nature leads to importance of electrostatic-driven interactions and abundance of solvent-mediated ones by computational methodologies;
- GAGs prefer to bind at solvent-exposed and spatially close but sequentially not necessarily successive positively charged amino acid patches made up of lysine or arginine residues that possess long and flexible side chains, which also contributes to the challenge of flexibility treatment of the system;
- monosaccharide rings of GAGs, especially iduronic acid derivatives, can adopt various conformations in molecular dynamics and are characterized by different binding free energy values;
- the structures calculated by molecular docking are not always in full agreement with experimental structures because only one docking solution is considered as correct one, while the multipose binding has to be taken into account.

These challenges motivate the development of novel approaches, such as Dynamic Molecular Docking (DMD), in which not only ligand but also receptor is flexible and, additionally, solvent is treated explicitly. Regardless of

aforementioned challenges in analysing GAG containing systems, computational studies on cathepsin/GAG complexes proved to be successful in several cases. In the work of Sage *et al.* various GAGs including heparin, heparan sulfate, chondroitin 4/6-sulfates, dermatan sulfate and hyaluronic acid were docked to cathepsin S which allowed to predict three specific binding sites on cathepsin S for chondroitin 4-sulfate that were different from those observed in the crystal structure of cathepsin K/chondroitin 4-sulfate complex. The data obtained in this study allowed to observe subtle conformational changes in mature cathepsin S that were induced by C4-S binding. Results described in that paper allowed to propose a novel glycosaminoglycan-mediated mechanism of cathepsin S inhibition as well as impact of chondroitin 4-sulfate on collagenase activity of this protease which proves the role of GAG in cathepsins activity mediation.

In our approach we used several computational methodologies in order to get deeper understanding of cathepsin/GAG interactions at the molecular level. Methods described in paragraph below were successfully applied in various protein-GAG systems but also contributed to development of novel approaches [3-5].

Electrostatic potential calculations. Applying electrostatic potential calculations with use of Poisson-Boltzmann Surface Area method, which treats solvent implicitly, implemented in AMBER software package allows to predict experimentally unknown putative GAG binding regions on the enzyme surface. This method previously proven to be successful for protein/GAG complexes dataset retrieved from the PDB.

Molecular docking. Molecular docking is a computational method that allows to predict preferred orientation between two covalently unbound molecules that form a stable complex. Docking can be used to perform virtual screening on large libraries of compounds, rank the results, and propose structural hypotheses of how the ligands inhibit the target, which is invaluable in lead optimization. The setting up of the input structures for the docking is just as important as the docking itself, and analyzing the results of stochastic search methods can sometimes be unclear.

With the use of Autodock 3 molecular docking software with parameters adjusted for protein/GAG systems it is possible to calculate most representative complex structures.

Molecular dynamics (MD). MD is a computational method that allows to study the evolution of molecular systems in time by numerically solving Newton's equations of motion for a system of interacting particles. In this method, the forces between the particles and their potential energies are calculated by using specific interatomic potentials which are defined by the forcefield. Molecular dynamics can be used to explore conformational space, and is often the method of choice for large molecules such as proteins.

A common strategy when searching conformational space is to perform the simulation at a very high, physically unrealistic temperature as this enhances the ability of the system to overcome energy barriers. Structures are then selected at regular intervals from the trajectory for subsequent energy minimization.

In our calculations, we used MD implemented in AMBER 16. GLYCAM06 force field with the previously obtained parameters that allowed to create monosaccharide units which are part of each GAG, were applied for those polysaccharides.

Free energy calculations. In order to estimate complex stability, we applied several methodologies to calculate the binding free energy in the studied systems. The first of them, Molecular Mechanics Poisson-Boltzmann Surface Area (MM-PBSA) is a commonly used approach in MD post-processing analysis that allows to evaluate free energy components of binding and per residue individual energy impacts such as bonded (bond, angle, dihedral) and non-bonded (van der Waals, electrostatic, polar solvation, surface area) energy components. Moreover, we calculated the entropy contribution by using normal mode analysis and quasiharmonic analysis that are implemented in AMBER.

Entropy contributions calculations. Apart from MM-PBSA for free energy calculations we calculated the entropy contribution by using normal mode analysis (NM) and quasiharmonic analysis (QH) that are implemented in AMBER. Moreover, we applied the potential of mean force approach by using Jarzynski equation in which solvent is treated explicitly.

REFERENCES

1. Turk, V. Cysteine cathepsins: from structure function and regulation to new frontiers / V. Turk [and others] // *Biochim Biophys Acta*. – 2011. – Vol. 1824. – P. 68–88.
2. Lamberg, S. I. Glycosaminoglycans. A biochemical and clinical review / S. I. Lamberg, A. C. Stollmiller // *J Invest Dermatol*. – 1974. – Vol. 63. – P. 433–449.
3. Uciechowska-Kaczmarzyk, U. Molecular Dynamics-Based Model of VEGF-A and its Heparin interactions // U. Uciechowska-Kaczmarzyk [et al.] // *J Mol Graph Model*. – 2018. – Vol. 82. – P. 157–166.
4. Bojarski, K. K. Molecular Dynamics Insights into Protein-Glycosaminoglycan Systems from Microsecond-Scale Simulations // K. K. Bojarski, A. K. Sieradzka, S. A. Samsonov // *Biopolymers*. – 2019. Epub. DOI: 10.1002/bip.23252.
5. Samsonov, S. A. Local and Long Range Potentials for Heparin-Protein Systems for Coarse-Grained Simulations / S. A. Samsonov [et al.] // *Biopolymers*. – 2019. E-pub. DOI: 10.1002/bip.23269.

**ОРГАНИЗМЫ-ИНДИКАТОРЫ АНТРОПОГЕННОГО
ЭВТРОФИРОВАНИЯ НЕКОТОРЫХ ВОДОЕМОВ МОГИЛЕВСКОЙ ОБЛАСТИ**
**ORGANISMS-INDICATORS OF ANTHROPOGENOUS
EUTROPHORISM OF SOME BODIES OF MOGILEV REGION**

А. В. Держанская, А. Г. Сыса
A. Derzhanskaya, A. Sysa

*Белорусский государственный университет, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ,
г. Минск, Республика Беларусь
anastasia-derzhanskaya@mail.ru
Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus*

Проведена оценка структурных показателей фито- и зоопланктона некоторых водоемов Могилевской обл. с различным уровнем антропогенной нагрузки на примере р. Березина (Бобруйский р-н) и р. Ольса (Кличевский р-н). Кроме рекреационных целей водоемы использовались и используются для проведения рыбоводных мероприятий. По результатам анализа отмечены существенные изменения в составе фитопланктона: увеличение числа эвгленовых и других фотосинтезирующих протистов, повышение продуктивности фитопланктона и уровня трофии, особенно в районах рек рядом с промышленным производством и местами отдыха. В структуре зоопланктона также наблюдаются изменения: снижение числа ветвистоусых рачков и увеличение личинок стрекоз и комаров.

The structural indicators of phyto- and zooplankton in some water bodies of the Mogilev region with different levels of anthropogenic load were estimated using the Berezina River (Bobruisk region) and the Olsa River (Klichevsky District) as examples. In addition to recreational purposes, water bodies were used and used for fish farming activities. According to the results of the analysis, significant changes in the composition of phytoplankton were noted: an increase in the number of Euglean and other photosynthesizing protists, an increase in the productivity of phytoplankton and the level of trophy, especially in areas of rivers near industrial production and places of rest. Changes are also observed in the structure of zooplankton: a decrease in the number of branched crustaceans and an increase in the larvae of dragonflies and mosquitoes.

Ключевые слова: качество воды, загрязнение, организмы-индикаторы, фитопланктон, зоопланктон, эвтрофирование.

Keywords: water quality, pollution, indicator organisms, phytoplankton, zooplankton, eutrophication.

Биоиндикация – активно развивающаяся в современной экологии область научных исследований. В большинстве случаев, целью применения различных индикаторов и индексов является оценка экологического состояния водных объектов; они используются и для принятия решений по обеспечению устойчивого развития территорий, регионов, экосистем разного масштаба. Изучение состава живых организмов водоема позволяет быстро установить его санитарное состояние, определить степень и характер загрязнения и пути его распространения в водоеме, а также дать количественную характеристику протекания процессов естественного самоочищения.

Различные виды живых существ показывают, чем загрязнена окружающая среда. Объектами-индикаторами могут быть фито- и зоопланктон, бентос, макрофиты, рыбы и др. Получены научные данные о том, что повышенное содержание в воде различных токсикантов приводит к массовым нарушениям эмбрионального и личиночного развития, появлению многочисленных уродств. У молоди рыб нередко развиваются опухоли и нарушение отдельных органов (печень, мозг, жаберный аппарат и др.). Кроме того, в одном и том же водоеме могут быть акватории с неблагоприятными условиями для гидробионтов [1].

Распространенный способ оценки качества воды в текущих водах основан на изучении донных беспозвоночных (макрозообентоса). Во-первых, большинство донных беспозвоночных сравнительно крупны, видны невооруженным взглядом, малоподвижны, и поэтому их легко собирать сачком. Из-за малоподвижного образа жизни они не могут избежать влияния попавших в воду загрязняющих веществ. Это позволяет говорить о том, что состояние бентосных организмов лучше отражает качество воды в исследуемой речке. К тому же многие виды донных животных проводят в воде большую часть своего жизненного цикла, таким образом, на состояние сообществ бентоса влияет не только качество воды в данный момент, но и в прошлом.

Вместе с тем, оценка и прогноз состояния равнинных рек в настоящее время крайне затруднены в связи с недостатком информации об экологических процессах, происходящих в бассейнах рек в их естественном состоянии и при воздействии антропогенных факторов [2; 3]. Типология рек меняется при интенсивном антропогенном воздействии на водоток. Обладая малой инерцией в своем режиме, равнинные водотоки чрезвычайно чутко реагируют на любые изменения на их водосборе и на воздействия различных внешних факторов.

Цель работы – анализ таксономической структуры и показателей количественного развития фито- и зоопланктона некоторых водоемов Могилевской области с различным уровнем антропогенной нагрузки на примере р. Березина (Бобруйский р-н) и р. Ольса (Кличевский р-н).

Река Березина является самой длинной рекой, которая на всем своем течении расположена в Республики Беларусь, правый приток Днепра. Длина реки – 613 км, площадь бассейна – 24 500 км². Березина берет начало в болотистой местности севернее Минской возвышенности, в Березинском заповеднике, в 1 км к юго-западу от г. Докшицы. Исток находится на водоразделе Черного и Балтийского морей, рядом с истоком Березины берут начало верхние притоки р. Сервечь бассейна р. Неман и Аржаницы бассейна р. Западная Двина (точка тройного водораздела находится примерно в 4 км к западу от станции Крулевщина на безымянной высоте между высотами 199,0 и 190,7). В верхнем течении Березина проходит через о. Медзозол и Палик. Протекает в южном направлении по Центральноберезинской равнине, впадает в Днепр около д. Береговая Слобода Речицкого р-на. Средний годовой расход воды в устье 145 м³/с. На р. Березина находятся такие промышленные центры Республики Беларусь как Бобруйск, Борисов, Березино, Светлогорск.

Согласно данным мониторинга р. Березина ниже г. Борисов и г. Бобруйск по-прежнему входит в число наиболее загрязненных водных объектов Республики Беларусь. В воде р. Березина ниже г. Борисов отмечается наивысшее содержание общего фосфора (0,26 мг/дм³), часто отмечается превышение лимитирующего показателя по аммоний-иону, фиксируется среднегодовая концентрация нитрит-иона, превышающая лимитирующий показатель, (0,031 мгN/дм³), содержание нитрит-иона в воде реки в 2017 г. достигало максимума – 0,098 мгN/дм³ (4,1 ПДК). Также наибольшее содержание марганца фиксируется в воде р. Березина ниже г. Борисов [4].

Река Ольса протекает по территории Кличевского и Кировского р-нов Могилевской обл. и Березинского р-на Минской обл., является левым притоком р. Березина. Длина реки – 92 км, площадь ее водосборного бассейна – 1690 км², среднегодовой расход воды в устье – 9,3 м³/с, средний уклон реки 0,3 м/км. Река протекает по Центральноберезинской равнине, замерзает в первой декаде декабря, ледоход в третьей декаде марта. В нижнем течении наивысший уровень половодья в конце марта, средняя высота над меженным уровнем 1,2 м. Река используется как водоприемник мелиоративных каналов. Русло в верховье на протяжении 10 км канализовано, ниже ширина реки в межень 12–18 м, в низовьях 30–40 метров. Берега в верховье низкие, заболоченные, между деревьями Воевичи и Заполье Кличевского р-на пологие, ниже до устья крутые и обрывистые/

Пробы фитопланктона отбирались ежемесячно в период с мая по сентябрь 2018–2019 гг. на двух станциях в открытой зоне водоема. Всего было отобрано и обработано 30 проб. Материал отбирали и обрабатывали по стандартной гидробиологической методике. Пробы отбирали батометром Руттнера и фиксировали 40 % раствором формалина, концентрировали методом прямой фильтрации. Подсчет клеток проводили в камере «Учинская» объемом 0,01 мл. Подсчет организмов вели под микроскопом «Альтами» (Россия) при увеличении в 500 раз. Систематическое положение водорослей определялось при помощи «Определителя пресноводных водорослей» А. А. Гуревича. Сапробная значимость водорослей определялась по методике Т. Я. Ашихминой [3; 5].

Таблица 1 – Сапробная значимость водорослей по Т. Я. Ашихминой

Зона сапробности	Название водорослей
Олигосапробная	Космариум, меридиан, анабена, фрагилярия, цимбела, астерионелла, симбела, диатома
β-мезасапробная	Диатома, синедра игольчатая, циклотелла, кластериум, табелария, навикула, коконейс, кладофора, пинулярия, улотрикс, спирогира, фрагилярия, астерионелла, педиастриум, мелозира, циматоплеаура, сценедесмус, кластериум, пинулярия
α-мезасапробная	Ницшия игловидная, хламидомонада, стефанодискус, циклотела, навикула, факус, кластериум
Полисапробная	Хлорелла, эвглена зеленая

При помощи «Атласа-определителя беспозвоночных животных» М. А. Козлова был определен перечень видов беспозвоночных животных.

Оценку сапробности вод проводили по методу Майера, используя известные индикаторные значения сапробности отдельных видов (Баринава, Медведева, 1996; Sladecsek, 1973, 1986; Wegl, 1983). К доминирующим видам относили те, численность и биомасса которых составляла 10 и более % от общего значения (Мегарран, 1992).

Определение качества воды водоема по методу Ф. Майера не требует определения живых организмов с точностью до вида и подходит для любого типа водоемов. Метод использует приуроченность различных групп водных беспозвоночных к водоемам с определенным уровнем загрязненности. Организмы-индикаторы отнесены к одному из трех разделов (табл. 2).

Таблица 2 – Организмы обитатели в водоемах с определенным уровнем загрязненности

Обитатели чистых вод	Организмы средней степени чувствительности	Обитатели загрязненных водоемов
Личинки веснянок	Бокоплав	Личинки комаров-звонцов
Личинки поденок	Речной рак	Пиявки
Личинки ручейников	Личинки стрекоз	Водяной ослик
Личинки вислокрылок	Личинки комаров – долгоножек	Прудовики
Двустворчатые моллюски	Моллюски-катушки, моллюски-живородки	Личинки мошки
		Малощетинковые черви

Нужно отметить, какие из приведенных в таблице индикаторных групп обнаружены в пробах. Количество обнаруженных групп из первого раздела таблицы необходимо умножить на 3, количество групп из второго раздела – на 2, а из третьего – на 1. Получившиеся цифры складывают. Значение суммы и характеризует степень загрязненности водоема. Если сумма более 22 – водоем чистый и относится к 1 классу качества. Значения суммы от 17 до 21 говорят о втором классе качества (как и в первом случае, водоем будет охарактеризован как олигосапробный). От 11 до 16 баллов – 3 класс качества – умеренная загрязненность (бетамезосапробная зона). Все значения меньше 11 характеризуют водоем как грязный (альфамезосапробный или же полисапробный) – 4–7 классы качества.

Простота и универсальность метода Майера дают возможность быстро оценить состояние исследуемого водоема. Точность метода невысока, но если проводить исследования качества воды регулярно в течение какого-то времени и сравнивать полученные результаты, можно понять, в какую сторону изменяется состояние водоема.

Данные, представленные в табл. 3 и 4, позволяют заключить, что зоны рек, расположенные рядом с местами отдыха и объектами промышленности, характеризуются различными степенями сапробности и наличием в них определенных организмов-индикаторов. Данные отражены в таблицах.

В результате изучения водорослевого состава исследуемых проб воды в точках отбора были выявлены виды, наиболее часто встречающиеся в образцах. К таким организмам отнесли эвглену зеленую, хлореллу, хламидомонаду, спирогиру и мелозиру. Был произведен подсчет этих организмов. Данные отражены в табл. 3 (на примере р. Ольса).

Таблица 3 – Содержание организмов-индикаторов в исследуемых пробах

Организмы-индикаторы	Среднее содержание организмов в 1 мл пробы (точка №1, городская баня)	Среднее содержание организмов в 1 мл пробы (точка № 2, частный сектор)	Среднее содержание организмов в 1 мл пробы (точка № 3, лесная зона)
Мелозира	0	10	80
Спирогира	90	75	30
Хламидомонада	100	125	24
Хлорелла	167	137	20
Эвглена зеленая	250	203	30
Диатома	12	24	97

Данные организмы, являются представителями трех экологических групп, а именно, эвглена зеленая и хлорелла являются полисапробными организмами (т. е. они обитают в загрязненных водоемах). Хламидомонада является α -мезосапробом, а спирогира относится группе β -мезосапробов. Диатома является представителем олигосапробов (т. е. вода в данных водоемах достаточно чистая). Количественный состав хламидомонады, хлореллы и эвглены в точках отбора 1 и 2 намного выше, чем в точке отбора 3 (которая, как предполагается, не несет повышенную антропогенную нагрузку). Наблюдается обратная ситуация в точке отбора 3, в данном участке реки преобладает по численности мелозира и диатома – обитатели чистых вод. На основании полученных данных можно предположить, что в трех точках отбора наблюдается разная экологическая ситуация. Участки реки, расположенные рядом с городской баней и частным сектором имеют повышенное содержание биогенных веществ, вследствие попадания их со сточными водами. Участок реки, расположенный в лесной зоне менее подвержен антропогенному загрязнению.

Беспозвоночных животных также можно использовать для оценки чистоты воды в водоемах. Если водоемы чистые, то они богаты ветвистоусыми рачками (дафнии), а также довольно часто в них встречаются пресноводные моллюски. Для того, чтобы оценить экологическое состояние рек при помощи водных беспозвоночных, была использована методика Майера. В процессе исследования в пробах определялись найденные беспозвоночные, которые представлены в табл. 4 (на примере р. Березина).

Таблица 4 – Группы беспозвоночных животных реки Березина

Обитатели чистых вод	Организмы средней чувствительности	Обитатели загрязненных водоемов
Дафнии	Личинки комаров	Личинки стрекоз
Боклопавы	Моллюски-катушки	Пиявки
Циклопы	Живородки	Прудовики
	Беззубки	

Полученные данные характеризуют участок реки как β -мезосапробный, т. е. умеренно чистый.

Результаты свидетельствуют об эвтрофировании рек Березина и Ольса в некоторых их участках, в результате накопление в водоёмах биогенных продуктов. Это может быть связано с повышенной антропогенной нагрузкой на данные участки, так как некоторые зоны рек расположены рядом с такими объектами как городская баня (р. Ольса), ОАО Фандок (р. Березина), а также реки протекают рядом с частным сектором. Сточные воды

из дворов частных секторов содержат в себе большое количество органических веществ, которые являются питательным веществом для фитопланктона и вызывают его массовое развитие, а это приводит к эвтрофированию.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Баринова, С. С.* Биоразнообразие водорослей – индикаторов окружающей среды / С. С. Баринова, Л. А. Медведева, О. В. Анисимова. — Тель-Авив, 2006. – 498 с.
2. *Зверькова, Ю. С.* Экологическая оценка реки Днепр (в пределах Смоленской области) по комплексу гидрохимических и гидробиологических показателей: автореф. ... канд. биол. наук: 03.02.08 / Ю. С. Зверькова. Смол. : СГУ, 2011. – 26 с.
3. Биоиндикация экологического состояния равнинных рек / под ред. О. В. Бухарина, Г. С. Розенберга. – М.: Наука, 2007. – 403 с.
4. Национальная система мониторинга окружающей среды в Республике Беларусь: результаты наблюдений, 2017 год. – Режим доступа: <http://www.nsmos.by/content/777.html>. (дата обращения: 05.03.2019).
5. *Головатюк, Л. В.* Макрозообентос равнинных рек бассейна Нижней Волги как показатель их экологического состояния (на примере р.Сок и ее притоков): Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Тольятти, 2005. – 20 с.

ЗАВИСИМОСТЬ ОТ ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ ПОДРОСТКОВ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ DEPENDENCE FROM VIRTUAL REALITY OF TEENAGERS IN THE REPUBLIC OF BELARUS

И. И. Дроздов
I. Drozdov

*Белорусский государственный университет, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ,
г. Минск, Республика Беларусь
gosha.drozdov.94@gmail.com
Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus*

Выполнен анализ виртуальной реальности и зависимость от нее подростков в Республике Беларусь, поскольку проблема интернет-зависимости на постсоветском пространстве, в том числе и в Беларуси исследована неравномерно. Проблема зависимости от виртуальной реальности молодежи представляет широкий спектр социально-психологических исследований. Установлено, что наиболее предпочтительной деятельностью подростков в виртуальном пространстве являются: игры, социальные сети и видео просмотры. Наиболее популярные категории в сети Интернет у подростков – общение в социальных сетях (61 %), алкоголь, табак (14 %), компьютерные игры (9 %), программное обеспечение, аудио и видео (6 %).

In this work was analyzed the virtual reality and dependence of adolescents on it in the Republic of Belarus, since the problem of Internet addiction in the post-Soviet space, including in Belarus, has been unevenly investigated. The problem of dependence on the virtual reality of young people represents a wide range of socio-psychological research. It is established that the most preferred activity of teenagers in the virtual space are: games, social networks and video views. The most popular categories on the Internet for teenagers are social networking (61 %), alcohol, tobacco (14 %), computer games (9 %), software, audio and video (6 %) on it in this work. The problem of Internet addiction in the post-Soviet space, and especially on the territory of Belarus, has been studied quite unevenly. The issue of dependence on virtual reality is a wide field for work and provides a wide range of areas for research. The study aims to identify the problem and its characteristics.

Ключевые слова: Республика Беларусь, подростки, виртуальное пространство, Интернет-зависимость.

Keywords: Republic of Belarus, teenagers, cyberspace, Internet addiction.

Зависимость от виртуальной реальности – интегральная составляющая на пути каждого человека к возможностям и сервисам Интернет. Ее закрепление в качестве компонента жизни личности определяется такими качествами личности как отрицательная коммуникативная установка, эмоциональная неустойчивость, замкнутость, тревожность и прочими. К. Янг описывает критерии, по которым можно определить наличие зависимости от Интернета и виртуальной реальности в целом [1; 2].

В последнее десятилетие формируется еще одна форма интернет-зависимого поведения – пристрастие к просмотру фильмов и сериалов через Интернет.

К указанному перечню целесообразно добавить, что, судя по количеству исследований и явно выраженной обеспокоенности общественности, своеобразным «лидером» среди отмеченных разновидностей интернет-зави-

симости являлась игромания, однако сегодня увлеченность социальными сетями уверенно занимает лидирующее положение [2; 5].

Представленные исследования выполнены на базе государственных учреждений образования «Гимназия № 1», и «Средняя школа № 2» г. Смолевичи Минской обл.

При построении выборки был использован метод приближенного моделирования. Выборку составили учащиеся школ 5–7 классов, которые относятся к младшему подростковому возрасту. Всего в исследовании приняли участие 100 человек. Из них 56 девочек (51 %) и 44 мальчика (49 %). Возраст испытуемых: 11–13 лет (11 лет – 21 %; 12 лет – 26 %; 13 лет – 53 %).

Исходя из поставленной цели для решения конкретных задач, исследования психологических особенностей подростков синтернет-зависимостью проводилось по следующей программе:

- на первом этапе проводилось теоретическое обоснование существующей проблемы, отбор респондентов и выбор методов настоящего исследования;
- вторая задача включала проведение эмпирического исследования. Для психодиагностики подростков был использован групповой метод. Всем испытуемым одновременно были розданы бланки для ответов;
- заключительным этапом явилась количественная и качественная обработка полученных результатов исследования, их интерпретация и разработка методических рекомендаций.

Обоснованием для проведения исследования данной выборки является то, что проблема влияния игровой компьютерной зависимости на психическое и личностное развитие младшего подростка изучена недостаточно. Анализ психологических исследований показал, что недостаточно проработан вопрос о психологических факторах, условиях и механизмах, определяющих особенности игровой компьютерной зависимости в младшем подростковом возрасте.

Методический инструментарий исследования основан на методах:

- скрининг диагностики компьютерной зависимости Л. Н. Юрьевой и Т. Ю. Больбот;
- тест-опроснике на наличие интернет-аддикции Кимберли Янг;
- методике «Поведение родителей и отношение к ним подростков» Е. Шафер [3].

Для получения информации о том, как подростки проводят личное время в виртуальной реальности, был выполнен анонимный опрос, включающий 10 категорий: 1) средства интернет-коммуникации (социальные сети, мессенджеры, чаты и форумы); 2) страница для взрослых; 3) алкоголь, табак, наркотики; 4) насилие; 5) оружие, взрывчатые вещества, пиротехника; 6) азартные игры, лотереи, тотализаторы; 7) компьютерные игры; 8) электронная коммерция; 9) программное обеспечение, аудио, видео; 10) новостные ресурсы.

В качестве методов статистической обработки были выбраны t-критерий Стьюдента для сравнения двух групп. Расчеты выполнены при помощи программ Statistica 12.0. Визуализация данных производилась с помощью программного обеспечения MS Excel.

Результаты проведенного исследования позволили заключить:

1) интернет-зависимость представляет собой личностную характеристику молодого человека, как совокупность когнитивных, эмоциональных и физиологических нарушений, которые проявляются в его поведении, одновременно указывая на отсутствие контроля при использовании Интернета. Он не в состоянии прекратить этот процесс, продолжает значительное время находиться в виртуально информационной среде, несмотря на негативные последствия.

2) результаты опросника К. Янг показали, что большая часть подростков в исследуемой группе относится к категории имеющих проблемы с чрезмерным использованием Интернета. Установлено, что 17 человек попали в категорию интернет-зависимых. Категория лиц, имеющих проблемы с чрезмерным использованием Интернета является опасной группой, возможно даже более опасной, чем та, у которой явно выявлена зависимость, потому что она нестабильна и может в любое время перейти в категорию зависимых. Данная группа, как и любая другая переходная, довольно чувствительна к изменениям, поэтому за ней стоит усиленно наблюдать. Статистические различия результатов опроса, проведенного в двух группах подростков оказались достоверными: $t_1 = 0,0384$; $t_2 = 0,0315$, $p < 0,05$ (рис. 1).

Результаты скрининг-диагностики показали, что в исследуемой группе большую часть составляют подростки с риском компьютерной зависимости. Сравнение полученных результатов с использованием критерия Стьюдента, позволило получить следующие показатели $t_1 = 0,0314$, $p < 0,05$; $t_2 = 0,0475$, $p < 0,05$ (рис. 2).

Таким образом, можно заключить, что довольно значительная доля подростков имеют сформированную зависимость от компьютера (смартфона, планшета).

Однако примерно половина подростков не имеют зависимости от виртуальной реальности, что в целом подчеркивает стабильное состояние выборки. Большие вопросы вызывает группа с увлеченностью, несмотря на немногочисленность. Данное состояние настораживает, прежде всего, своей нестабильностью, так как увлеченность очень скоро может перерасти в нездоровое увлечение, а далее в зависимость, и доля молодых людей в данной категории увеличится. То же самое можно сказать и про категорию риска. В долгосрочной перспективе ситуация может обернуться в худшую сторону.

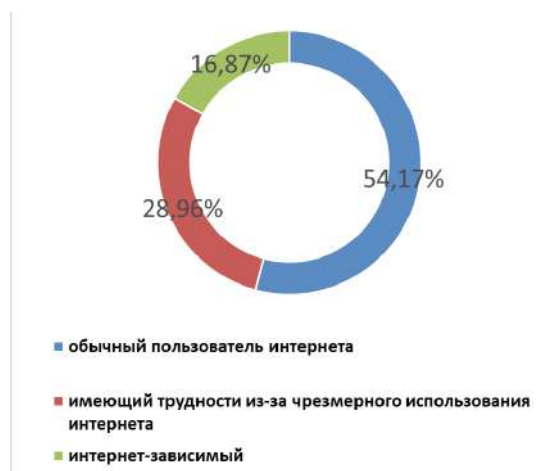


Рисунок 1 – Результаты проведенного опроса школьников г. Смолевичи

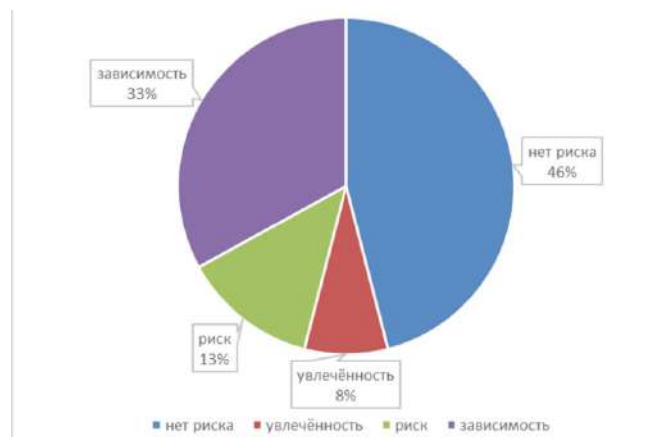


Рисунок 2 – Распределение подростков г. Смолевичи по группам риска

3) тест Е. Шафер показал, что в целом выстраивается довольно специфический тип родителей, который по большей части не проявляет чрезмерной строгости и жестокости по отношению к своему ребенку, но и слишком вовлечен в его жизнь, интересы и события при относительно стабильной ситуации. Как только начинают проявляться какие-либо волнующие или негативные моменты, тогда родители начинают действовать тем или иным способом. И подросток живет в довольно странных, по его мнению, условиях. С одной стороны, его не трогают, что-то даже поощряют, а с другой стороны, при каких-то обстоятельствах, родители проявляют контроль или жестокость, постоянно отчитывают («читают мораль») и др. Также не стоит забывать, что ценностные ориентиры подростков и их родителей кардинально различаются. Поэтому, что кажется приемлемым для одних совершенно непонятно для других [4; 5].

4) наиболее предпочтительной деятельностью подростков в виртуальном пространстве являются: игры (32 из 100), социальные сети (28 из 100), а также видео просмотры (23 из 100), $t = 0,0385$; $p < 0,05$ (рис. 3). Наиболее популярные категории в сети Интернет у подростков – общение в социальных сетях (61,3 %), алкоголь, табак (14,1 %), компьютерные игры (9,1 %), ПО, аудио, видео (6,2 %), $t = 0,0255$; $p < 0,05$ (рис. 4).



Рисунок 3 – Предпочтительная деятельность подростков г. Смолевичи в виртуальной реальности

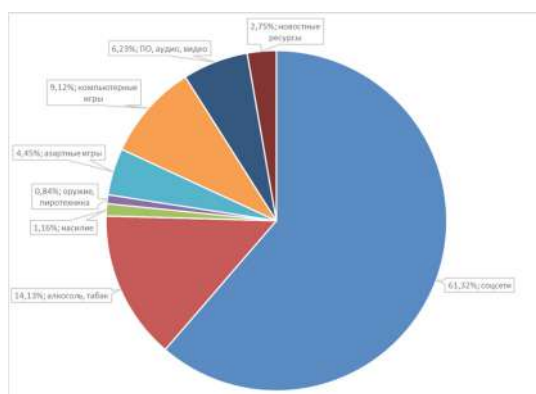


Рисунок 4 – Наиболее популярные категории подростков г. Смолевичи в сети Интернет

Исходя из полученных результатов проведенных исследований, целесообразно заключить, что в настоящее время существует группа подростков, которых можно отнести к категории зависимых. Однако более точные методы диагностики, профилактики разработать на данный момент не представляется возможным, так как на сегодняшний день интернет-зависимость не является самостоятельным заболеванием. Невозможно не признать положительные моменты Интернета, но необходимо указать и на негативную сторону использования ресурсов глобальной сети: в связи с возрастающей компьютеризацией и интернетизацией мирового сообщества стала актуальной проблема патологического использования ресурсов Интернета человеком. Все больше людей предпочитают уходить с головой в виртуальный мир, не желая противостоять жизненным трудностям, выстраивать отношения с окружающим миром и обществом. Заключившись на каких-либо видах деятельности в Интернете, они получают субъективно приятные эмоции, которые помогают «убежать» им от реального мира или которые они могут испытать, находясь в Интернете.

ЛИТЕРАТУРА

1. Войскунский, А. Е. Актуальные проблемы психологии зависимости от Интернета / А. Е. Войскунский // Психологический журнал, 2014. – № 1. –90 – 100 с.
2. Дроздов, И. И., Шершнёва, Т. В. Виртуальная среда как фактор возникновения аддиктивного поведения / И. И. Дроздов // Обеспечение безопасности жизнедеятельности: проблемы и перспективы: сб. материалов XII междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых. – Минск: УГЗ, 2018. – С. 270 –271.
3. Самойлик, А. А. Интернет-зависимость – актуальная проблема современного общества / А. А. Самойлик // Вестник Череповецкого государственного университета, 2013. – Т. 2. – № 2. – С. 126–128.
4. Шершнёва, Т. В. Трансформация личности при развитии зависимости от виртуальной среды / Т. В. Шершнёва // Вестник Башкирского государственного медицинского университета, 2017. – № 5. – С. 262–269.
5. Drozdov I., Shershniova T. Virtual reality as a factor of development of addictive behavior in conditions of modern environment / I. Drozdov // Actual Environmental Problems: the proceedings of the VIIth International scientific conference for young scientists, PhD students, Master's degree students and students (in English), Minsk, November 23–24, 2018. Minsk, 2018. – p. 8

АНАЛИЗ АНТАГОНИСТИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ БАКТЕРИЙ РОДА *BACILLUS* ПО ОТНОШЕНИЮ К НЕКОТОРЫМ ПРЕДСТАВИТЕЛЯМ УСЛОВНО – ПАТОГЕННОЙ МИКРОФЛОРЫ

ANALYSIS OF THE ANTAGONISTIC ACTIVITY OF BACTERIES OF THE GENUS *BACILLUS* IN RELATION TO SOME REPRESENTATIVES OF OPPORTUNISTIC PATHOGENIC MICROFLORA

В. О. Земцова, Е. Р. Грицкевич
V. Ziamtsova, E. Gritskevich

Белорусский государственный университет, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ,
г. Минск, Республика Беларусь
veto4ka1710@rambler.ru
Belarusian State University, ISEU BSU, Minsk, Republic of Belarus

В работе представлены результаты исследований антагонистической активности бактерий рода *Bacillus* (*Bacillus subtilis*, *Bacillus thuringiensis*, *Bacillus mycoides* и *Bacillus cereus*) по отношению к некоторым пред-

ставителям условно-патогенной микрофлоры, в частности, *Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus aureus*, *Proteus mirabilis*, *Proteus vulgaris*, штаммам *Escherichia coli*. Было выявлено, что бактерии рода *Bacillus* проявляют антагонистическую активность разной степени выраженности. Установлено, что наибольшую антагонистическую активность в отношении *Proteus vulgaris*, *Pseudomonas aeruginosa* и некоторым штаммам *Escherichia coli* проявили штаммы бактерий *Bacillus subtilis*, *Bacillus cereus* и *Bacillus mycoides*. Наименьшей антагонистической активностью обладали бактерии *Bacillus thuringiensis*. Также выявлено, что совместное культивирование бактерий рода *Bacillus* и *Staphylococcus aureus* не приводило к подавлению роста последних. Антагонистическая активность бактерий *Bacillus mycoides* и *Bacillus cereus* по отношению к некоторым штаммам *Escherichia coli* проявлялась лишь на вторые сутки совместного культивирования.

This work presents the results of antagonistic activity of bacteria of the genus *Bacillus* (*Bacillus subtilis*, *Bacillus thuringiensis*, *Bacillus cereus*, *Bacillus mycoides*) against some representatives of opportunistic microflora, in particular, to *Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus aureus*, *Proteus mirabilis*, *Proteus vulgaris*, *Escherichia coli* strains. It has found, that bacteria of the genus *Bacillus* exhibit antagonistic activity of varying severity. It has been established, that the greatest antagonistic activity against *Proteus vulgaris*, *Pseudomonas aeruginosa* and some *Escherichia coli* strains have shown bacteria *Bacillus subtilis*, *Bacillus cereus* and *Bacillus mycoides*. The bacteria *Bacillus thuringiensis* had the lowest antagonistic activity. It was also revealed, that the joint cultivation of bacteria of the *Bacillus* genus and *Staphylococcus aureus* did not lead to the suppression of the growth of the latter. Antagonistic activity of bacteria *Bacillus mycoides* and *Bacillus cereus* against some *Escherichia coli* strains appeared only on the second day.

Ключевые слова: антагонистическая активность, бактерии рода *Bacillus*, условно-патогенная микрофлора, бактерицидное действие.

Keywords: antagonistic activity, bacteria of the genus *Bacillus*, conditionally pathogenic microflora, bactericidal activity.

В последнее время при разработке различных биологических препаратов, подавляющих рост патогенной и условно-патогенной микрофлоры, все чаще используют аэробные спорообразующие бактерии рода *Bacillus*, которые, как правило, безопасны для человека (исключение составляют *Bacillus anthracis* и *Bacillus cereus*), животных и растений, а также являются перспективными объектами для биотехнологического производства. Однако, в настоящее время «арсенал» биопрепаратов на основе продуктивных штаммов бацилл весьма ограничен. Поэтому актуальной задачей является поиск новых высокопродуктивных штаммов среди спорообразующих бактерий, высокоактивных антагонистов бактерий и грибов, что является весьма актуальным при создании новых биологических средств защиты.

Род *Bacillus* – это одна из наиболее перспективных коммерчески полезных групп микроорганизмов. Известно, что спорообразующие бактерии рода *Bacillus* являются продуцентами широкого спектра биологически активных веществ (БАВ): антибиотики, ферменты, регуляторы роста, токсины и другие соединения с антимикробными и ростостимулирующими свойствами [3]. Способность бацилл к синтезу веществ антибиотической природы – один из ключевых факторов, определяющих природу антагонизма. Также в последние годы активно исследуется комплекс литических ферментов бацилл, как один из факторов, участвующих в проявлении антагонизма [1]. Продукция БАВ обуславливает высокую бактерицидную и бактериостатическую активность в отношении патогенных грамположительных и грамотрицательных бактерий, а также фунгицидную (фунгистатическую) активность в отношении фитопатогенных грибов [5].

В ходе наших исследований был проведен анализ антагонистической активности бактерий рода *Bacillus* по отношению к некоторым представителям условно-патогенной микрофлоры, выделенных из естественной среды.

На начальных этапах исследования нами были выделены и идентифицированы штаммы бактерий-антагонистов и условно-патогенная микрофлора. Штаммы бактерий-антагонистов – *Bacillus subtilis*, *Bacillus cereus*, *Bacillus thuringiensis*, *Bacillus mycoides*, а также условно-патогенные бактерии *Pseudomonas aeruginosa* и *Staphylococcus aureus* – были выделены из почв сельскохозяйственных угодий и идентифицированы с использованием дифференциально-диагностических сред: среда Мосселя (M.Y.P. agar) *Cetrimide agar* и желточно-солевой агар. Штаммы бактерий *Proteus mirabilis*, *Proteus vulgaris*, *Escherichia coli* B, *Escherichia coli* XL-1Blue – были представлены НИЛ молекулярной генетики и биотехнологии кафедры генетики биологического факультета Белорусского государственного университета.

Антагонистическую активность штаммов спорообразующих бактерий исследовали методом агаровых блоков [3]. Антагонизм бактерий рода *Bacillus* определяли по зоне задержки роста (ЗЗР) условно-патогенных микроорганизмов при совместном культивировании бактерий в условиях оптимальных для роста тестовых культур. Если ЗЗР составляла 5–10 мм, то считали слабый уровень антагонистической активности, 10–20 – средний, больше 20 мм – высокий [2]. Учет зоны задержки роста проводили через 24 и 48 часов культивирования при температурах оптимальных для роста тестовых культур бактерий (32–37 °С).

Было выявлено, что практически все штаммы бактерий рода *Bacillus* проявляли антагонистическую активность по отношению к исследуемым представителям условно-патогенной микрофлоры. Результаты учитывались через 24 часа после совместного культивирования тестовых культур (табл. 1).

Была отмечена высокая антагонистическая активность бактерий *Bacillus subtilis* в отношении условно-патогенных микроорганизмов *Proteus vulgaris* (рис. 1), а бактерий *Bacillus mycoides* и *Bacillus cereus* по отношению к *Pseudomonas aeruginosa*.



Рисунок 1 – Антагонистическая активность бактерий *Bacillus thuringiensis* (1) и *Bacillus subtilis* (2) в отношении *Proteus vulgaris* (сплошной рост в чашке Петри) через 24 часа совместного культивирования

Таблица 1 – Антагонистическая активность бактерий рода *Bacillus* по отношению к некоторым представителям условно-патогенной микрофлоры через 24 часа совместного культивирования

Штаммы	Антагонистическая активность (зоны задержки роста, мм)					
	<i>Proteus mirabilis</i>	<i>Proteus vulgaris</i>	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	<i>Escherichia coli XL-1 Blue</i>	<i>Staphylococcus aureus</i>	<i>Escherichia coli B</i>
<i>Bacillus subtilis</i>	8,2±1,2	31,7±4,2	5,0±0,3	6,4±1,3	1,1±0,1	3,1±1,1
<i>Bacillus thuringiensis</i>	7,1±1,4	7,3±0,9	2,1±0,3	2,1±0,3	3,2±0,1	2,4±0,8
<i>Bacillus cereus</i>	–	4,7±0,3	32,4±0,4	2,5±0,2	2,4±0,3	–
<i>Bacillus mycoides</i>	–	–	29,1±10	–	1,1±0,1	–

Также анализировались результаты антагонистической активности штаммов спорообразующих бактерий через 48 часов совместного культивирования с условно-патогенными микроорганизмами. Было выявлено, что высокую антагонистическую активность проявили штаммы бактерий *Bacillus subtilis*, *Bacillus mycoides* и *Bacillus cereus* (табл. 2). Их высокий антагонизм выявлен в отношении *Pseudomonas aeruginosa* (рис. 2), *Escherichia coli B* (рис. 3) и *Proteus vulgaris*.



Рисунок 2 – Антагонистическая активность бактерий *Bacillus mycoides* (1) и *Bacillus cereus* (2) в отношении *Pseudomonas aeruginosa* (сплошной рост в чашке Петри) через 48 часов совместного культивирования



Рисунок 3 – Антагонистическая активность бактерий *Bacillus mycoides* (1) и *Bacillus cereus* (2) в отношении *Escherichia coli B* (сплошной рост в чашке Петри) через 48 часов совместного культивирования

Таблица 2 – Антагонистическая активность бактерий рода *Bacillus* по отношению к некоторым представителям условно-патогенной микрофлоры через 48 часов совместного культивирования

Штаммы	Антагонистическая активность (зоны задержки роста, мм)					
	<i>Proteus mirabilis</i>	<i>Proteus vulgaris</i>	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	<i>Escherichia coli XL-1 Blue</i>	<i>Staphylococcus aureus</i>	<i>Escherichia coli B</i>
<i>Bacillus subtilis</i>	8,4±0,2	32,3±1,9	5,7±0,2	6,8±0,3	1,3±0,2	3,4±0,2
<i>Bacillus thuringiensis</i>	7,8±0,8	7,8±0,3	2,7±0,1	2,8±0,2	3,4±0,1	2,5±0,1
<i>Bacillus cereus</i>	–	4,9±0,3	37,3±1,1	2,8±0,4	2,9±0,3	35,5±1,1
<i>Bacillus mycoides</i>	–	–	30,1±1,0	10,7±0,2	1,2±0,1	46,8±1,8

Штаммы спорообразующих бактерий *Bacillus thuringiensis* показали слабый уровень антагонистической активности в отношении всех исследуемых условно-патогенных микроорганизмов. Зона задержки роста составляет в среднем 2–10 мм в зависимости от тест-объекта. Также выявлено, что совместное культивирование бактерий рода *Bacillus* и *Staphylococcus aureus* не приводило к подавлению роста последних. Антагонистическая активность бактерий *Bacillus mycoides* и *Bacillus cereus* по отношению к некоторым штаммам *Escherichia coli* проявлялась лишь на вторые сутки совместного культивирования.

Различия в антагонистической активности штаммов спорообразующих бактерий по отношению к условно-патогенным микроорганизмам можно объяснить вариабельным составом пептидогликана бактериальной клетки, который является регулятором взаимоотношений в системе «прокариот – прокариот», регулятором внутривидового и межвидового антагонизма в условиях межмикробных взаимодействий [4], а также избирательностью действия продуктов метаболизма спорообразующих бактерий на чистые культуры условно-патогенных микроорганизмов.

Таким образом, в результате проведенного исследования был выявлен антагонистический потенциал природных штаммов бактерий рода *Bacillus*. Штаммы бактерий *Bacillus subtilis*, *Bacillus mycoides* и *Bacillus cereus*, проявили высокую антагонистическую активность по отношению к чистым культурам условно-патогенных микрофлоры, в частности, *Proteus vulgaris*, *Pseudomonas aeruginosa* и некоторым штаммам бактерий *Escherichia coli*. Это позволяет оценивать отобранные штаммы, как перспективные, при создании биологических препаратов. Таким образом, антагонистическая активность исследуемых спорообразующих бактерий оправдывает возможность расширения сферы практического использования бактерий рода *Bacillus*.

ЛИТЕРАТУРА

1. Авдеева, Л. В. Антагонистическая активность штаммов *Bacillus Amyloliquefaciens subsp. Plantarum* IMB В-7404 в БИМ В-439Д по отношению к фитопатогенным бактериям и микромицетам / Л. В. Авдеева [и др.] // Микробиол. журн., 2014. – Т. 76, – № 6. – С. 27–33.
2. Грабова, А. Ю. Скрининг штаммов бактерий рода *Bacillus* – активных антагонистов фитопатогенов бактериальной и грибной природы / А. Ю. Грабова [и др.] // Микробиол. журн. 2015. – № 6. – С. 47–54.
3. Кабрера Фуентес, Э. А. Скрининг микроорганизмов, способных к подавлению роста микромицетов рода *Fusarium* / Э. А. Кабрера Фуентес [и др.] // Учен. записки казанск. гос. универа. – Т. 152, кн. 2. – 2010. – С. 122–127.
4. Леляк, А. А. Антагонистический потенциал сибирских штаммов *Bacillus* spp. в отношении возбудителей болезней животных и растений / А. А. Леляк, М. В. Штерншис // Journal of Biology, 2014. – № 1. – С. 42–56.
5. Рой, А. А. Влияние бактерий рода *Bacillus* на возбудителя бактериального рака томатов / А. А. Рой [и др.] // Микробиол. журн., 2012. – Т. 74. – № 5. – С. 74–80.

**ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ АКТИВНОСТЬ БЕЛКОВ, УЧАСТВУЮЩИХ
В ТРАНСПОРТЕ КСЕНОБИОТИКОВ, В ЭРИТРОЦИТАХ ЧЕЛОВЕКА ПРИ
ДЕЙСТВИИ α -ТОКОФЕРОЛА И АСКОРБИНОВОЙ КИСЛОТЫ *IN VITRO***
**FUNCTIONAL ACTIVITY OF PROTEINS XENOBIOTIC TRANSPORTERS
AT THE ACTION OF α -TOCOPHEROL AND ASCORBIC ACID IN HUMAN
ERYTHROCYTES *IN VITRO***

Ю. С. Канааш, Ю. М. Гармаза, А. В. Тамашевский
J. Kanash, Y. Harmaza, A. Tamashevski

*Институт биофизики и клеточной инженерии Национальной академии наук Беларуси,
г. Минск, Республика Беларусь
jurakanash@rambler.ru
Institute of Biophysics and Cell Engineering of the National Academy of Sciences of Belarus,
Minsk, Republic of Belarus*

Показано снижение активности глутатион-S-трансферазы (GST) при воздействии α -токоферола на эритроциты человека *in vitro*. При 3 ч воздействии α -токоферола в отсутствие и присутствие аскорбиновой кислоты на эритроциты наблюдалась тенденция к снижению активности белков MRP1 и RLIP76, тогда как по остаточному удержанию кальцеина изменение активности MRP1 не было установлено. После 3 ч и 24 ч воздействия аскорбиновой кислоты на эритроциты активность MRP1 возрастала наряду с отсутствием влияния на функционирование RLIP76.

It was established decreasing of the glutathione-S-transferase (GST) activity after exposure of α -tocopherol on human erythrocytes *in vitro*. After 3 hours of exposure of α -T in the absence and presence of ascorbic acid on erythrocytes, the activity of MRP1 and RLIP76 proteins was tendentially decreased, while the retention of calcein did not show any changes in MRP1 activity. After 3 and 24 hours of exposure of ascorbic acid on erythrocytes MRP1 activity was increased at the same time functioning of RLIP76 didn't change.

Ключевые слова: α -токоферол, аскорбиновая кислота, кальцеин, функционирование белков-транспортёров семейства MRP, RLIP76, глутатион-S-трансфераза, АФК, редокс-статус клетки.

Keywords: α -tocopherol, ascorbic acid, calcein, functioning of the protein transporters of the MRP family, RLIP76, glutathione-S-transferase, viability, reactive oxygen species, cell redox status.

Мембрана эритроцитов человека снабжена системой активного транспорта конъюгатов глутатиона с различными эндо- и экзогенными соединениями, играющей важную роль в детоксикации ксенобиотиков, в частности, при развитии окислительного стресса [1]. На культуре опухолевых клеток было установлено, что АТФ-зависимый транспорт глутатион-S-конъюгатов в клетках млекопитающих ассоциирован с интегральным белком множественной лекарственной устойчивости 1 (MRP1, Multidrug Resistant Protein 1) [1; 2]. Кроме MRP1 в эритроцитах присутствуют и два других белка данного семейства: MRP4 и MRP5 [1-2]. Наряду с мембранными белками в механизме множественной лекарственной устойчивости принимают участие ряд внутриклеточных ферментов, среди которых глутатион-S-трансфераза (GST), в эритроцитах человека – GST класса P / π [3]. Одним из звеньев между биохимическими путями глутатион-опосредованного метаболизма ксенобиотиков и АТФ-зависимого экспорта конъюгатов глутатиона из клетки является динитрофенил-S-глутатион АТФаза (DNP-SG АТФаза), известная также как RLIP76 (где 76 кДа молекулярная масса белка), экспрессированного в различных тканях и органах, в том числе и в эритроцитах человека, данный белок не относится к семейству ABC транспортёров [2; 4]. Локализация RLIP76 и характер связей определяет его активное участие в процессах клеточной сигнализации и мембранной регуляции при воздействии различных стрессовых факторов [4], но механизмы детоксикации клеток посредством данного белка детально не исследованы.

Существуют данные об успешном использовании антиоксидантов в терапии опухолевых заболеваний. Универсальными протекторами мембран клеток от окислительного повреждения являются токоферолы, а их локализация в мембране защищает последние от перекисной деструкции. Токоферолы предохраняют от окисления SH-группы мембранных белков, их окисленная форма реагирует с аскорбатом и восстанавливается [5]. В ряде эпидемиологических исследований [6–8], сообщалось, что потребление полифенолов растений или аскорбиновой кислоты (АК) и α -токоферола (α -Т) приводило к снижению риска развития онкологических заболеваний и уменьшению смертности от ишемической болезни сердца [7], но проблема регуляции системы выведения из клетки токсических соединений до сих пор не решена.

Цель работы – проведение сравнительного анализа активности глутатион-S-трансферазы и транспортной функции белков-транспортеров семейства MRP и RLIP76 при сочетанном воздействии α -Т и аскорбиновой кислоты на эритроциты человека *in vitro*.

В работе использована кровь здоровых доноров. Эритроциты отделяли от плазмы путем центрифугирования крови при 2000 g в течение 10 мин и трижды отмывали в 155 mM NaCl. Затем клетки инкубировали в буфере А: 138 mM NaCl; 5 mM KCl; 1 mM MgCl₂; 6,4 mM Na₂HPO₄; 1 mM NaH₂PO₄; 5,6 mM глюкозы pH 7,4, содержащем α -Т в концентрации 10–1000 мкМ в течение 1, 3 и 24 ч при 37°C в присутствии или отсутствии аскорбиновой кислоты в концентрации 1 мМ в качестве восстановителя.

Концентрацию α -Т в эритроцитах до и после их нагрузки антиоксидантами *in vitro* определяли методом высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ) [7]. Концентрацию восстановленного глутатиона (GSH) определяли спектрофотометрически по методу Элмана. Количество свободнорадикальных соединений оценивали с помощью хлорометил-2',7'-дихлородигидрофлуоресцеин диацетата (CM-H₂DCF-DA) по методу [9].

Транспортную активность исследуемых белков-транспортеров семейства MRP и RLIP76 оценивали тремя различными методами:

1. Спектрофотометрически по степени выхода конъюгатов глутатиона с 1-хлор-2,4-динитробензолом (DNP-SG-конъюгатов) при 340 нм, нормируя на соответствующие значения величин поглощения гемоглобина при 540 нм [2]. Данный метод позволяет судить о функциональной активности RLIP76 и MRP1.

2. Флуориметрически, посредством монохлорбимана: по кинетике транспорта конъюгатов биман-S-глутатион (B-SG). Флуоресценцию супернатантов измеряли при $\lambda_{\text{возб.}}/\lambda_{\text{пер.}} = 386/476$ нм согласно [2], по которой оценивали функциональную активность MRP1 и MRP4.

3. Посредством проточной цитофлуориметрии по остаточному удержанию кальцеина в клетках оценивали функциональную активность MRP1 и цитозольную эстеразную активность (показатель жизнеспособности) эритроцитов [5].

ВЭЖХ проводили на хроматографе LC-20 Prominence (Shimadzu, Япония). Фотометрические исследования были выполнены на спектрофотометре Specord M-40 (Германия); флуоресцентные – на спектрофлуориметре «СМ2203» (Солар, Беларусь) и на проточном цитофлуориметре FACScan (Becton Dickenson, США) в FL-1H канале.

Различия между группами оценивали с помощью непараметрических критериев Вилкоксона и Манна-Уитни, связи между величинами определяли путём нахождения коэффициента корреляции Спирмена в программе Statistica v.6.0. В работе представлены значения средних \pm стандартных отклонений 5–8 независимых экспериментов. Результаты считали статистически значимыми при $p < 0,05$.

На первом этапе исследований мы изучили накопление α -Т в эритроцитах человека после 1 ч инкубации их в среде, содержащей данный антиоксидант в концентрации 10, 100 и 1000 мкМ. Известно, что содержание аскорбата в эритроцитах, по данным [7] находится в пределах 30–40 мкМ, в то время как концентрация α -Т в интактных клетках составляла ~2 мкМ. При инкубации эритроцитов с α -Т его внутриклеточная концентрация в отсутствие АК возрастала до 5–6 мкМ, а в присутствии последнего превышала физиологическое значение в 70 раз.

Достоверных отличий величин интенсивности флуоресценции кальцеина (жизнеспособности) эритроцитов, подвергшихся воздействию α -Т, по сравнению с интактными клетками не было выявлено, что позволило сделать вывод о сохранении жизнеспособности эритроцитов при воздействии α -Т в течение 1 ч. При увеличении времени воздействия антиоксидантов на эритроциты до 24 ч уровень гемоглобина (Hb) в супернатантах при действии 0,5 и 1 мМ α -Т значимо возрастал, что свидетельствовало о частичном гемолизе эритроцитов. Однако, по данным проточной цитометрии, α -Т не оказывал значимого влияния на жизнеспособность клеток, а интенсивность флуоресценции кальцеина при действии АК в концентрации 1 мМ снижалась на 20 %.

На следующем этапе работы нами были построены зависимости внеклеточного pH при различных концентрациях АК в диапазоне от 0,1 до 1 мМ. Так при 3 ч инкубации АК в буфере А его pH изменялось в диапазоне 7,3–6,4 (для 0,5 и 1 мМ АК pH составляло 7,15 и 7,0), тогда как 24 ч инкубация аскорбата в буфере А приводила к изменению pH в диапазоне 7,2–6,3 (для 0,5 и 1 мМ аскорбата pH составляло 7,1 и 6,9).

Поскольку известно, что накопление активных форм кислорода (АФК) в клетках крови человека приводит к изменению активности белков-транспортеров, то далее мы оценили цитозольное содержание GSH в эритроцитах после их экспозиции с исследуемыми антиоксидантами (3 ч, 37 °С), который наряду с уровнем АТФ имеет важное значение для функционирования белков семейства MRP в клетках, достоверно не изменялось. Увеличение времени инкубации до 24 ч привело к тому, что, концентрация GSH после воздействия АК и α -Т в отдельности не изменялась, тогда как при сочетанном действии обоих антиоксидантов наблюдалась тенденция к увеличению уровня GSH в интактных клетках на 20 %.

Далее мы оценили уровень АФК при действии антиоксидантов. При экспонировании клеток с АК в течение 3 ч интенсивность флуоресценции DCF увеличивалась на 25–35 %, после 24 ч воздействия данный параметр возрастал более чем на 50 %, что отчасти могло быть связано со снижением pH и образованием супероксида при действии АК. Иначе говоря, при растворении аскорбиновой кислоты в инкубационной среде, происходит его окисление с образованием O₂⁻, который при снижении pH с 7,4 до 7,0 переходит в протонированную форму и ускоряет окисление H₂DCF. Наиболее вероятной причиной окислительного стресса при значениях pH ~6,0 представляется снижение активности антиоксидантных ферментов и освобождение железа из белков (например, гемоглобина). При воздействии α -токоферола на клетки в течение 3 ч и 24 ч уровень АФК снижался на 10–20 %. Сочетанное

действие аскорбиновой кислоты и α -токоферола приводило к снижению интенсивности флуоресценции DCF по отношению к интактным клеткам, говоря иначе – к снижению содержания АФК в среднем на 20–35 % как при краткосрочном, так и при долгосрочном воздействии.

Оценка активности белков-транспортёров семейства MRP и RLIP76 показала, что наблюдалась тенденция к снижению выхода DNP-SG конъюгатов из эритроцитов в среднем на 10–20 % при действии α -Т в концентрациях 0,1 и 1 мМ в течение 1 ч, однако, при дополнительном введении АК в среду инкубации эффект α -Т отсутствовал. После 24 ч экспозиции эритроцитов со 100 мкМ α -Т и 500 мкМ АК активность MRP1 и RLIP76 не изменялась. После обработки клеток α -Т в течение 1 ч достоверных отличий в транспортной активности MRP1 и MRP4 по сравнению с интактными клетками не было обнаружено, при сочетанном воздействии антиоксидантов наблюдалась тенденция к снижению экспорта биман-SG конъюгатов при действии 0,1 и 1 мМ α -Т. Активность GST при действии АК не изменялась, в то время как α -Т дозозависимо на 10–35 % снижал активность фермента. Значимая взаимосвязь между активностью GST и транспортом DNP-SG / биман-SG конъюгатов в эритроцитах отсутствовала.

С помощью флуоресцентного красителя кальцеина обнаружена тенденция к усилению активности MRP1 при действии как отдельно с 0,01-1 мМ α -Т, так и в сочетании с АК. Аскорбиновая кислота, взятая отдельно в концентрациях 0,1 и 1 мМ приводила к увеличению активности MRP1 на 20-40 %. После 24 ч экспозиции клеток с 0,1 мМ α -Т интенсивность флуоресценции кальцеина не изменялась по сравнению с интактными клетками, тогда как при действии 0,5 мМ АК - снижалась в среднем на 20 %, что свидетельствовало об активации MRP1 транспортёра. Данные результаты в совокупности с результатами, полученными в работе [10], дают возможность предположить, что α -Т практически не влияет на активность MRP1, а полученный эффект вызван, вероятнее всего, именно действием АК на данный транспортер. Результаты текущего исследования подтверждают полученные ранее нами данные, в которых было показано, что АК активирует MRP1 белок в эритроцитах человека [10]. Таким образом, при изменении баланса «антиоксиданты-прооксиданты» в пользу первых происходит активация MRP1, и наблюдается возможное снижение активности MRP4 и RLIP76 – транспортных белков, участвующих в поддержании окислительного гомеостаза в эритроцитах человека, указывая на то, что динамические процессы детоксикации происходящие в эритроцитах, направлены на поддержание гомеостаза клеток крови и сохранения целостности как органов и тканей, так и всего организма человека.

Таким образом, можно сделать следующие выводы:

1. Краткосрочная экспозиция с антиоксидантами не изменяла жизнеспособность клеток, а долгосрочное воздействие аскорбата приводило к снижению их жизнеспособности, в то время как α -токоферол в максимальных концентрациях приводил к гемолизу части эритроцитов. Уровень GSH в эритроцитах как при 3 ч, так и при 24 ч воздействии аскорбиновой кислоты и α -токоферола не изменялся.

В то же время уровень АФК увеличивался как при краткосрочном, так и долгосрочном воздействии аскорбиновой кислоты, что отчасти было связано со снижением внутриклеточного pH. Тогда как при действии α -токоферола на клетки в течение 3 ч и 24 ч уровень АФК напротив снижался. Сочетанное действие АК и α -токоферола на эритроциты приводило к ещё большему снижению содержания АФК как при 3 ч, так и при 24 ч воздействии.

Выявлена слабая обратная зависимость между концентрацией GSH и уровнем АФК при 3 ч и 24 ч воздействии аскорбиновой к-ты; при сочетанном действии антиоксидантов на эритроциты взаимосвязь была более выраженной. Таким образом, тенденция к снижению концентрации GSH приводит к росту *уровня АФК при действии аскорбиновой кислоты в эритроцитах человека in vitro*. Также, можно сделать вывод о прооксидантном характере 1мМ аскорбиновой кислоты и 0,5/1мМ α -токоферола при долгосрочном воздействии *in vitro*.

2. Показано, что выход конъюгатов глутатиона с CDNB и B-SG при 1 ч воздействии α -токоферола не изменялся как в отсутствие, так и в присутствии аскорбиновой кислоты, также и при 24 ч воздействии антиоксиданты не оказывали влияния на функциональную активность белков-транспортёров MRP1, 4 и RLIP76. С одной стороны, это могло быть связано с разнонаправленным действием α -токоферола на белки MRP1 и MRP4, а с другой было обусловлено снижением активности эритроцитарной GST при действии α -токоферола. Функциональная активность MRP1 белка при 1 ч воздействии α -токоферола не изменялась в обоих случаях, также и после 24 ч воздействия α -токоферола и аскорбиновой кислоты на эритроциты человека, тогда как аскорбиновая кислота снижала остаточное удержание кальцеина в эритроцитах, приводя к увеличению активности белка MRP1. Данные результаты дают возможность предположить, что α -токоферол не влияет, а аскорбиновая кислота увеличивает активность MRP1 транспортера. Применение рассмотренных антиоксидантов α -токоферола и аскорбиновой кислоты в микромолярных концентрациях, превышающих физиологически регистрируемый уровень в несколько десятков раз, не приводит к значимым изменениям клеточного гомеостаза.

ЛИТЕРАТУРА

1. Wu, C. P. Modulatory effects of plant phenols on human multidrug-resistance proteins 1, 4 and 5 (ABCC1, 4 and 5) / C.P. Wu [et al.] // FEBS J. – 2005. – Vol. 272. – № 18. – P. 4725–4740.
2. cGMP and glutathione-conjugate transport in human erythrocytes / A. Klokouzas [et al.] // Eur. J. Biochem. – 2003. – Vol. 270. – P. 3696–3708.
3. Vasieva, O. The many faces of glutathione transferase pi / O. Vasieva [et al.] // Curr. Mol. Med. – 2011. – Vol. 11, № 2. – P. 129–139.

4. RLIP76 is the major ATP-dependent transporter of glutathione-conjugates and doxorubicin in human erythrocytes / R. Sharma [et al.] // Arch. Biochem. Biophys. – 2001. – Vol. 391, № 2. – P. 171–179.
5. Active caspases-8 and -3 in circulating human erythrocytes purified on immobilized annexin-V: a cytometric demonstration / D. Bratosin [et al.] // Cytometry A. – 2009. – Vol. 75, № 3 – P. 236–244.
6. Cardenas, E. Vitamin E: a dark horse at the crossroad of cancer management / E. Cardenas, R. Ghosh // Biochem. Pharmacol. 2013. – Vol. 86, № 7. – P. 845–852.
7. Halliwell, B. Health promotion by flavonoids, tocopherols, tocotrienols, and other phenols: direct or indirect effects? Antioxidant or not? / B. Halliwell, J. Rafter, A. Jenner // Am. J. Clin. Nutr. – 2005. – Vol. 81. – P. 268S–276S.
8. Comparison of the effect of phenol and its derivatives on protein and free radical formation in human erythrocytes (*in vitro*) / B. Bukowska [et al.] // Blood Cell Mol Dis. – 2007. – Vol. 39, № 3 – P. 238–244.
9. Procházková, J. ABC transporters affect the detection of intracellular oxidants by fluorescent probes / J. Procházková [et al.] // Free Radic Res. – 2011. – Vol. 45, № 7. – P. 779–787.
10. Канаши, Ю. С. Влияние низкомолекулярных антиоксидантов на структурно-функциональное состояние динитрофенил-s-глутатион АТФазы в эритроцитах человека / Ю. С. Канаши, А. В. Тамашевский, Н. В. Гончарова // Сборник статей X международного съезда белорусского общественного объединения фотобиологов и биофизиков – 2012. – Ч. 1. – С. 36–38.

ОПТИМИЗАЦИЯ МЕТОДОВ СИНТЕЗА И ВЫДЕЛЕНИЯ ПРОТИВООПУХОЛЕВОГО СОЕДИНЕНИЯ ФЛУДАРАБИНФОСФАТА

OPTIMIZATION OF METHODS FOR SYNTHESIS AND ISOLATION OF ANTICANCER COMPOUND FLUDARABINEPHOSPHATE

Е. И. Квасюк, И. Г. Гриб, О. В. Колядко
E. Kvasyuk, I. Grib, O. Kolyadko

*Белорусский государственный университет, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ,
г. Минск, Республика Беларусь
ekvasyuk@inbox.ru
Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus*

Флударабинфосфат является одним из эффективных препаратов, используемых в современной медицинской практике для лечения ряда онкологических заболеваний крови. Для создания лекарственной формы препарата требуется фармацевтическая субстанция с высокой степенью чистоты активного соединения. Очистка флударабинфосфата с помощью традиционных подходов, используемых в органической химии, не приводит к положительным результатам. В этой связи разработка оптимальных условий синтеза и выделения препарата, которым посвящено данное исследование, представляет актуальную задачу.

Fludarabinephosphate is one of the effective compounds used in medicine for the treatment of leukemia. Preparation of drug on the base of fludarabinephosphate needs very pure substance. Purification of synthesized compound by using of traditional approaches which used in organic chemistry is unsuccessful. That is why optimization of methods for synthesis and isolation fludarabinephosphate with high purity is the main aim of this actual research.

Ключевые слова: флударабинфосфат, противоопухолевая активность, синтез, выделение, оптимизация условий получения.

Keywords: fludarabiphosphate, anticancer activity, synthesis, isolation, optimization of conditions for preparation.

Флударабинфосфат представляет собой бимодифицированный пуриновый нуклеотид, являющийся антимабололитом природного соединения аденозин-5'-монофосфата (АМР). В гетероциклической части, в положении С-2 вместо атома водорода присутствует атом фтора, а углеводный фрагмент представлен D-арабинофуранозой вместо D-рибозы. Полное химическое название соединения – (9-β-D-арабинофуранозил)-2-фтораденин-5'-монофосфат (FaraAMP). Коммерческий препарат на его основе под названием «Флудара» в настоящее время широко используется в терапии ряда онкогематологических заболеваний. Предпосылкой к созданию флударабинфосфата послужила высокая биологическая активность его аналога, не содержащего атома фтора – арабинофуранозиладенин (араА). Однако тот оказался неустойчивым к действию аденозиндезаминазы, превращающей араА в не обладающий активностью арабинозид гипоксантина. Для ингибирования дезаминазы приходилось использовать её ингибитор – дезоксикоформин, что, наряду с недостаточной растворимостью араА и его высокой токсичностью, не способствовали широкому применению этого соединения в медицинской практике. Введение

атома фтора в положение С-2 гетерооснования привело к (9-β-D-арабинофуранозил)-2-фтораденину (FaraA), который оказался устойчив к действию дезаминазы, обладал высокой биологической активностью, но также как и агаА плохо растворялся в воде. Для повышения растворимости соединения FaraA был селективно профосфорилирован по положению С-5' арабинофуранозного фрагмента, что и привело к созданию флударабинфосфата, который и используется в качестве активной субстанции в производстве «Флудары», а также лиофилизованной субстанции для инъекционной формы препарата. В клетках под действием специфичных нуклеотидкиназ флударабинфосфат превращается в 5'-трифосфат (FaraATP), являющийся его активным метаболитом. Образовавшийся трифосфат, обладает широким спектром биологической активности [1]. Так FaraATP замедляет синтез ДНК не только посредством внедрения в неё вместо природного метаболита – аденозинтрифосфата (АТР), но также путём ингибирования ДНК-полимеразы. Одновременно с этим FaraATP действует на РНК-полимеразу, что приводит к ингибированию синтеза белка в опухолевых клетках. В экспериментах *in vitro* показано, что он активирует апоптоз не только в растущих, но и покоящихся лимфоцитах больных хроническим лейкозом. Наиболее выраженной активностью FaraATP обладает в отношении лейкозных клеток. Эта избирательность терапевтического эффекта соединения связана, предположительно, как с селективностью его транспорта в лейкозные клетки, так и его более медленным выходом из них в сравнении с гемопоэтическими клетками [2]. На основании этих данных можно считать, что определенную роль в биологическую активность соединения вносят, как модифицированное гетероциклическое основание, так и углеводный фрагмент. Данное предположение подтверждается тем, что и нуклеозид FaraA обладает аналогичным профилем биологической активности, однако, из-за своей недостаточной растворимости не нашёл практического применения.

Синтез флударабинфосфата представляет собой комплексную проблему, решаемую в настоящее время с использованием химических и микробиологических трансформаций [3]. Исходное гетероциклическое основание 2-Ф-аденин (FAde) получают химическим синтезом. Нуклеозид – FaraA, как правило, синтезируют микробиологическим трансгликозилированием FAde, которое осуществляется с помощью нуклеозидфосфорилаз и с использованием урациларабинозида в качестве донора арабинофуранозного фрагмента [3]. Последующее селективное фосфорилирование FaraA, осуществляемое широко используемым химическим [4] или микробиологическим способом [5], приводит к флударабинфосфату. Необходимо отметить, что высокая эффективность FaraAMP как лекарственного средства послужила основанием для трансформации чисто научных интересов в этой области в сферу коммерческих, что выразилось в появлении большого количества патентов, защищающих авторские права на способ получения флударабинфосфата и/или лекарственных форм на его основе. Наибольшее число патентов касается описания многочисленных вариантов стадии химического фосфорилирования флударабина. Многостадийность процесса получения флударабинфосфата, в целом, приводит к тому, что конечный продукт оказывается загрязнён множественными примесями (идентифицировано 9 соединений), количество которых строго регламентируется фармакопейной статьёй на препарат. Традиционный способ очистки химических соединений с помощью перекристаллизации в случае с FaraAMP не приводит к избавлению от сопутствующих примесей. Более того, нагревание осадка при его перекристаллизации приводит к нарастанию содержания соединения, в котором атома фтора замещён на гидроксильную группу. В этой связи цель нашего исследования заключалась в оптимизации метода синтеза и выделения флударабинфосфата, позволяющих выделять конечный продукт с чистотой, требуемой для фармакопейной субстанции.

В ходе работы использовались сухие и перегнанные растворители. Контроль за протеканием реакции и содержанием флударабинфосфата во фракциях проводился с помощью тонкослойной хроматографии на пластинках «Kieselgel 60 F₂₅₄» фирмы «Merck» (Германия) в системе растворителей: изопропанол / 25 %-ный водный аммиак / вода (7:2:2 об/об/об). Визуализация соединений на пластинках осуществлялась их просмотром в ультрафиолетовом свете. Выделение флударабинфосфата осуществляли методом колоночной хроматографии на ионообменных смолах Дауэкс50Wx8 и Дауэкс50Wx4 (H⁺-форма, 200–400 меш). В качестве элюента использовалась дистиллированная вода. Спектр ¹H-ЯМР записан для растворов соединения дейтеродиметилсульфоксиде на приборе Bruker Avance 500 с рабочей частотой 500 и 125 МГц, соответственно. Химические сдвиги приведены в δ-шкале по отношению к сигналу тетраметилсилана в качестве внутреннего стандарта. Сигналы остаточных протонов DMSO-d₆ наблюдались при 2,50 м.д. Для описания типа наблюдаемых в спектрах сигналов применялись следующие сокращения: с = синглет, ус = уширенный синглет, д = дублет, дд = дублет дублетов, м = мультиплет. УФ-спектр записан на спектрофотометре Shimadzu UV-1650 PC UV-visible для раствора соединения в воде.

Пример 1. Получение флударабинфосфата в оптимальных условиях его синтеза и выделения.

К охлаждённой до 0–4 °С смеси триметилфосфата (20 мл) и хлорокси фосфора (5.36 г, 35.0 ммоль, 3.26 мл) добавляют флударабин **1** (5 г, 17.5 ммоль), перемешивают реакционную смесь 3 часа, затем медленно выливают на 60 г колотого льда и добавляют при перемешивании 10М раствор гидроксида натрия до pH 7–8. Полученный раствор концентрируют в вакууме при температуре ≤30 °С до 40–50 мл с помощью ротационного испарителя и наносят на термостатированную при 30 °С хроматографическую колонку (3.5×25 см), заполненную катионообменной смолой Дауэкс 50Wx8 (200–400 меш) в H⁺-форме. Колонку элюируют нагретой до 30 °С водой со скоростью 3–4 мл в минуту, и собирают фракции объемом 15–20 мл. Контроль над содержанием флударабинфосфата во фракциях осуществляют с помощью тонкослойной хроматографии. Фракции, содержащие кристаллизующийся при стоянии продукт, хроматографической подвижности которого совпадает с таковой для заведомого образца флударабинфосфата, объединяют (суммарный объем 580 мл), упаривают на ротационном испарителе в вакууме

при температуре ≤ 30 °С до трети первоначального объёма и оставляют раствор при температуре 2–5 °С (бытовой холодильником) на 16 часов. Выпавший осадок целевого продукта отфильтровывают, промывают на фильтре ледяной водой, спиртом и сушат сначала на воздухе при комнатной температуре, затем в вакууме при 60 °С до постоянного веса. Получают 4,5 г (70 % выход) флударабинфосфата **4** с чистотой 99,85 %, определенной методом ВЭЖХ. Т. пл. для FaraAMP 201–203 °С. УФ-спектр, (H₂O), $\lambda_{\text{макс}}$ нм (ϵ): 261 (13600); 268 (10600). ¹H-ЯМР-спектр, (DMSO-d₆): 3.94 (м, 1H, H-4'), 4.06–4.09 (м, 3H, H-3', H-5', H-5''), 4.14 (дд, 1H, H-2'), 5.73 (ус, 2H, OH-2', OH-3'), 6.14 (д, 1H, H-1'), 7.76 и 7.86 (2 ус, по 1H от NH₂), 8.13 (с, 1H, H-8).

Пример 2. Условия примера соответствуют описанным в примере 1 за исключением того, что для выделения флударабинфосфата используют ионообменную смолу Дауэкс 50Wx4 (200–400 меш) в H⁺-форме. Получают 3,60 г (56 % выход) FaraAMP с чистотой 99,71 %.

Пример 3. Условия примера соответствуют описанным в примере 1 за исключением того, что при хроматографическом выделении флударабинфосфата колонку с ионообменной смолой Дауэкс 50Wx8 (200–400 меш) в H⁺-форме элюируют водой при температуре 18–20 °С. Получают 3,80 г (60 % выход) FaraAMP с чистотой 99,75 %.

Синтез флударабинфосфата осуществлялся взаимодействием флударабина **1** с хлорокисью фосфора в триметилфосфате при температуре 0–4 °С по известной методике [4], адаптированной нами к конкретному соединению (рис. 1).

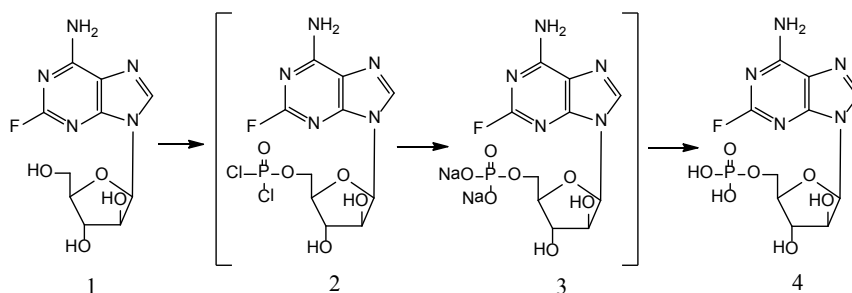


Рисунок 1 – Схема синтеза флударабинфосфата

По окончании реакции реакционная смесь, содержащая первоначально образующийся фосфордихлоридат **2** выливалась на колотый лёд и сразу же нейтрализовалась добавлением 10 М раствора натрия гидроксида до рН 7–8, что приводило к натриевой соли флударабинфосфата **3**. Перевод натриевой соли **3** в флударабинфосфат **4** проводился с помощью катионообменных смол Дауэкс 50 в H⁺-форме. Флударабинфосфат **4** в кристаллическом виде выделялся, как описано в примере 1. Выход флударабинфосфата в зависимости от условий проведения эксперимента составлял 56–70 %, чистота продукта по данным высокоэффективной хроматографии достигала 99,71–99,85 %. Структура соединения подтверждена данными УФ- и ¹H-ЯМР-спектроскопии и сравнением с известным образцом.

В ходе выполнения экспериментов было замечено, что выход продукта реакции и степень его чистоты зависят как от соотношения реагентов, так и от времени протекания реакции. Увеличение концентрации фосфорилирующего агента и/или увеличение времени реакции приводили к снижению выхода продукта и увеличению в реакционной смеси полифосфорилированных производных FaraA. Уменьшение времени реакции приводило к снижению степени конверсии исходного нуклеозида и выхода флударабинфосфата. Оптимальным молярным соотношением флударабин/оксихлорид фосфора оказалось двукратное количество последнего, а время реакции 3 часа. Контроль за ходом реакции с помощью тонкослойной хроматографии показал, что при использовании этих условий в реакционной смеси, наряду с полифосфатами, наблюдались следы исходного соединения. Увеличение содержания полифосфатов в смеси влияло как на выход, так и на степень чистоты конечного продукта, так как в условиях последующей хроматографии зона их выхода с колонки существенно перекрывалась с зоной флударабинфосфата. В то же время исходный флударабин в тех количествах, в которых он оставался в реакционной смеси, хорошо отделялся от продукта реакции. Основной примесью, которая практически не отделялась от продукта реакции в ходе хроматографии и последующей кристаллизации продукта, являлся монофосфат, содержащий в пуриновом основании гидроксильную группу вместо атома фтора. Атом фтора в молекуле FaraAMФ легко гидролизует, как в щелочных, так и кислых условиях. В этой связи для уменьшения времени контакта FaraAMФ с агрессивной средой во время обработки реакционной смеси вместо воды был использован лёд, а гидролиз фосфордихлоридата **2**, образующегося при фосфорилировании в качестве промежуточного продукта, проводился в присутствии раствора натрия гидроксида и пониженной температуре, что уменьшало степень замещения атома фтора на гидроксильную группу.

Для выделения флударабинфосфата были использованы катионообменные смолы Дауэкс50Wx4 и Дауэкс50Wx8 (H⁺-форма, 200–400 меш). Смолы отличались различной (4–8 %) степенью сшивки (а, следовательно, размером пор) полимерной матрицы на основе стирола и дивинилбензола. Выбор размера зёрен смолы (200–400 меш) обусловлен необходимостью обеспечения требуемой скорости элюирования колонки, так как при замедлении скорости протекания растворителя через хроматографическую колонку наблюдалась кристаллизация флударабинфосфата непосредственно в ней, что приводило к потере продукта. Выбранный размер зёрен ионообменной

смолы обеспечил также достаточно высокую разрешающую способность при хроматографическом отделении продукта от примесей, а также высокую концентрацию FaraAMP в элюате, что способствовало кристаллизации продукта непосредственно в собираемых фракциях. Одним из важнейших условий выделения флударабинфосфата с использованием ионообменной смолы является состав смеси, наносимой на хроматографическую колонку. Попытки удалить из неё триметилфосфат с помощью экстрагирования органическими растворителями (диэтиловый эфир, хлороформ) приводили к образованию студнеобразной консистенции оставшегося водного раствора, не пригодного для дальнейшей работы. Присутствие триметилфосфата в разделяемой смеси способствовало повышению растворимости продуктов реакции и предотвращало их кристаллизацию непосредственно на ионообменной смоле. Сам триметилфосфат элюировался из колонки вместе с неорганическими кислотами и полифосфатами сразу же после выхода мёртвого объема растворителя. Повышение температуры элюента от комнатной до 30°C ускоряло время выхода FaraAMP из колонки и повышало его концентрацию в элюате, что способствовало лучшей кристаллизации флударабинфосфата. Дальнейшее повышение температуры элюата приводило к нарастанию примеси в виде продукта гидролиза флударабинфосфата. Снижение температуры элюата до 18 °C увеличивало объём элюата, снижало в нём концентрацию продукта и выход кристаллического вещества. При этом часто наблюдалась кристаллизация продукта реакции непосредственно в хроматографической колонке.

В ходе выполнения исследования был оптимизирован метод синтеза флударабинфосфата, осуществляемый взаимодействием флударабина с хлорокисью фосфора в триметилфосфате, и метод его выделения с помощью ионообменных смол Дауэкс 50. Показано, что использование ионообменной смолы Дауэкс50Wx50 (H⁺-форма, 200–400 меш) и дистиллированной воды с температурой 30 °C в качестве элюента являются оптимальными условиями, позволяющими выделять FaraAMP в кристаллическом виде с выходом 70 % и чистотой 99,85 %. Структура флударабинфосфата доказана с помощью УФ- и ¹H-ЯМР-спектроскопии и сравнением с заведомым образцом соединения.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Morabito, F.* Expression of CD10 by B-chronic lymphocyte leukemia cells undergoing apoptosis in vivo and in vitro / F. Morabito et al. // *Haematologica*. 2003. – V. 88. – № 8. – P. 864–873.
2. *Johnson, S. A.* Therapeutic potential of purine analogues combinations in the treatment of lymphoid malignancies / S.A. Johnson, W. Thomas // *Hematol. Oncol*. 2000. – V. 18. – P. 141–153.
3. *Михайлопуло, И. А.* Современные тенденции в биотехнологии нуклеозидов / И. А. Михайлопуло, А. И. Мирошников // *Acta Naturae*. 2010. – Т. 2. – № 2 (5). – С. 38–61.
4. *Yoshikawa, M.* Studies of phosphorylation. III. Selective phosphorylation of unprotected nucleosides / M. Yoshikawa, T. Kato, T. Takenishi // *Bull. Chem. Soc. Jpn.* 1969. – V. 42. – № 12. – P. 3505–3508.
5. *Береснев, А. И.* Синтез флударабин-5'-монофосфата с использованием бактериальных рекомбинантных ферментов / А. И. Береснев и др. // *Весті Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя біялагічных навук*. – 2017. – № 1. – С. 7–15.

АНТИОКСИДАНТНАЯ АКТИВНОСТЬ ЭКСТРАКТОВ КОРЫ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ СИРЕНИ (SYRINGA) ANTIOXIDANT ACTIVITY EXTRACTS OF THE CRUST OF DIFFERENT TYPES OF LILAC (SYRINGA)

Е. С. Кравченя¹, Е. И. Тарун¹, В. П. Курченко²

E. Kravchenya¹, E. Tarun¹, V. Kurchenko²

¹Белорусский государственный университет, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ,
г. Минск, Республика Беларусь

²Белорусский государственный университет, г. Минск, Республика Беларусь
ktarun@tut.by

¹Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus

²Belarusian State University, Minsk, Republic of Belarus

Проведено сравнительное изучение антиоксидантной активности экстрактов коры разных видов сирени. Получены зависимости интенсивности флуоресценции флуоресцеина от логарифма концентрации экстрактов коры сирени, из которых графически определены показатели IC₅₀, которые составляли 0,001–3,39·10⁻⁴ %. Образцы экстрактов коры сирени показали высокую антиоксидантную активность. Они восстанавливали флуоресценцию флуоресцеина до 88–100 % при концентрации образцов 0,1–1 %. Методом ВЭЖХ определено содержание ряда фенолпропаноидных соединений, содержащихся в экстракте коры сирени, таких как сирингин, гидрокситирозилгексозид, пинорезинолглюкозид, оливилглюкозид, олеуроцепин и лигстрозид.

The comparative study of the antioxidant activity of extracts of the crust of different types of lilac was made. The dependence of the fluorescence intensity of fluorescein from the logarithm of the concentration of extracts of crust of different types of lilac obtained, of which graphically determined indicators IC_{50} which made up $0,001-3,39 \cdot 10^{-4}$ %. Samples of extracts of lilac bark showed high antioxidant activity. They restored the fluorescence of fluorescein to 88-100% at a sample concentration of 0.1–1%. The HPLC method determined the content of a number of phenylpropanoid compounds contained in lilac bark extract, such as syringin, hydroxytyrosylhexoside, pinoresinglucoside, olivylglucoside, oleuropein, and ligroside.

Ключевые слова: антиоксидантная активность, экстракты коры сирени, флуоресцеин.

Keywords: antioxidant activity, extracts of crust of lilac, fluorescein.

Избыточная концентрация свободных радикалов в организме является центральным фактором риска сердечно-сосудистых, онкологических заболеваний и других патологий. Флавоноиды обладают сильными антиоксидантными свойствами и могут использоваться для профилактики различных заболеваний. Биологически активные вещества, входящие в состав коры сирени, определяют их фармакологические свойства, что позволяет использовать их в качестве сырьевого источника для фармакологической промышленности. Иридоиды, лигнаны и фенилэтаноиды являются основными компонентами экстрактов и, вероятно, обуславливают основные виды биологической, в том числе антиоксидантной активности [1–4]. Цельные экстракты и препараты индивидуальных соединений, полученные из растительного материала различных видов рода *Syringa*, обладают выраженной противоопухолевой, антигипертензивной, противовоспалительной, антиоксидантной и противогрибковой активностями.

Проведено сравнительное исследование антиоксидантной активности (АОА) экстрактов коры 7 видов сирени: сирень амурская (*Syringa amurensis*), сирень гималайская (*Syringa emodi*), сирень Звегинцова (*Syringa sweginzovii*), сирень тонковолосистая (*Syringa tomentella*), сирень пекинская (*Syringa pekin*), сирень пушистая (*Syringa pubescens*), сирень широколистная (*Syringa oblate* Lindl.). Метод определения АОА по отношению к активированным формам кислорода (АФК) основан на измерении интенсивности флуоресценции окисляемого соединения и ее уменьшении под воздействием АФК. В настоящей работе для детектирования свободных радикалов использован флуоресцеин, обладающий высоким коэффициентом экстинкции и близким к 1 квантовым выходом флуоресценции. Генерирование свободных радикалов осуществляли, используя систему Фентона, в которой образуются гидроксильные радикалы при взаимодействии комплекса железа (Fe^{2+}) с этилендиаминтетрауксусной кислотой (EDTA) и пероксида водорода [5]. При взаимодействии флуоресцеина со свободными радикалами происходит тушение его флуоресценции, восстановить которую можно при добавлении в систему веществ, проявляющих антиоксидантные свойства.

Приготовление спиртового экстракта из коры различных видов сирени. В пробирку с притертой крышкой вносили навеску воздушно-сухого сырья и добавляли 70 % этанол. Соотношение сырье/экстрагент – 1/10. Экстракцию проводили в термостате при температуре 35 °С в течение 1 ч при перемешивании. Экстракты фильтровали через бумажный фильтр и хранили закупоренными в холодильнике.

Приготовление раствора экстракта коры различных видов сирени. Концентрацию исходного раствора экстракта принимали за 100 %. Делали ряд разведений исходного раствора экстракта, концентрации которых составляли 100 – 10–9 %. Концентрации растворов экстракта в пробе уменьшались в 10 раз и составляли 10 – 10–10 %.

Методика определения антиоксидантной активности экстракта коры различных видов сирени. Общий объем пробы, помещаемый в кювету составлял 2 мл. В кювету вносили 0,02 мл флуоресцеина (10^{-6} М) и 1,98 мл 0,1 М Na-фосфатного буфера. Прописывали спектр. Полученные значения пика флуоресценции принимали за 100 %.

В кювету вносили 0,02 мл флуоресцеина (10^{-6} М), 0,2 мл Fe^{2+} с ЭДТА (10^{-3} М), 1,58 мл 0,1 М Na-фосфатного буфера и 0,2 мл пероксида водорода (10^{-2} М). При взаимодействии Fe^{2+} с H_2O_2 (реакция Фентона) образующиеся радикалы подавляли свечение флуоресцеина. Полученные значения пика флуоресценции принимали за минимальное.

В кювету вносили 0,02 мл флуоресцеина (10^{-6} М), 0,2 мл Fe^{2+} с ЭДТА (10^{-3} М), 0,2 мл раствора экстракта коры сирени (10^{-9} – 100 %) и 1,38 мл 0,1 М Na-фосфатного буфера. Реакцию начинали добавлением 0,2 мл пероксида водорода (10^{-2} М).

Конечные концентрации: флуоресцеин – 10^{-8} М, Fe^{2+} – 10^{-4} М, ЭДТА – 10^{-4} М, H_2O_2 – 10^{-3} М, раствор экстракта коры сирени – 10^{-10} – 10 %.

Измерения флуоресценции проводили на флуориметре RF-5301 PC («Shimadzu», Япония). Регистрировали интенсивность флуоресценции на длине волны 514 нм. Длина волны возбуждения – 490 нм.

Для всех образцов получены зависимости интенсивности флуоресценции флуоресцеина от логарифма концентрации экстрактов коры сирени. Исследования проведены в широком диапазоне концентраций 10^{-10} – 10 %. На рис. 1 представлена зависимость интенсивности флуоресценции флуоресцеина от логарифма концентрации экстракта коры сирени Звегинцова (1), сирени гималайской (2) и сирени амурской (3). Экстракт коры сирени Звегинцова начинает проявлять АОА при концентрации 10^{-10} % (разведение исходного экстракта в 10^{12} раз), тогда как экстракты остальных образцов коры сирени, в частности сирени гималайской и сирени амурской проявляют АОА при более высоких концентрациях – 10^{-8} %. При последующем увеличении концентрации экстракта наблюдается увеличение подавления действия свободных радикалов и возрастание флуоресценции флуоресцеина до 95–99 %

при концентрации 1 %. Дальнейшее повышение концентрации экстракта вызывает тушение флуоресценции флуоресцеина. При высоких концентрациях флавоноидов, фенилпропаноидов и других соединений, обладающих антиоксидантной активностью и содержащихся в экстракте, радикальные продукты их окисления могут взаимодействовать с флуоресцеином и снижать его флуоресценцию. Аналогичные зависимости были получены для остальных экстрактов коры сирени. Графически определены показатели IC_{50} – концентрация экстрактов коры сирени, при которой достигается 50 % ингибирования свободных радикалов.

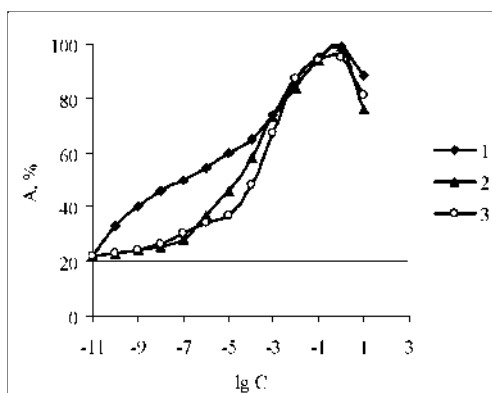


Рисунок 1 – Зависимость интенсивности флуоресценции флуоресцеина (A) от логарифма концентрации (C) экстрактов коры сирени Звегинцова (1), сирени гималайской (2) и сирени амурской (3)

Образцы экстрактов коры сирени показали высокую антиоксидантную активность. Они восстанавливали флуоресценцию флуоресцеина до 88–100 % при малой концентрации образцов 0,1 – 1 %, что соответствует разведению исходного экстракта в 100 – 1000 раз (табл. 1).

Таблица 1 – Показатели антиоксидантной активности экстракта коры сирени

Вид сирени	A_{max} , %	C_{max} , %	$IC_{50} \cdot 10^{-4}$, %
Звегинцова	99	1	0,001
Гималайская	99	1	0,214
Амурская	95	1	1,29
Широколистная	100	0,1	2,14
Тонковолосистая	91	0,1	2,51
Пекинская	100	0,1	3,39
Пушистая	88	0,1	3,39

Минимальный показатель IC_{50} получен для экстракта коры сирени Звегинцова ($0,001 \times 10^{-4}$ %). Показатели IC_{50} , полученные для экстрактов коры сирени гималайской ($0,214 \times 10^{-4}$ %) и амурской ($1,29 \times 10^{-4}$ %) в 214 и в 1290 раз соответственно превышают аналогичный показатель экстракта коры сирени Звегинцова. Активность экстрактов коры сирени гималайской и амурской начинает проявляться при концентрации 10^{-7} %, что в 1000 раз выше аналогичного показателя экстракта коры сирени Звегинцова.

Образцы экстрактов коры сирени широколистной, тонковолосистой, пекинской и пушистой снижали активность свободных радикалов до 88–100 % при концентрации экстракта 0,1 %. Таким образом, экстракты этих образцов достигали максимальной активности при концентрации на порядок ниже экстрактов коры сирени Звегинцова, гималайской и амурской, что могло бы свидетельствовать об их более высокой антиоксидантной активности. Однако, их показатели IC_{50} ($2,14$ – $3,39 \times 10^{-4}$ %) в 1,7–2,6 раз превышают показатель IC_{50} для экстракта коры сирени амурской, в 10–15,8 раз превышают показатель IC_{50} для экстракта коры сирени гималайской и в 2140–3390 раз превышают показатель IC_{50} для экстракта коры сирени Звегинцова. Положительный эффект при добавлении экстрактов коры сирени широколистной, тонковолосистой и пекинской проявлялся при их концентрации 10^{-8} %, что в 100 раз выше аналогичного показателя экстракта коры сирени Звегинцова.

Образец экстракта коры сирени пушистой имел наиболее высокий показатель IC_{50} ($3,39 \times 10^{-4}$ %). Аналогичный показатель IC_{50} определен и для экстракта коры сирени пекинской. При этом, экстракт коры сирени пушистой восстанавливал флуоресценцию флуоресцеина до 88 %, тогда как экстракт коры сирени пекинской – до 100 %. Положительный эффект при добавлении экстракта коры сирени пушистой проявлялся при его концентрации 10^{-6} %, что в 100 раз превышает аналогичный показатель экстракта коры сирени пекинской. Таким образом, образец экстракта коры сирени пушистой имел наименьшую антиоксидантную активность.

Минимальный показатель IC_{50} , полученный для образца экстракта коры сирени Звегинцова, а также АОА при минимальной концентрации этого экстракта 10^{-10} %, свидетельствует о его максимальной антиоксидантной активности.

Проведенные фитохимические исследования показали присутствие в цельных экстрактах из сырья растений различных видов рода *Syringa* разнообразных соединений: иридоидов, лигнанов, фенилпропаноидов и

фенилэтаноидов, обладающих противоопухолевой, гипотензивной, антиоксидантной и противовоспалительной активностями. Иридоиды, лигнаны и фенилэтаноиды являются основными компонентами экстрактов и, вероятно, обуславливают независимо друг от друга или синергично основные виды биологической активности [1–4]. Методом ВЭЖХ определено содержание фенилпропаноидных соединений, содержащихся в экстракте коры сирени (табл. 2).

Таблица 2 – Содержание фенилпропаноидных соединений в расчете на грамм сухой коры

Вид сирени	Сирингин мг/г	Гидрокситирозилгексозид мг/г	Пинорезинол-глюкозид мг/г	Оливил-глюкозид мг/г	Олеуропеин мг/г	Лигстрозид мг/г
Широколистная	11,27	0,39	0,67	0,62	2,21	0,32
Амурская	5,46	0	0,27	0,13	0,61	0
Пушистая	4,95	0	0,18	0,17	0,37	0
Гималайская	4,16	0,56	1,55	0,64	2,79	0
Звегинцова	3,22	0	0,30	0,39	0,96	0,22
Пекинская	1,45	0,28	0,64	0,20	2,95	0,20
Тонковолосистая	0,88	0,16	0,38	0,58	1,36	0

Максимальное содержание сирингина определено в экстракте сирени широколистной. Содержание сирингина в экстрактах коры амурской, пушистой, гималайской и Звегинцова в 2–3 раза ниже. Сирень пекинская и сирень тонковолосистая содержат сирингин в значительно меньшей степени. Максимальное содержание гидрокситирозилгексозида обнаружено в экстракте коры сирени гималайской, несколько ниже его содержание в экстрактах коры сирени широколистной, пекинской и тонковолосистой. Максимальное содержание пинорезинолглюкозида обнаружено в экстракте коры сирени гималайской. В экстрактах коры сирени широколистной и пекинской его содержание в 2 раза ниже. Минимальное количество пинорезинолглюкозида содержится в сирени пушистой. Оливилглюкозид в максимальном количестве содержится в экстрактах коры сирени широколистной, гималайской и тонковолосистой, несколько ниже его содержание в сирени Звегинцова. Сирень пекинская, пушистая и амурская содержат в 3–5 раз меньше оливилглюкозида, чем сирень гималайская. Максимальное содержание олеуропеина обнаружено в экстракте коры сирени пекинской, гималайской и широколистной. Сирень тонковолосистая, Звегинцова и амурская содержат олеуропеина в 2–5 раз меньше. Минимальное количество олеуропеина содержится в сирени пушистой. Лигстрозид обнаружен лишь в трех образцах экстрактов сирени – широколистной, Звегинцова и пекинской.

Анализ данных табл. 2 показывает, что сирень широколистная содержит максимальное количество таких фенилпропаноидных соединений (сирингин, оливилглюкозид, олеуропеин и лигстрозид), сирень гималайская – гидрокситирозилгексозид, пинорезинолглюкозид, оливилглюкозид и олеуропеин, сирень пекинская – пинорезинолглюкозид, олеуропеин и лигстрозид. Образцы экстрактов этих видов сирени показали высокую АОА, подавляя действие свободных радикалов на 100 %. Сирень тонковолосистая, подавляющая действие свободных радикалов на 91 %, содержит в большом количестве оливилглюкозид, тогда как содержание пинорезинолглюкозида и олеуропеина в ~ 2 раза ниже, чем в экстрактах коры сирени широколистной и гималайской. Содержание фенилпропаноидных соединений в экстрактах сирени Звегинцова и амурской ниже максимального, хотя эти образцы показывают высокую АОА, подавляя действие свободных радикалов на 95–99 %. Минимальное содержание пинорезинолглюкозида, оливилглюкозида и олеуропеина, а также отсутствие гидрокситирозилгексозида и лигстрозидов в экстракте коры сирени пушистой, возможно, оказывает влияние на самые низкие показатели АОА. Однако, четкой зависимости между АОА и количественным содержанием фенилпропаноидных соединений не получено. Отсутствие данной зависимости, предположительно, связано с тем, что АОА водно-этанольных экстрактов формируется не только фенилпропаноидными соединениями, представленными в таблице, а всем пулом фенольных соединений, перешедших из коры в жидкую фазу.

ЛИТЕРАТУРА

1. Bi, X. Y. Secoiridoid glucosides and related compounds from *Syringa reticulata* and their anti-oxidant activities / X. Y. Bi [et al] // *Bioorg. Med. Chem. Lett.* 2011. – Vol. 21. – P. 6426–9.
2. Yk, T. Secoiridoid and iridoid glucosides from *Syringa afghanica*. / T. Yk [et al] // *Phytochemistry*. – 2002. – Vol. 59. – P. 779–87.
3. Zhang, S. J. Chemical constituents from seeds of *Syringa oblata* / S. J. Zhang [et al] // *Chin. Tradit. Herbal. Drugs*. 2011. – V. 42. – P. 1894–900.
4. Wang, J. L. Chemical constituents from seed crust of *Syringa oblata* / J. L. Wang [et al] // *Chin. Tradit. Herbal. Drugs*. – 2010. – Vol. 41. – P. 1598–601.
5. Cao, G. H. Oxygen-radical absorbance capacity assay for antioxidants / G. H. Cao, H. M. Alessio, R. G. Cutler // *Free Radicals In Biology And Medicine*. – 1993. – Vol. 3. – № 14. – P. 303–311.

**РОЛЬ ФАКТОРОВ ВНЕШНЕЙ СРЕДЫ
В РАЗВИТИИ КИШЕЧНОГО ПИЩЕВАРЕНИЯ**
**THE ROLE OF EXTERNAL ENVIRONMENTAL FACTORS
IN THE DEVELOPMENT OF THE INTESTINAL DIGESTION**

Л. С. Кучкарова, Х. Ю. Каюмов, С. Х. Бердиёрова
L. Kuchkarova, X. Qayumov, S. Berdiyeva

Национальный университет Узбекистана, г. Ташкент, Республика Узбекистан
E-Lyubakuchkarova.yahoo.com
National University of Uzbekistan, Tashkent, Republic of Uzbekistan

Влияние физических и химических факторов внешней среды на реализацию генетической программы развития тонкой кишки зависит от длительности воздействия. Гормональные сигналы являются посредниками в передаче воздействий факторов внешней среды на динамику развития кишечного пищеварения. В этой регуляции принимает участие и гормональный статус матери.

The effect of physical and chemical factors on the realization of genetic program of small intestine depends on the exposure duration. Hormonal signals play role of messenger in the transmission of the effect of the environmental factors on the dynamics of the small intestine development. The mother hormonal state also takes place in this regulation.

Ключевые слова: тонкая кишка, гидролитические ферменты, гормональная регуляция, факторы среды, развитие.

Keywords: small intestine, hydrolytic enzymes, hormonal regulation, environmental factors, development.

Исследование функционального становления желудочно-кишечного тракта, важнейшего звена, определяющего поступление в организм энергетического и пластического материала, в зависимости от воздействия факторов среды является важной проблемой биологии развития и экологической физиологии, так как механизмы ассимиляции пищи связаны с обеспечением физического и психического здоровья и жизнеспособности растущего организма

Особую значимость для роста и развития организма приобретает функциональная емкость тонкой кишки, темпы роста которой в первые дни постнатальной жизни намного опережают все остальные органы в связи с весьма высокой потребностью в нутриентах. Чрезвычайно значимая роль тонкой кишки в обеспечении необходимым энергетическим и пластическим связана с тем, что там переваривается и всасывается до 90 % пищи. Исследование влияния различных факторов среды на формирование тонкой кишки в раннем онтогенезе представляет практический интерес, т. к. любые функциональные сдвиги в органе, являются причиной или предпосылкой различных заболеваний, последствия которых, зачастую отражаются и во взрослом состоянии [1].

Ход онтогенетической эволюции гидролитических систем тонкой кишки по современным представлениям генетически запрограммирован. Маркерами закодированного созревания кишечника у большинства млекопитающих, в том числе и у крыс, считают динамику развития функциональных систем, активность которых в течение индивидуальной жизни увеличивается, или напротив, уменьшается. Это естественное изменение активности ферментных и транспортных систем кишечника имеет физиологическое значение, позволяя молодому организму успешно переходить с усвоения основных углеводов материнского молока на переваривание углеводов взрослой пищи. Преждевременное отнятие крыс-сосунков, равно как и принудительное затягивание кормления материнском молоком, несколько изменяет, но радикально не сдвигает характер генетически запрограммированного хода развития переваривающей и всасывательной способности тонкой кишки по отношению к углеводным субстратам.

Следует отметить, что радикальные сдвиги в развитии ферментных и транспортных систем тонкой кишки проявляются, именно в период отнятия, когда крысы с одного вида питания (материнское молоко, богатое лактозой), переходят на другой (пища взрослых, богатая крахмалом и др.). Именно в это время, когда подрастающее поколение отлучается от матери и покидает гнездо, стрессоры становятся нормальными элементами их жизни. Важную роль физиологического стрессора играют при этом температурные, зрительные, обонятельные и слуховые воздействия, а также голод, возникающий из-за увеличения потребности растущего организма в нутриентах, которое в период отнятия материнским молоком уже удовлетворяется не полностью [1; 2].

Однако, следует подчеркнуть, что матурационный эффект стрессовых воздействий на растущий организм наблюдается только при кратковременном его влиянии, в период начала перехода на самостоятельное питание. В самые первые дни после рождения потомство млекопитающих как бы заэкранировано от воздействия стрессорных воздействий из-за незавершенности консолидации между различными звеньями гипоталамо-

гипофизарно-кортикоидной и гипоталамо-гипофизарно-тиреоидной осей. Но это касается только самых первых дней жизни животных. Такая, «ареактивность» пищеварительной системы бала обнаружена и по отношению к экзогенным гормонам в первые дни после рождения млекопитающих. Этот феномен, с нашей точки зрения, выполняет положительную роль, так как обеспечивает надежность функционирования, оберегая естественный спектр ферментов, адаптированный к ассимиляции молока, от всякого рода воздействий.

Несколько позднее в естественных условиях от стресса защищает потомство кормящая мать своим поведением, направленным на поддержание оптимальных режимов температуры, кормления и т. п. Иначе, матурация пищеварительной системы под влиянием стресса является триггером преждевременной активации протеолитических ферментов, повышения концентрации соляной кислоты и т. п., приводящих к нарушению системы усвоения, например, материнских иммунных белков [3; 4].

Именно в этот период и проявляется способность ферментативных систем реагировать на гормоны. Выявлено, что кортикостероидные гормоны оказывают индуцирующее влияние на гидролитические системы (α-глюкозидазы поджелудочной железы и тонкой кишки), увеличивающиеся в процессе развития, не влияя при этом на ферментативные активности, которые в процессе индивидуального развития уменьшают свою функциональную выраженность (щеточнокаменная лактаза). Гормоны щитовидной железы играют определяющую роль в активности тех ферментов, которые на протяжении индивидуального развития уменьшаются. Введение тироксина приводит к более ранней репрессии лактазной активности. Высокая реактивность ферментных систем тонкой кишки ко времени отнятия, считаем мы, имеет большое физиологическое значение, способствуя приспособлению гидролитическо-транспортных систем к усвоению «взрослой пищи» под влиянием потока раздражителей, поступающих в связи с включением в действие обонятельных, слуховых, зрительных и других анализаторов, которые стимулируют различные звенья эндокринных систем, что в целом направлено на выживание [3; 4].

Выявлено, что в регуляции кишечного пищеварения, наряду с эндогенными гормонами принимают участие и экзогенные, продуцируемые в эндокринных железах матери. Гормоны в составе материнского молока, беспрепятственно преодолевая гастроэнтеральный барьер, поступают в циркуляцию крови потомства. Формирование гидролиза и транспорта в тонкой кишке при гипер- или же гиподисфункциональном состоянии отдельной эндокринной железы кормящей матери не всегда совпадает с направленностью этих функций при подобных состояниях у самого растущего организма. Такая реакция функциональных систем кишечного пищеварения на стероидные, тиреоидные и белково-пептидные гормоны, как показали наши исследования, подтверждает существование у высших организмов селективных регуляторных механизмов различных звеньев гидролиза и транспорта, которые достаточно сложны, переплетаются между собой и в настоящее время широко обсуждаются [2; 3].

Реактивность гидролитическо-транспортных систем по отношению к гормонам у крыс во времени совпадает с увеличением количества тиреоидных гормонов и инсулина в материнском молоке. Это позволяет рассматривать изменения гормонзависимости ферментных систем желудочно-кишечного тракта в онтогенезе, с одной стороны, и содержания гормонов в молоке на протяжении лактации. С другой, как строго формировавшееся в ходе естественного отбора явление. Благодаря взаимодействию эндогенно продуцируемых и поступающих в составе материнского молока гормонов, желудочно-кишечный тракт растущего организма, адекватно реагируя на влияние факторов окружающей среды, перестраивается от переваривания молока к усвоению дефинитивной пищи. Результаты, полученные в настоящей работе, и данные литературы свидетельствуют о том, что механизмы, ответственные за кишечный гидролиз и транспорт питательных веществ, являются чрезвычайно чувствительными к гормональным факторам и отвечают на них весьма резкими сдвигами [3; 4].

Эти данные согласуются с теперь уже бесспорным фактом незаменимости грудного вскармливания, благодаря наличию в материнском молоке ряда биологически активных соединений, в том числе и гормонов, участвующих и в формировании функций растущего организма, включая, как показали наши исследования, и пищеварительные. Следует отметить, что роль этого пути поступления особенно важна для преждевременно родившихся детей и животных с относительно малой массой тела, так как у них отмечена гиподисфункция пищеварительной и эндокринной систем.

Таким образом, кратковременные стрессорные воздействия внешней среды оказывают на кишечное пищеварение матурационный эффект, демонстрируя тем самым роль внешних сигналов в реализации регуляторной функции гипоталамо-гипофизарно-тиреоидной и гипоталамо-гипофизарно-кортикоидных осей по отношению к пищеварительной системе. Под влиянием этих внешних воздействий обеспечивается успешный переход потомства на качественно новый тип питания. В естественных условиях, такое воздействие внешних факторов становится реальным в конце периода молочного вскармливания, когда завершена полная консолидация различных звеньев систем гипоталамо-гипофизарно-кортикоидной оси. Она помогает выжить и самостоятельно питаться развивающемуся поколению при естественном отрыве от матери. Она приобретает защитный характер при случайном, часто встречающемся в дикой природе разлучении потомства млекопитающих от матери.

Можно заключить, что гипоталамо-гипофизарно-кортикоидная ось обеспечивает в онтогенезе своевременную индукцию α-глюкозидаз, способствуя притоку новых веществ, на фоне продолжающегося поступления молока, а гипоталамо-гипофизарно-тиреоидная ось приводит к репрессии лактазы, способствуя уменьшению потребления

лактозы материнского молока, т. е. разрыву пищевой связи между матерью и потомством. В результате лактирующая самка освобождается от кормления и приступает к началу нового репродуктивного цикла.

Однако физиологическая согласованность между естественным стрессорным сигналом и ответной реакцией ферментных систем тонкой кишки проявляется при однократном или кратковременном воздействии. В настоящее время увеличился поток стрессоров абиогенного характера, в том числе и различных ксенобиотиков, воздействующих на организм человека и животных. Наблюдения показали, что длительные влияния, например ксенобиотиков, приводя к истощению функции регуляторных систем, могут способствовать возникновению различного рода нарушений желудочно-кишечного тракта, которые, наиболее выявляемы в ранние сроки индивидуальной жизни [5].

Исследование влияния химических факторов на развитие кишечной системы показали, что по характеру их воздействия они могут быть нейтральными (некоторые флавоноиды, соли щелочноземельных металлов в допустимых концентрациях), токсическими (соли тяжелых металлов, нитрат-нитриты, фенилгидразин), полезными (пектин, инулин, экидистерон, куркумин).

Однократная инъекция ацетата свинца или фенилгидразина приводит к возрастзависимой индукции активности энтеральной мальтазы, сахаразы, трегалазы, лактазы. При кратковременном химическом стрессе проявляется такая же ответная реакция в активности ферментов, которую наблюдали после инъекции гидрокортизона, или кратковременного перегревания. Это подобие говорит о том, что вызванная адаптационно-компенсаторная реакция ферментов тонкой кишки направлена на мобилизацию переваривающей способности и восполнение энергетических ресурсов организма.

В отличие от однократных воздействий хроническое поступление, например ацетата свинца, в составе питьевой воды растущим крысам, вызывает угнетение активности кишечных дисахаридаз и деструктуризацию слизистой тонкой кишки. Истощение ферментативной емкости тонкой кишки приводит к неспособности органа мобилизовать функциональные возможности для преодоления негативного воздействия среды.

Изменение состава молока при поступлении с пищей и/или водой в организм кормящей матери солей тяжелых металлов (кадмий, свинец, ртуть) также оказывает существенное влияние на формирование механизмов полостного и мембранного пищеварения у потомства. Это проявляется в задержке структурно-функционального созревания поджелудочной железы и тонкой кишки у потомства, при интоксикации матери в период лактации ионами тяжелых металлов, одним из показателей которой является снижение соотношения активности лактаза/сахараза. Такой эффект, очевидно, обусловлен сложными изменениями, происходящими на уровне нейрогормонального статуса как кормящей матери, так и растущего организма. Более серьезные функциональные сдвиги в способности тонкой кишки потомства ассимилировать нутриенты выявляются при замене питьевой воды 0,01 % раствором ацетата свинца у матери на протяжении полного репродуктивного цикла, как в период беременности, так и в период лактации [5]. У детенышей, выношенных и вскормленных интоксигированными матерями, проявляются резкая атрофия слизистой оболочки тонкой кишки, уменьшение активности полостного гидролиза углеводов, задержка темпов развития активностей ферментов, ответственных за заключительную стадию гидролиза углеводов: мальтазы, сахаразы и трегалазы. Редукция гидролитической способности тонкой кишки, долго сохраняется и после перехода животных на самостоятельное питание, снижая тем самым степень готовности растущего организма к перевариванию дефинитивной пищи. Нарушения кишечного пищеварения при хронической свинцовой интоксикации проявляется и в рассасывании эмбрионов, мелкорождаемости; более позднем появлении шерсти, открытии глаз и прорезывании зубов и развитии рефлексорных реакций у растущих животных [5].

Дисфункция гидролитической системы тонкой кишки крыс, хронически интоксигированных небольшими дозами ацетата свинца, вызывает уменьшение длины ворсинок, глубины крипт, а также десквамацию эпителиоцитов с верхушки ворсинок в полость тонкой кишки. Деструктуризация ворсинок слизистой оболочки тонкой кишки, сопровождается увеличением содержания малонового альдегида и уменьшением активности антиоксидантных ферментов – каталазы и пероксидазы в слизистой оболочке, что говорит об участии перекисного окисления липидов в разрушительном влиянии на структурно-функциональное состояние кишечной трубки. Негативные сдвиги в тонкой кишке сопровождались копростазом, мегаколоном и дисбактериозом в толстой. При этом дисбактериоз проявлялся в уменьшении числа облигатных лактобактерий и резком увеличении числа сахаромикетов – кандид. Следовательно, нарушение секреторной и моторной функции кишечника является причиной ее вторичной интоксикации, усугубляющей уже имеющиеся негативные сдвиги.

В качестве средств, корригирующих или предупреждающих влияние химической интоксикации на гидролитическую функцию тонкой кишки после скрининга ряда соединений были выявлены куркумин, пектин, инулин, пектин, хитозан.

Вызванное воздействием абиогенных соединений редукция способности тонкой кишки усваивать пищу является причиной энзимопатий, широкого спектра рода неинфекционных заболеваний желудочно-кишечного тракта (мальдигестия, мальабсорбция и др.) и, как следствие, дистрофии и жизнеспособности развивающегося организма. В экологически критических регионах эти сдвиги связаны с подавлением секреции материнского молока, изменением его состава, в целом играют определяющую роль в становлении развивающегося потомства.

Для понимания роли факторов окружающей среды в развитии человека и животных в экологически нестабильных регионах, следует подчеркнуть, что основы жизнеспособности формируются в самые ранние периоды жизни – в период внутриутробного развития плода и в первые месяцы жизни младенцев, которые во

многим определяются функциональным статусом матери. В ранний период индивидуальной жизни эмбрион, плод, новорожденный в силу своей незрелости, особо реактивны к влиянию факторов среды. В наших наблюдениях это проявлялось в более высокой подверженности гидролитических систем развивающегося организма к воздействию экологических факторов. Реакция кишечного пищеварения на хроническое воздействие абиогенных веществ отражается и в снижении жизнеспособности растущего организма. Этим объясняется частая эмбриональная смертность, прерывание беременности, преждевременное рождение и рождение маловесных незрелых младенцев с весьма слабой жизнеспособностью. Учитывая, что воздействие ксенобиотиков, довольно часто сочетается с влиянием других факторов (гиподинамия, недоедание, нерациональное питание), даже при хорошем кормлении недостаточность кишечного пищеварения создает условия для сдвигов осмотического гомеостаза, дисбактериоза, копростазы и других дисфункций.

Эти данные наводят на мысль, что соответствующая гидролитической емкости желудочно-кишечного тракта функциональное питание с добавкой пищевых волокон (инулин, пектин, хитозан) в экологически неблагоприятных регионах будет способствовать более эффективному усвоению нутриентов и предупреждению дисфункций органов пищеварения и других систем. Следует отметить и то, что коррекция недостаточности энтеральных гидролитических систем должна быть комплексной и основываться на индивидуальных особенностях каждого отдельного организма.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Zabielski, R.* Control of development of gastrointestinal system in neonates / R. Zabielski, M. Godlewski, P. Guiloteau // *J. Physiol. Pharm.* – 2008. – Vol. 59. – No 1. – P. 35–54.

2. *Drozdowski, L. A., Clandinin, T. A.* Thomson B.R Ontogeny, growth and development of the small intestine: Understanding pediatric gastroenterology / L. A. Drozdowski, T. A. Clandinin, B. R. Thomson // *World J Gastroenterology.* – 2010. – Vol. 16. – P. 787–799.

3. *Кучкарова, Л. С., Кудешова, Г. Т., Дустматова, Г. А.* Гормональная регуляция ассимиляции углеводов в тонкой кишке крыс периода молочного питания / Л. С. Кучкарова, Г. Т. Кудешова, Г. А. Дустматова // *Научное обозрение. Биологические науки.* – 2017. – № 2. – С. 108–116.

4. *Кучкарова, Л. С., Кудешова, Г. Т.* Влияние гидрокортизона на ювенильные и дефинитивные системы ассимиляции дисахаридов в тонкой кишке крыс / Л. С. Кучкарова, Г. Т. Кудешова // *European science review.* – 2016. – № 2. – P.4–6.

5. *Садыков, Б. А., Кучкарова, Л. С., Эрматова, С. А.* Активность пищеварительных ферментов у потомства крыс, получавших во время лактации рацион, загрязненный тяжелыми металлами / Б. А. Садыков, Л. С. Кучкарова, С. А. Эрматова [и др.]. // *Вопросы питания.* – 2009. – № 2. – С. 47–50.

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ЭМОКСИПИНА НА ЦИТОСТАТИЧЕСКУЮ И АНТИПРОЛИФЕРАТИВНУЮ АКТИВНОСТЬ АРАБИНОФУРАНОЗИЛЦИТОЗИН-5`-МОНОФOSФАТА IMPACT OF EMOXIPIN SUPPLEMENTATION ON CYTOSTATIC AND ANTIPROLIFERATIVE ACTIVITY OF ARABINOFURANOSYLCYTOSINE-5`- MONOPHOSPHATE

М. В. Лобай, А. Г. Сыса, Е. И. Квасюк

M. Labai, A. Sysa, E. Kvasyuk

Белорусский государственный университет, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ,

г. Минск, Республика Беларусь

aliaksei.sysa@iseu.by

Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus

В настоящее время модифицированные нуклеозиды и их аналоги широко применяются в качестве противовирусных или цитостатических препаратов. В связи с наличием выраженных побочных эффектов таких препаратов привлекательным является поиск веществ или их комбинаций (с антиоксидантами, в частности), применение которых будет приводить к снижению показателей интоксикации в организме вирус- и опухоленосителей. Целью работы явилась оценка влияния модифицированного нуклеотида арабинофуранозилцитозин-5`-монофосфата (AFC-P) отдельно, а также совместно с эмоксипином – синтетическим производным 3-оксипиридина с мощным антиоксидантным действием (AFC-P+Em) – на жизнеспособность мононуклеаров (МНК) периферической крови, пролиферацию Т-лимфоцитов в условиях митоген-индуцированной стимуляции клеток. Установлено, что эмоксипин не приводит к ингибированию основной функции антиметаболита арабинофуранозилцитозина-5`-монофосфата: остановку роста и лизис клеток-ми-

шеней. Более того, полученные результаты указывают на возможное усиление эмоксипином цитостатического и антипролиферативного действия исследованного модифицированного нуклеозидмонофосфата.

Modified nucleosides and their analogues are widely used as antiviral or cytostatic drugs. Due to side effects of such drugs, it is attractive to search for substances or their combinations (with antioxidants, in particular), the use of which will lead to decrease the intoxication. The aim of this work was to evaluate the influence of arabinofuranosylcytosine-5'-monophosphate (AFC-P) separately as well as together with emoxipin – synthetic derivatives of 3-hydroxypyridine with a powerful antioxidant effect (AFC-P+Em) on the viability of mononuclear cells (MNCs) peripheral blood, proliferation of T-lymphocytes in a mitogen-induced stimulation of cells. It was shown that emoxipin does not inhibit the basic function of antimetabolite arabinofuranosylcytosine nucleotide-5'-monophosphate. Moreover, the obtained results indicate the possible increase of the cytostatic and antiproliferative properties of investigated modified nucleotide by emoxipin.

Ключевые слова: антиметаболиты, антиоксиданты, пролиферация, канцерогенез, жизнеспособность.

Keywords: antimetabolites, antioxidants, proliferation, carcinogenesis, viability.

В настоящее время модифицированные нуклеозиды и их аналоги широко применяются в качестве противовирусных или цитостатических препаратов. Попадая в клетку, такие соединения подвергаются ступенчатому фосфорилированию с образованием 5'-трифосфатов нуклеозидов. Эти трифосфаты модифицированных нуклеозидов выступают в качестве субстратов или ингибиторов ДНК-полимераз в инфицированной или трансформированной клетке.

Часто процесс трифосфорилирования нуклеозидных аналогов затруднен или невозможен из-за высокой специфичности клеточных нуклеозид- и нуклеотидкиназ. Использовать непосредственно нуклеозид-5'-монофосфаты не удастся из-за того, что их транспорт в клетку крайне ограничен; кроме того, на мембране клетки они быстро разрушаются до соответствующих нуклеозидов. Эти причины вызывают широкий интерес к синтезу пронуклеотидов, т. е. химически модифицированных нуклеозидмонофосфатов (NMP) и их аналогов, которые бы обладали способностью проникать в клетку и в результате химического или ферментативного гидролиза превращаться в соответствующие антиметаболиты.

Другим аспектом, ограничивающим использование противовирусных или цитостатических препаратов, является то, что эти препараты (ацикловир, адефовир, цидофовир, тенофовир и др.) обладают, наряду с вирусингибирующими свойствами, нежелательными побочными эффектами вследствие возможного воздействия на генетический аппарат клетки-хозяина. В связи с этим привлекательным является поиск веществ или их комбинаций (с антиоксидантами, в частности), применение которых будет приводить к снижению показателей интоксикации в организме вирусо- и опухоленосителей.

Так, большинство авторов указывают на способность антиоксидантов улучшать переносимость химиотерапии и отдаленные результаты лечения [1; 2], сторонники иной точки зрения считают, что антиоксиданты ингибируют противоопухолевый эффект химиопрепаратов [3]. Однако все эти исследования касаются применения нутрицевтиков с мягким антиоксидантным действием (β -каротин; витамины А, С, Е; селен; мелатонин, цистеин; витамины группы В; витамин D₃; витамин К₃; глутатион, коэнзим Q₁₀).

Цель работы – оценка влияния модифицированного нуклеотида арабинофуранозилцитозин-5'-монофосфата (AFC-P) отдельно, а также совместно с эмоксипином – синтетическим производным 3-оксипиридина с мощным антиоксидантным действием (AFC-P+Em) – на жизнеспособность мононуклеаров (МНК) периферической крови, пролиферацию Т-лимфоцитов в условиях митоген-индуцированной стимуляции клеток.

Исследуемые соединения были синтезированы согласно [4].

МНК выделяли из периферической крови здоровых доноров (n = 5) путем центрифугирования на градиенте плотности Histopaque ($\rho = 1,077 \text{ г/см}^3$, 30 мин, 1500 об/мин). Для оценки пролиферативной активности МНК в концентрации 1×10^7 клеток/мл окрашивались витальным флуоресцентным красителем карбоксифлуоресцеин диацетатсукцинимидил эфиром (CFSE) в концентрации $7 \mu\text{M}$ в 1 мл культуральной среды RPMI («Sigma», Германия) в течение 5 мин в темноте при комнатной температуре.

МНК, окрашенные CFSE, в концентрации 2×10^6 клеток/мл культивировали в полной культуральной среде в присутствии поликлонального стимулятора – 2,5 мг/л ФГА в течение 6 дней в увлажненной атмосфере при 37 °C и 5 % CO₂. Регистрацию количества пролиферирующих Т-клеток осуществляли методом проточной цитофлуориметрии (CytoFLEX, «Beckman Coulter», США). Пролиферацию Т-лимфоцитов оценивали как процент покоящихся (CFSE^{high}) и пролиферирующих (CFSE^{low}) CD3+ Т-лимфоцитов на 30 000 событий.

Статистический анализ результатов проводился в программной среде статистических вычислений R, дополнительно использовались пакеты Bioconductor – для анализа данных проточной цитометрии; ggplot2 – для визуализации результатов; dnm – для проведения анализа доза-эффект.

Структура изученных соединений показана на рис. 1.

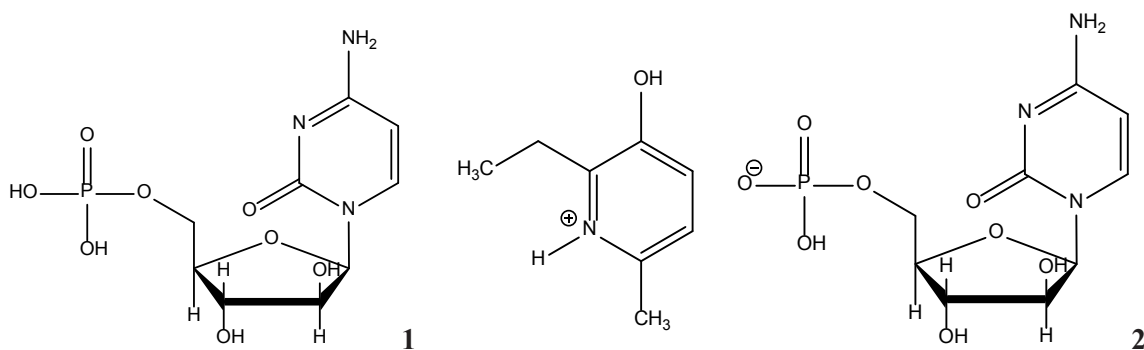


Рисунок 1 – Структура соединений, исследованных в работе: 1 - арабинофуранозилцитозин-5'-монофосфат (AFC-P), 2 - арабинофуранозилцитозин-5'-монофосфат эмоксипиновая соль (AFC-P+Em)

Как видно из данных, представленных на рис. 1, арабинофуранозилцитозин-5'-монофосфат представляет собой водорастворимый фторированный нуклеотидный аналог противовирусного агента видарабина, 9-β-D-арабинофуранозиладенаина (ара-А), который относительно устойчив к дезаминированию аденозиндезаминазой.

В организме человека флударабина фосфат быстро дефосфорилируется до 2-фтор-ара-А, который, захватываясь клетками, затем внутриклеточно фосфорилируется до активного трифосфата (2-фтор-ара-АТФ). Этот метаболит ингибирует РНК-редуктазу, ДНК-полимеразу (альфа, дельта и ипсилон), ДНК-праймазу и ДНК-лигазу, что ведет к нарушению синтеза ДНК. Кроме того, частично ингибируется РНК-полимераза II с последующим снижением белкового синтеза.

Эмоксипин является аналогом витамина В₆ – производным 3-оксипиридина с мощными антиоксидантными свойствами. В медицине эмоксипин используется как лекарственный препарат из группы антиагрегантов и антиоксидантов, и является корректором микроциркуляции. Активный компонент препарата – метилэтилпиридинол после проникновения в кровяной поток укрепляет сосуды, предотвращает их ломкость, разжижает кровь, тем самым предотвращает развитие разрушительных процессов в просвете сосудов.

Антиоксидантное действие препарата «Эмоксипин» позволяет стимулировать естественные процессы, обеспечивают нейтрализацию свободных радикалов, тем самым не допускает повреждение жизненно-важных биологических молекул.

Добавление арабинофуранозилцитозина-5'-монофосфата и арабинофуранозилцитозин-5'-монофосфат эмоксипиновой соли в концентрациях 10⁻⁶ – 10⁻⁴ М в культурах МНК влияло на жизнеспособность (viability) и пролиферативную активность (divided cells) Т-лимфоцитов (рис. 2 и 3).

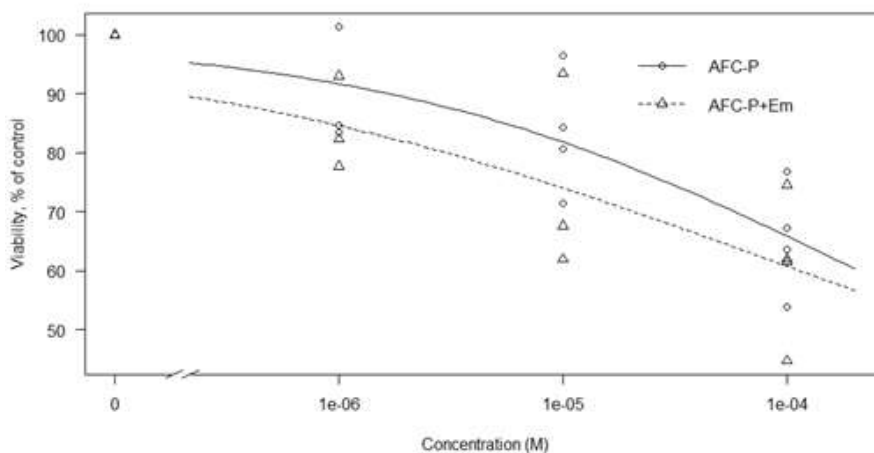


Рисунок 2 – Зависимость влияния изученных соединений на жизнеспособность МНК периферической кро-ви от концентрации

Как видно из данных, представленных на рис. 2, в исследованном диапазоне концентраций как арабинофуранозилцитозина-5'-монофосфат, так и комбинация его с эмоксипином приводят к 30–35 % снижению жизнеспособности клеток по сравнению с контролем.

Дисперсионный анализ (ANOVA) показал отсутствие статистически значимых различий влияния от-дельно арабинофуранозилцитозина-5'-монофосфата и комбинации его с эмоксипином ($p = 0,97$). Укажем, что соотношение расчётных значений ED₅₀ для AFC-P и AFC-P+Em составило 1,97, что может указывать на по-тенцирование эмоксипином цитостатического действия антиметаболита арабинофуранозилцитозина-5'-монофосфата.

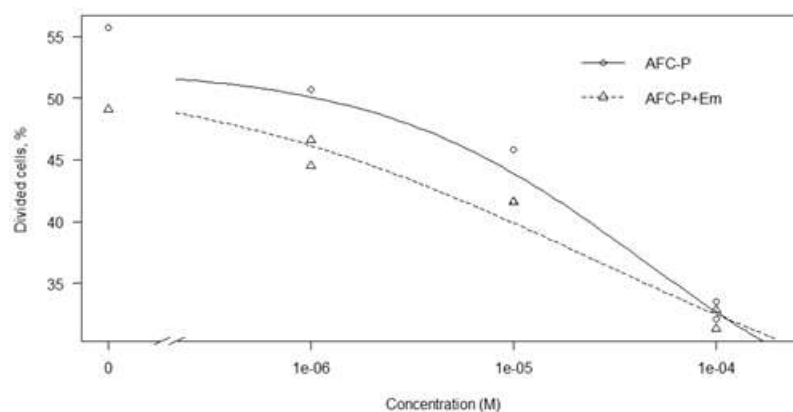


Рисунок 3 – Зависимость влияния изученных соединений на пролиферацию МНК периферической крови от концентрации

Как видно из данных, представленных на рис. 3, в исследованном диапазоне концентраций 10^{-6} – 10^{-4} М как арабинофуранозилцитозина-5'-монофосфат, так и комбинация его с эмоксипином приводят к снижению пролиферативной активности клеток по сравнению с контролем.

Дисперсионный анализ (ANOVA) показал отсутствие статистически значимых различий влияния отдельно арабинофуранозилцитозина-5'-монофосфата и его эмоксипиновой соли ($p = 0,96$). Укажем, что соотношение расчётных значений ED_{50} для AFC-P и AFC-P+Em составило 1,74, что также может указывать на потенцирование эмоксипином антипролиферативного действия антиметаболита арабинофуранозилцитозина-5'-монофосфата.

Антиметаболиты, в частности аналоги азотистых оснований и нуклеозидов, являются цитотоксическими препаратами, которые, начиная с небольшой области детской онкологии, в сочетании с другими химиотерапевтиками, значительно преобразили клиническую онкологию и превратили рак в излечимое заболевание. Однако, даже принимая во внимание тот факт, что в случае комбинирования применения химиотерапии с радиотерапией, хирургическим вмешательством либо иммунотерапией в настоящее время можно вылечить почти все виды рака, для значительной доли пациентов рак пока неизлечим. Понимание различий в метаболизме, фармакокинетике, фармакодинамике и биологии опухолей пациентов, которые могут быть вылечены, и пациентов, которые не могут, создает научную основу для совершенствования рациональной терапии.

Эмоксипин – соединение с сильными антиоксидантными свойствами – не приводит к ингибированию основной функции антиметаболита арабинофуранозилцитозина-5'-монофосфата: остановку роста и лизис клеточных мишеней. Более того, полученные результаты указывают на возможное усиление эмоксипином цитостатического и антипролиферативного действия исследованного модифицированного нуклеозидмонофосфата.

Полученные результаты способствуют лучшему пониманию молекулярных механизмов влияния антиметаболитов нуклеиновой природы на биохимические процессы и могут служить основой для целенаправленного поиска и создания новых поколений противоопухолевых препаратов.

Работа выполнена при поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (грант X18MB-019).

ЛИТЕРАТУРА

1. Impact of antioxidant supplementation on chemotherapeutic toxicity: a systematic review of the evidence from randomized controlled trials / K. I. Block [et al.] // *Int. J. Cancer*. – 2008. – № 15. – P. 1227–1239.
2. Cannabidiol attenuates cisplatin-induced nephrotoxicity by decreasing oxidative / nitrosative stress, inflammation and cell death / H. Pan [et al.] // *J. Pharmacol. Exp. Ther.* – 2008. – № 12. – P. 24–28.
3. Should supplemental antioxidant administration be avoided during chemotherapy and radiation therapy? / B.D. Lawenda [et al.] // *J. Natl. Cancer Inst.* 2008. – Vol. 100 (11). – P. 773–783.
4. Лисовская, М. В. Синтез эфиров эмоксипина / М. В. Лисовская, Е. И. Квасюк // *Журн. Белорус. гос. ун-та. Экология*. 2018. – № 4. – С. 119–127.

**МЕТОД ОБЪЕМНОЙ СФИГМОГРАФИИ
КАК СКРИНИНГОВЫЙ МЕТОД ДИАГНОСТИКИ СОСТОЯНИЯ
СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ СИСТЕМЫ У РАБОТНИКОВ ОФИСНОГО ТРУДА**

**THE METHOD OF VOLUME SPHYGMOGRAPHY
AS A SCREENING METHOD OF DIAGNOSTICS OF THE CONDITION
OF THE CARDIOVASCULAR SYSTEM IN WORKERS OF OFFICE LABOR**

Е. А. Семушина, А. В. Зеленко
А. А. Siamushyna, A. V. Zelenko

Научно-практический центр гигиены, г. Минск, Республика Беларусь
prof@rspch.by
Scientific practical centre of hygiene, Minsk, Republic of Belarus

Метод объемной сфигмографии как метод скрининговой диагностики может быть применен для диагностики состояния сердечно-сосудистой системы у работников офисного труда, который позволяет выделить группу лиц с доклиническим развитием атеросклероза различных локализаций, определить группу высокого сердечно-сосудистого риска, регистрировать уровень АД на четырех конечностях и оценить проходимость периферических артерий.

The method of volumetric sphygmography as a method of screening diagnostics can be applied to diagnose the cardiovascular system in office workers, which allows to single out a group of people with preclinical development of atherosclerosis of various localizations, identify a high cardiovascular risk group, record the level of blood pressure on four limbs and evaluate patency of peripheral arteries.

Ключевые слова: объемная сфигмография, сердечно-лодыжечный сосудистый индекс, сосудистый возраст, время подъема пульсовой волны.

Keywords: volume sphygmography, cardio-ankle vascular index, ankle-brachial index, vascular age, pulse wave rise time.

Болезни системы кровообращения (БСК) остаются основной причиной потери трудоспособности и летальности во многих странах мира. Среди БСК наибольшее распространение имеют артериальная гипертензия (АГ) и ишемическая болезнь сердца (ИБС). Эффективность предотвращения БСК напрямую зависит от того, насколько своевременно и точно будут определены факторы риска, способствующие возникновению заболеваний сердца и сосудов, оценён этот риск, и как рано будет начата профилактика.

В аспекте факторов риска БСК представляет интерес ряд особенностей трудовой деятельности банковских работников: статическая поза в связи с длительным нахождением в положении сидя, интеллектуальные нагрузки, профессиональный стресс.

Длительное удержание позы сидя имеет ряд отрицательных моментов: ухудшается легочная вентиляция, ускоряется наступление утомления; развивается застой крови в венах нижних конечностей, венозных сплетениях прямой кишки и других органов малого таза и брюшной полости; увеличивается осевая нагрузка на позвонки и межпозвонковые диски, особенно поясничного отдела позвоночника; развивается статическое перенапряжение мышц плечевого пояса и спины, что способствует развитию остеохондроза позвоночника, развитию рефлекторных миотонических синдромов с компрессией подключичной и нижней ягодичной артерий.

Существует патогенетическая связь между повышением артериального давления (АД) и дегенеративными изменениями шейного отдела позвоночника, именно поэтому среди симптоматических АГ выделена шейная гипертензия. Существуют указания, что шейный остеохондроз отягощает течение АГ, способствует повышению резистентности к проводимой гипотензивной терапии. Кроме того, дегенеративно-дистрофические изменения в шейном отделе позвоночника являются одной из причин развития «синдрома позвоночной артерии», при котором происходит нарушение кровоснабжения головного мозга в результате дисфункции позвоночных артерий, что клинически проявляется сосудистыми, вестибулярными синдромами (головокружение и др.), нарушением зрения и слуха.

Стресс – это реакция организма на ситуации, в которых требуется быстрая мобилизация сил. Однако длительное и чрезмерное психоэмоциональное напряжение, возникающее в условиях стрессовой ситуации, является одной из причин нарушения регуляции АД. Психический стресс вызывает увеличение синтеза гормонов (кортизол, адреналин), которые вызывают возрастание сосудистого тонуса, повышение сердечного выброса, увеличение частоты сердечных сокращений и, в итоге, повышение АД. Одним из клинических вариантов стрессиндуцированной АГ является «гипертония на рабочем месте», при которой уровень АД нормализуется по завершению стрессовой ситуации, однако даже такое кратковременное повышение АД (иногда до значительных

цифр) может негативно сказаться на состоянии сердца, почек и головного мозга – так же, как и при хронической гипертонии. Повышение АД в рабочее время коррелирует с более высоким риском развития поражений органов-мишеней, сердечно-сосудистых осложнений и смертности [1].

Предполагается, что большинство факторов риска реализует свое влияние на развитие БСК через воздействие на сосудистую стенку. В этом аспекте особый интерес представляет определение артериальной жесткости как интегрального показателя сердечно-сосудистого риска.

Одним из методов определения жесткости сосудистой стенки является метод объемной сфигмографии (МОС), с помощью которого измеряются и оцениваются следующие показатели: сердечно-лодыжечный сосудистый индекс (CAVI), биологический (сосудистый) возраст человека, время подъема пульсовой волны (UT), регистрируется АД на четырех конечностях и ряд других показателей

Данный метод позволяет выявить группу лиц с доклиническим развитием атеросклероза различных локализаций; определить группу высокого сердечно-сосудистого риска; регистрировать уровень АД на четырех конечностях; оценить состояния периферических артерий.

Цель исследования - изучить возможности метода объемной сфигмографии (МОС) на этапе скрининга для диагностики состояния сердечно-сосудистой системы у работников офисного труда.

Для проведения исследования были использованные следующие методы: эпидемиологический, инструментальный, аналитический, статистический.

Проведено обследование 639 работников банка с помощью МОС на аппарате VaSera VS-1500N (Япония). Статистической обработке подверглись 625 полученных результатов.

Соотношение мужчин и женщин 1:2,1; средний возраст обследуемых составил $40,17 \pm 0,75$ лет и $39,70 \pm 0,44$ лет соответственно. Работники были разделены на возрастные подгруппы: 20–29 лет, 30–39 лет, 40–49 лет, 50–59 лет, 60–66 лет.

Одним из важных показателей МОС является сосудистый возраст, который представляет собой сумму физиологического возраста и возраста при патологии, которые меняются при АГ, сахарном диабете, повышении уровня холестерина в крови, гипертрофии миокарда левого желудочка, хронической болезни почек и повышении уровня мочевой кислоты в крови. В этой связи, оценка сосудистого возраста с помощью CAVI в клинической практике помогает спрогнозировать и предотвратить развитие возможных ССЗ. На примере группы пациентов с расчетным сосудистым возрастом, превышающим их истинный паспортный возраст, подтверждено, что они являются пациентами, имеющими различные БСК и высокий риск развития сердечно-сосудистых осложнений [2]. Оценка сосудистого возраста с помощью индекса CAVI помогает спрогнозировать и предотвратить развитие возможных сердечно-сосудистых заболеваний.

В нашем исследовании расчетный сосудистый возраст превышал паспортный у 96 человек (15,34 %). Таким образом, существует целесообразность дополнительного обследования как минимум 15 % от общего числа лиц. Среди методов обследования у этих лиц обязательным представляется дуплексное сканирование сонных артерий.

Как показатель раннего атеросклероза/атеросклероза, сердечно-лодыжечный сосудистый индекс (CAVI) обеспечивает диагностику атеросклероза/атеросклероза у здоровых лиц, пациентов с АГ, гиперлипидемией, диабетом, инфарктом миокарда, инсультом.

В нашем исследовании у 4 человек (0,64 %) в возрасте до 40 лет выявлена величина индекса CAVI более 7,1 ед., что свидетельствует об ускоренном темпе старения сосудов эластического типа [3]. Два человека из них имели отягощенный семейный анамнез, у одного человека наряду с отягощенным семейным анамнезом имелась АГ. Данным лицам рекомендуется коррекция модифицируемых факторов риска развития ССЗ таких как курение, ожирение, гиподинамия, стресс, контроль уровня АД при наличии АГ и формирование у них приверженности к ведению здорового образа жизни.

Индекс CAVI превышал возрастную норму у 6 человек (0,96 %), что является независимым предиктором неблагоприятных сердечно-сосудистых событий. У этих же лиц расчетный сосудистый возраст превышал паспортный, в анамнезе у всех присутствовала АГ, у одного – сахарный диабет 2 типа. Данным лицам помимо коррекции модифицируемых факторов риска развития ССЗ необходим контроль уровня АД и гликемии крови, а также проведение дополнительного обследования для исключения атеросклеротического поражения сосудов.

Индекс CAVI более 9 ед. отражает предел жесткости сосудистой стенки, после которого формируется качественно новое состояние сосудистой системы, при котором демпфирующая функция аорты уже не обеспечивает достаточный перевод энергии систолы в энергию диастолы. Это приводит к повышению центрального САД и существенной нагрузке на левый желудочек, к снижению ДАД и нарушению коронарного кровотока, к существенному увеличению сердечно-сосудистой смертности. В случае величины индекса CAVI более 9 ед. при коронарографии определяются гемодинамически значимые сужение коронарных артерий, а при величине 10 ед. и более – множественное поражение коронарных артерий [4]. В нашем исследовании CAVI более 9 ед. был выявлен у 2 человек (0,32 %), при этом в анамнезе у этих лиц присутствовала АГ. Для исключения атеросклеротического поражения коронарных и брахиоцефальных артерий у данных лиц, рекомендовано выполнение УЗИ сосудов названных областей и биохимический анализ крови.

С целью изучения динамики показателей объемной сфигмографии, таких как индекс CAVI и расчетный сосудистый возраст, были рассчитаны эти показатели в каждой возрастной подгруппе (табл. 1)

Таблица 1 – Показатели объемной сфигмографии в возрастных подгруппах, $M \pm m$, Me (P25; P75)

Параметры	Возрастные подгруппы (лет)					Статистическое значение различий
	20–29 лет, n = 93	30–39 лет, n = 242	40–49 лет, n = 163	50–59 лет, n = 116	60–66 лет, n = 11	
Расчетный сосудистый возраст справа (лет)	23,5±0,38	27,32±0,46	32,59±0,86	45,38±1,21	54,55±4,00	H = 182,5552; p = 0,000000; Z1-2 = 3,06867; p = 0,021502; Z1-3 = 5,72182; p = 0,000000 Z1-4 = 11,24630; p = 0,000000 Z1-5 = 6,26242; p = 0,000000 Z2-3 = 3,662119; p = 0,002501; Z2-4 = 10,62924; p = 0,000000; Z2-5 = 5,23081; p = 0,000002; Z3-4 = 6,845455; p = 0,000000; Z3-5 = 3,950926; p = 0,000078
R-CAVI (ед.)	5,7 (5,2; 6,1)	5,9 (5,4; 6,4)	6,3 (5,7; 6,8)	7,0 (6,5; 7,65)	7,8 (7,3; 8,6)	H = 164,8296; p = 0,000000; Z1-3 = 5,72323; p = 0,000000; Z1-4 = 10,6722; p = 0,000000; Z1-5 = 5,86095; p = 0,000000; Z2-3 = 4,22141; p = 0,000243; Z2-4 = 10,35561; p = 0,000000; Z2-5 = 5,03661; p = 0,000005; Z3-4 = 6,105917; p = 0,000000; Z3-5 = 3,611281; p = 0,003047

Как видно из таблицы, показатели индекса R-CAVI и расчетный сосудистый возраст справа статистически значимо различались во всех возрастных подгруппах, что указывает на их высокую чувствительность и подтверждают литературные данные о повышении сосудистой жесткости с возрастом.

Уровень АД на верхних конечностях выше 140/90 мм рт. ст. зафиксирован у 229 человек (36,64 %), из них в анамнезе имели АГ 122 человека (53,26 %). При этом, систематически принимали антигипертензивные препараты 54,92 %, а целевые значения АД (меньше 140/90 мм рт. ст.) были достигнуты у 9,84 %.

При анализе полученных данных было выявлено, что медиана уровня систолического АД (САД) у лиц до 29 лет находится в пределах нормальных значений, от 30 до 49 лет – соответствует высоким нормальным значениям, а после 50 лет – высоким значениям (рис. 1).

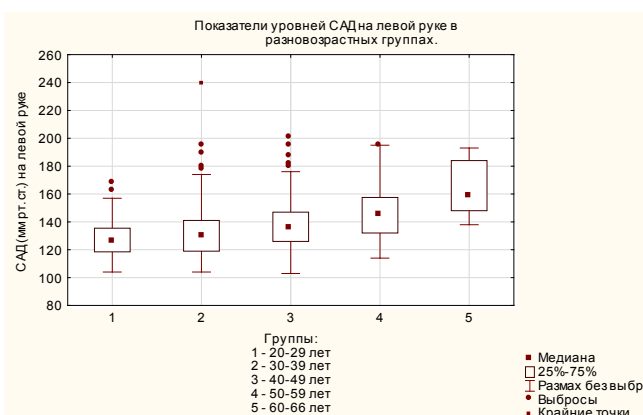


Рисунок 1 – Показатели САД на левой руке в зависимости от возраста

С целью более точного анализа показателей объемной сфигмографии были исследованы эти показатели в каждой возрастной подгруппе (табл. 1) Как видно из таблицы, показатели индекса R-CAVI и расчетный сосудистый возраст справа статистически значимо различались во всех возрастных подгруппах, что указывает на их высокую чувствительность.

Для анализа распространенности дегенеративных изменений шейного и поясничного отделов позвоночника среди обследованных лиц был проанализирован такой показатель МОС, как время подъема пульсовой волны (R/L-UT). Данный показатель отражает риск сужения артерий головы и шеи, верхних и нижних конечностей в результате атеросклероза, воспалительных изменений, а также внесосудистых причин (механическая компрессия в результате мышечного спазма, послеоперационных рубцов, костная и хрящевая патология позвоночного столба, остеохондроз, сколиоз). Увеличение данного показателя на верхних конечностях отмечалась у 119 обследованных лиц (19,04 %), на нижних конечностях – у 73 лиц (11,68 %). При изучении взаимосвязи показателя UT с уровнем САД было выявлено, что у лиц с уровнем САД на верхних конечностях выше 140 мм рт. ст. увеличение значения UT встречается в 44,54 % случаев, а на нижних конечностях – в 32,31 % случаев.

Важным преимуществом МОС является не только возможность одновременно регистрировать уровень АД на верхних и нижних конечностях, но и возможность наглядной оценки баланса уровня АД в четырех сосудистых бассейнах.

В норме уровень САД на нижних конечностях выше, чем на верхних (на 10–20 мм рт. ст.). У большинства обследованных работников (76,98 %) отмечалось нарушение баланса САД между верхними и нижними конечностями (разница САД менее 5 мм рт. ст.). Возможно, это обусловлено длительным нахождением в положении сидя, в результате чего развивается застой крови в венах нижних конечностей, венозных сплетениях органов малого таза и брюшной полости и нарушение притока артериальной крови к данным органам.

Асимметрия САД может быть обусловлена как внутри, так и внесосудистыми причинами. Асимметрия САД на руках, превышающая 15 мм рт. ст., обусловленная внутрисосудистыми причинами, является не только предиктором поражения периферических артерий и цереброваскулярной патологии, но и значимо ассоциируется с увеличением риска сердечно-сосудистой и общей смертности [5].

В нашем обследовании асимметрия САД на руках более 15 мм рт. ст. выявлена у 50 человек (8 %), асимметрия САД на голенях также у 50 человек (8 %). Для выяснения причины выявленной асимметрии у этих лиц следует провести дополнительное обследование (консультация невролога, рентгенограмма шейного и поясничного отделов позвоночника, УЗИ артерий головы и шеи, верхних и нижних конечностей).

Таким образом, можно сделать следующие выводы:

1. Индекс САVI обладает высокой степенью чувствительности даже при небольшом объеме выборки как показатель риска развития БСК (0,96 % лиц составляет группу высокого сердечно-сосудистого риска и подлежат дополнительному обследованию с последующей коррекцией выявленных факторов сердечно-сосудистого риска; у 0,64 % лиц в возрасте до 40 лет выявлен ускоренной темп старения сосудов эластического типа).

2. Определение сосудистого возраста указывает на целесообразность дополнительного обследования как минимум 15 % от общего числа обследованных лиц с рекомендациями, увеличивающими приверженность данных лиц к соблюдению здорового образа жизни.

3. Частота выявленного высокого АД среди обследованных лиц (36,64 %) свидетельствует о недооценке работниками значимости факторов риска развития БСК и необходимости ранней диагностики БСК с целью предупреждения сердечно-сосудистых осложнений. Для диагностики «гипертензии рабочего места» целесообразно производить измерения АД на работе, а также суточного мониторирования АД.

4. Учитывая отягощающее влияние шейного остеохондроза на течение АГ, целесообразно проводить своевременную диагностику и коррекцию данного заболевания с использованием физиотерапевтических процедур (в том числе, с помощью портативных приборов) без отрыва от производства, а также обеспечить усовершенствование рабочих мест (использование кресел со спинкой, повторяющей физиологические изгибы позвоночника и имеющих регулировку по высоте, использование специальных ортопедических подушек на сидения).

5. Учитывая высокий процент (76,98 %) выявленного нарушенного баланса САД между верхними и нижними конечностями у работников банка, обусловленный длительным нахождением в положении сидя, целесообразно организация лимитированных перерывов в трудовом процессе с осуществлением кардионагрузок (например, спуск и подъем по лестнице в умеренном темпе).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Остроумова, О. Д.* Гипертония на рабочем месте / О. Д. Остроумова, Е. И. Первичко, З. М. Барышникова // Российский медицинский журнал. – 2006. – Т. 14. – № 4. – С. 213–217.

2. *Гайсёнок, О. В.* Применение индекса САVI в клинической практике: расчетный сосудистый возраст как инструмент для принятия решения о дополнительном обследовании пациентов с сердечно-сосудистыми заболеваниями / О. В. Гайсёнок [и др.] // Кардиология. – 2015. – Т. 55. – № 7. – С. 51–56.

3. *Милягин, В. А.* Определение раннего ремоделирования (старения) сосудов / В. А. Милягин, Ю. Н. Лексина, И. В. Милягина // Архив внутренней медицины [Электронный ресурс]. – 2012. – №4. – URL: <http://medarhive.ru/2012/22012-/107.html>. (дата обращения: 16.07.2018).

4. *Miyoshi, T.* Cardio-ankle vascular index is independently associated with the severity of coronary atherosclerosis and left ventricular function in patients with ischemic heart disease / T. Miyoshi [et al.] // J. Atheroscler. Thromb. – 2010. – Vol. 17. – № 3. – P. 249–258.

5. *Clark, C. E.* Association of a difference in systolic blood pressure between arms with vascular disease and mortality: a systematic review and meta-analysis / C. E. Clark, R. S. Taylor, A. C. Shore, O. C. Ukoumunne, J. L. Campbell // Lancet. – 2012. – Vol. 380, № 9819. – P. 905–914. DOI: 10.1016/S0140-6736(11)61710-8.

СПОСОБЫ ОЦЕНКИ И ПОВЫШЕНИЯ НЕСПЕЦИФИЧЕСКОЙ РЕЗИСТЕНТНОСТИ ОРГАНИЗМА КУРСАНТОВ ВОЕНИЗИРОВАННЫХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

THE WAYS OF ASSESSMENT AND INCREASING ORGANISM'S NONSPECIFIC RESISTANCE OF CADETS OF THE MILITARY EDUCATION INSTITUTIONS

О. К. Сунякова¹, И. А. Потоцкая²
O. Siniakova¹, I. Potockaya²

¹Научно-практический центр гигиены, г. Минск, Республика Беларусь

²Университет гражданской защиты Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь, г. Минск, Республика Беларусь
prof@rspch.by

¹Scientific practical centre of hygiene, Minsk, Republic of Belarus

²University of Civil Protection of the Ministry for Emergency Situations of Belarus, Minsk, Republic of Belarus

На курсантов военизированных учебных заведений воздействуют стрессорные факторы, характерные для учебного процесса, к которым присоединяются значительные и длительные физические нагрузки, что может неблагоприятно повлиять на их состояние здоровья. В структуре заболеваемости основное место занимают болезни органов дыхания. Донозологическая диагностика является основой профилактики заболеваний среди курсантов и обеспечит пациент-ориентированный подход в медицинском наблюдении за их состоянием здоровья, позволяет сформировать программу оздоровительных и закаливающих мероприятий.

There are many stressful factors which influence on cadets of military educational institutions, such as factors of educational process and the long-lived exercise stress, that can adversely affect their state of health. Respiratory diseases take the main place in structure of morbidity. Preclinical diagnostics is a basis of prophylaxis of diseases, provides the patient-oriented approach in their medical overseeing, allows to create the program of the improving and hardening actions/

Ключевые слова: адаптация, функциональное состояние организма, закаливание.

Keywords: adaptation, functional state of organism, hardening.

Одной из важнейших составляющих образовательного процесса в военизированных учебных заведениях, способствующей успешному освоению профессиональных навыков и компетенций, является медицинское обеспечение, направленное на сохранение и укрепление здоровья обучающихся. Здоровье курсанта является одним из главных условий как обучения в военизированном учебном заведении, так и в дальнейшем профессиональной деятельности. Следует отметить, что студенты любого высшего учебного заведения подвержены воздействию стрессового фактора, связанного с интенсивной интеллектуальной деятельностью. У курсантов военизированных учебных заведений к напряженному учебному процессу присоединяются также значительные и длительные физические нагрузки, что может неблагоприятно отражаться на состоянии здоровья.

Следует отметить, что для прогнозирования изменений в состоянии здоровья курсантов и студентов перспективным является рассмотрение данной проблемы с позиций теории адаптации. Оценивая адаптационные возможности организма, определяющие его неспецифическую резистентность к воздействию эндо- и экзогенных факторов, можно спрогнозировать развитие заболеваний и планировать соответствующие реабилитационные и оздоровительные мероприятия.

Многолетний анализ заболеваемости курсантов Университета гражданской защиты (далее – УГЗ) МЧС Республики Беларусь (до 2016 г. – Командно-инженерный институт МЧС Республики Беларусь, далее – КИИ) показывает, что по данным обращаемости в медицинскую службу в структуре первичной заболеваемости первое место в течение многих лет занимают болезни органов дыхания. За период с 2013 г. по 2016 г. доля болезней органов дыхания в структуре заболеваемости выросла с 54,9 % до 69,1 %. Среди болезней органов дыхания основную часть составляют легкие формы острых респираторных вирусных инфекций.

Исследования адаптационных возможностей организма курсантов КИИ с акцентом на адаптацию сердечно-сосудистой системы как универсальный индикатор адаптационных возможностей организма в целом, проведенные в 2005–2006 гг., продемонстрировали, что среди курсантов в первые годы обучения выявлено значительное количество лиц с напряжением адаптационных механизмов.

Медицинский контроль состояния здоровья курсантов УГЗ, а ранее – КИИ осуществляется системой медицинских обследований и осмотров, организуемых и проводимых медицинскими работниками. К ним относятся медицинские обследования курсантов – первичные (при приеме на учебу) и ежегодные углубленные; телесные осмотры; повседневное медицинское наблюдение за личным составом, в том числе при занятиях по физической и аварийно-спасательной подготовке.

Тенденции заболеваемости курсантов, выявленные изменения адаптационных возможностей организма демонстрируют необходимость реализации программы оздоровления обучающихся, целью которой является профилактика физиологической и социальной дезадаптации, своевременная коррекция функционального статуса и, как следствие, снижение уровня заболеваемости.

Для успешной реализации подобной программы необходимо решить следующие задачи:

- разработать систему мониторинга морфофункционального статуса и уровня здоровья обучающихся;
- внедрить в практику работы медицинской службы доступные и информативные методы оценки функционального состояния обучающихся;
- разработать и внедрить систему профилактических мероприятий, направленных на предупреждение снижения адаптационных возможностей организма обучающихся, реабилитацию лиц, у которых выявлены донозологические и преморбидные состояния.

Практика изучения состояния здоровья и морфофункционального статуса организма в условиях организованных учебных и трудовых коллективов продемонстрировала перспективность проведения мониторинга состояния здоровья с учетом конституциональных особенностей организма. Известно, что конституция определяет морфофункциональный статус организма, особенности его реагирования на условия среды. Таким образом, именно конституциональный подход является основополагающим при изучении адаптационных резервов организма и уровней здоровья.

Для проведения конституциональной диагностики и оценки адаптационных резервов организма в условиях медицинской службы ВУЗа нами рекомендуются наиболее простые и доступные методики.

Для оценки адаптационных резервов организма (уровня здоровья) Р.М. Баевским с соавторами предложена формула определения адаптационного потенциала (АП), которая удобна при массовых профилактических обследованиях взрослого населения:

$$АП = 0,011 (ЧСС) + 0,014 (САД) + 0,008 (ДАД) + 0,014 (В) + 0,009 (МТ) - 0,009 (ДТ) - 0,27,$$

где АП – адаптационный потенциал (баллы); ЧСС – частота сердечных сокращений (ударов в минуту); САД – систолическое артериальное давление (мм.рт.ст.); ДАД – диастолическое артериальное давление (мм.рт.ст.); В – возраст (лет); МТ – масса тела (кг); ДТ – длина тела (см).

Оценка АП соответствует определенному уровню функционального состояния организма: 2,1 балла и меньше – состояние удовлетворительной адаптации; 2,11–3,2 балла – состояние напряжения адаптационных механизмов; 3,21–4,3 балла – неудовлетворительная адаптация; 4,31 балла и более – срыв адаптации.

Соматотипическая диагностика чаще всего реализуется путем дифференциации учащихся по типам телосложения (соматотипы).

К наиболее доступным схемам соматотипирования относится метод М. В. Черноруцкого, основанный на оценке индекса Пинье, по значениям которого возможно выделение 3 типов: астенического, нормостенического и гиперстенического.

В практике белорусских исследователей для конституциональной диагностики все чаще применяется метод, разработанный сотрудниками отдела антропологии и экологии ИИЭФ им. К. Крапивы НАН Беларуси И. И. Саливон и Н. И. Полиной (2003). Указанный подход рекомендуется в практике организованных коллективов по ряду причин: он относительно прост, учитывает непрерывность распределения конституциональных признаков в популяции, характеризует основные морфологические особенности организма и может применяться для соматотипирования любой возрастной группы.

Данный метод предусматривает использование 12 наиболее информативных морфометрических признаков, по значениям которых вычисляются индексы:

- ИВР – индекс весо-ростовой (отношение массы тела (кг) к длине тела (см), умноженное на 100);
- ИФГК – индекс формы грудной клетки (отношение сагиттального диаметра грудной клетки (мм) к ее поперечному диаметру (мм), умноженное на 100);
- СЖС4 – средняя величина 4-х жировых складок (на задней поверхности плеча в средней его трети, на передней поверхности бедра в верхней его трети, под лопаткой, на животе на уровне пупка);
- СДЭПБ – средняя величина эпифизов плеча и бедра;
- СОБПрГ – средняя величина обхватов предплечья над запястьем и голени над лодыжками.

Для соматотипирования индивида указанные параметры следует соотнести с нормативными значениями, рассчитанными для конкретной возрастной группы. С этой целью могут быть использованы оценочные шкалы, полученные В.В. Кривицким при исследовании физического развития юношей-первокурсников КИИ и Белорусского государственного педагогического университета им. М. Танка (Кривицкий, 2005). Показатели, полученные расчетным методом, сравниваются с табличными данными и получают соответствующую оценку в баллах. По результатам суммирования баллов определяется соматотип, имеющий определенные морфологические характеристики:

- лептосомный – тонкосложенный тип с тонким скелетом, невыраженным подкожным слоем жира, слабо выраженной скелетной мускулатурой;
- мезосомный – среднесложенный тип, характеризующийся средней степенью развития скелетной мускулатуры и подкожножировой клетчатки;

- гиперсомный – широкосложенный тип, характеризующийся массивным скелетом, хорошо развитой мускулатурой, повышенным жиротложением.

Помимо трех основных соматотипов выделяются также крайние варианты развития лептосомии и гиперсомнии – астенизированный лептосомный и адипозный гиперсомный типы, и переходные типы – мезолептосомный и мезогиперсомный.

Для оценки адаптационных возможностей организма в практике массовых осмотров предпочтительным является использование аппаратных методов оценки функционального состояния организма, в основу которых положен анализ variability сердечного ритма как универсальный критерий оценки адаптационных и функциональных резервов организма. Данные методики относятся к сфере донозологической диагностики, которая направлена на изучение функционального состояния организма, его адаптационных резервов и установление донозологических состояний организма, при которых оптимальные адаптационные возможности обеспечиваются более высоким напряжением регуляторных систем, что приводит к повышенному расходу функциональных резервов организма.

Методика оценки функционального состояния организма на основании анализа variability сердечного ритма реализуется в программно-аппаратном комплексе «Омега М». По результатам обследования определяются следующие нормированные показатели функционального состояния организма на момент исследования: А – уровень адаптации организма; В – уровень вегетативной регуляции, отражающий функциональные резервы; С – уровень центральной (нейроэндокринной) регуляции, отражающий энергетические резервы организма; D – показатель психоэмоционального состояния, отражающий глубину воздействия стрессовых ситуаций на организм; H (Health) – интегральный показатель функционального состояния организма на момент обследования.

По итогам оценки адаптационных возможностей организма, проведенных либо расчетным методом, либо с помощью программно-аппаратного комплекса, курсантов можно разделить на 4 группы:

- 1 группа – удовлетворительная адаптация;
- 2 группа – напряженная адаптация;
- 3 группа – неудовлетворительная адаптация;
- 4 группа – срыв адаптации.

У курсантов, отнесенных к 4 группе, можно диагностировать дезадаптационное состояние, они нуждаются в проведении фармакологической коррекции. Фармакологическая коррекция проводится по строгим медицинским показаниям и только под контролем врача, при этом используются фармакологические средства различной направленности (седативные средства растительного происхождения, природные антидепрессанты – препараты на основе зверобоя, препараты, обладающие общетонизирующим и иммуномоделирующим действием и др.).

Остальным курсантам рекомендуется введение закаливающих мероприятий. При этом закаливание будет рассматриваться как комплексная система оздоровительных процедур, направленных на достижение устойчивости организма к неблагоприятному воздействию факторов окружающей среды.

Закаливающие процедуры позволяют использовать природные факторы – воздух, воду, солнце - для целенаправленного повышения функциональных резервов организма и его устойчивости к неблагоприятному воздействию факторов окружающей среды путем систематического тренирующего дозированного воздействия ими. Закаливание оказывает на организм как специфическое, так и неспецифическое действие. Специфическое действие заключается в стимулировании защитных реакций практически всех систем организма, изменении его терморегуляторных свойств. Неспецифическое действие затрагивает многие системы организма: эндокринную (активация деятельности на начальном этапе закаливания), центральную нервную систему (увеличение подвижности нервных процессов), сердечно-сосудистую и дыхательную системы. В процессе закаливания изменяется активность клеточных ферментов, физико-химического состояния клеток.

Следует отметить, что наиболее выраженное тренирующее воздействие на организм оказывают водные процедуры – обтирание, а затем и обливание водой, контрастный душ. Не менее важны местные закаливающие процедуры – полоскание носоглотки, обливание стоп холодной водой либо по принципу контрастного закаливания (чередование горячей и холодной воды). Высшими формами закаливания являются обтирание снегом и зимнее плавание.

Закаливание воздухом (воздушные ванны) оказывают более щадящее действие на организм и являются весьма эффективными при сочетании с физическими нагрузками. В условиях военизированных учебных заведений это может быть проведение утренней физической зарядки на открытом воздухе в облегченной одежде или с голым торсом, бег на лыжах без верхней одежды, в осенне-зимний период переход между зданиями без верхней одежды и т.д. подобный подход является отражением принципа активного режима в закаливании.

Выделяют 3 режима закаливания – начальный, оптимальный и специальный. Начальный режим предполагает использование слабых холодных или теплых процедур. Оптимальный режим предполагает применение средств закаливания в широком диапазоне. Специальный режим предполагает наиболее жесткие температурные воздействия (например, зимнее плавание), допуск к его использованию осуществляется только врачом.

Для решения вопроса о возможности использования средств начального или оптимального режима закаливания применяется проба на закаленность: проводится охлаждение стоп водой температурой 14–16 °С, при этом подсчитывается частота пульса до охлаждения и через 2 мин после прекращения охлаждения. Если к 3-й мин после прекращения охлаждения частота пульса не восстанавливается, охлаждение вызывает резкие неприятные

ощущения, то закаливание назначается по начальному режиму; при восстановлении пульса до исходной величины рекомендуется оптимальный оздоровительный режим закаливания. Проба повторяется через 3 недели после начала закаливания.

Для достижения наилучшего эффекта закаливания рекомендуется соблюдать принцип «от простого к сложному», предполагающий постепенный переход от щадящих процедур к более сильным воздействиям. Эффективность закаливания усиливается многократно при соблюдении принципа многофакторности, т. е. одновременного воздействия нескольких закаливающих факторов.

Закаливающие процедуры должны проводиться систематически – ежедневно, без длительных перерывов, т.к. только регулярность процедур обеспечивает повышение способности нервной системы адаптироваться к меняющимся условиям внешней среды.

При планировании закаливающих процедур важно соблюдать индивидуальный подход, предполагающий учет не только состояния здоровья, но и состояния адаптации курсантов. Закаливающие мероприятия курсантам со срывом адаптации (4 группа) можно проводить только после проведения полного курса фармакологической коррекции.

Курсантам, имеющим неудовлетворительную адаптацию (3 группа), закаливающие мероприятия необходимо проводить в начальном режиме, предполагающим использование слабых холодовых или тепловых процедур (воздушных ванн, обтираний, обливаний). Курсантам с напряженной и удовлетворительной адаптацией (1 и 2 группа) возможно применение оптимального режима закаливания, предполагающего применение средств закаливания в широком диапазоне.

Лицам с лептосомным соматотипом также следует начинать закаливание со слабых температурных воздействий, лицам с мезосомным и особенно гиперсомным типом возможно применение закаливающих процедур в более широком диапазоне.

Таким образом, организация оздоровительных мероприятий в военизированных учебных заведениях должна быть персонализированной, с учетом оценки функционального состояния организма, его адаптационных возможностей и конституциональных особенностей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Агаджанян, Н. А. Функциональные резервы организма и теория адаптации / Н. А. Агаджанян, Р. М. Баевский, А. П. Бересенева // Вестн. восстановительной медицины. – 2004. – № 3 (9). – С. 4–10.
2. Баевский, Р. М. Оценка эффективности профилактических мероприятий на основе измерения адаптационного потенциала системы кровообращения / Р. М. Баевский, А. П. Бересенева, В. К. Вакулин и др. // Здравоохранение РСФСР. – 1987. – № 9. – С. 6–10.
3. Коновалов, А. И. Медико-социальные аспекты адаптации курсантов высших военно-учебных заведений профессионального образования к учебе и военной службе: автореф. дис. ...канд. мед. наук: 14.00.33 / А. И. Коновалов; Военно-мед. ин-т Федеральной Пограничной Службы РФ. – Иваново, 2003. – 24 с.
4. Кривицкий, В. В. Конституциональный подход как основа эффективной оценки функциональной и психической адаптации курсантов к условиям обучения / В. В. Кривицкий, О. К. Синякова // Инновационные технологии защиты от чрезвычайных ситуаций: сб. тезисов докладов междунар. науч.-практ. конференции, Минск, 2–3 октября 2008 г. – Минск: КИИ МЧС РБ, 2008. – С. 98–99.
5. Кривицкий, В. В. Функциональный статус учащихся вузов на начальных этапах обучения / В. В. Кривицкий // Весці Нацыянальнай Акадэміі Навук Беларусі. Серия биологических наук. – 2005. – № 5, Ч.1. – С. 135–137.
6. Синякова, О. К. Организация оздоровительных мероприятий в учреждениях образования МЧС Республики Беларусь на основании конституционального подхода / О. К. Синякова [и др.] // Военная медицина: журнал (БГМУ) 2017. № 3/2017. – С. 76–80.

ЦИТОТОКСИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК CYTOTOXIC EFFECTS OF CARBON NANOTUBES

A. A. Строгова, С. Н. Шахаб
A. Strogova, S. Shahab

*Белорусский государственный университет, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ,
г. Минск, Республика Беларусь
a_strogova@bk.ru
Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus*

Использование углеродных нанотрубок в биолого-медицинской области имеет ряд существенных преимуществ, что обеспечивается особенностями данных структур. Однако с ростом интереса к углеродным нанотрубкам в качестве переносчиков лекарственных препаратов в клетки человека, растёт и необходимость

исследования их влияния на здоровье человека, которые оказывают углеродные нанотрубки как сами по себе, так и в комплексе с лекарственными препаратами.

Applying carbon nanotubes in biomedical field has variety valuable benefits which are provided by the properties of this structures. However, with the increasing interest in carbon nanotubes as carriers of molecules into human cells, the need for exploring of influences on human well-being which carbon nanotubes have on its own and in complex with medications is also increasing.

Ключевые слова: углеродные нанотрубки, нейтрофилы, кератиноциты, альвеолярные макрофаги.

Key words: carbon nanotubes, neutrophils, keratinocytes, alveolar macrophages.

Углеродные нанотрубки являются перспективным полем для фармакологических исследований благодаря их уникальной способности абсорбировать и конъюгировать широкий спектр соединений, при этом не подвергаясь метаболизму. Многие исследования показали, что лекарственные соединения, которые связаны с углеродными нанотрубками, доставляются более безопасно и эффективно в клетки, чем традиционными методами [2; 3]. Примерами соединений, обладающих широким спектром фармакологических свойств, которые могут переноситься углеродными нанотрубками, являются куркумин (рис. 1) и некоторые производные пиримидина (рис. 2) [3; 4].

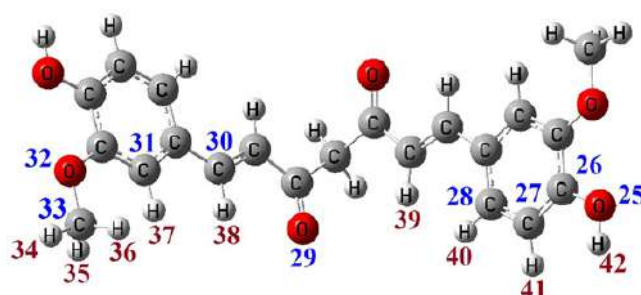


Рисунок 1 – Молекулярная структура куркумина (1,7-Бис(4-гидрокси-3-метоксифенил)-1,6-гептадиен-3,5-дион)

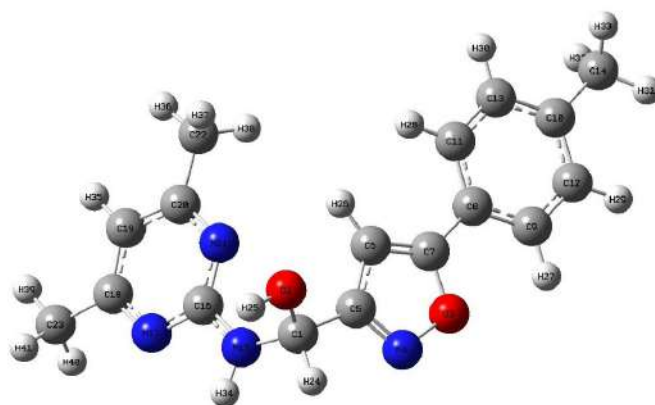


Рисунок 2 – Пример производного пиримидина ((4,6 – диметилпиримидин-2-иламино) (5-р-толисоксазол-3-ил)метанол)

Куркумин обладает разнообразием фармакологических действий: противовоспалительное, антибактериальное, антиоксидантное, что делает вопрос о его доставке в клетки очень актуальным. Для куркумина описано и математически рассчитано термодинамически наиболее выгодное положение в комплексе с одностенной углеродной нанотрубкой с параметрами (8,0–6) (рис. 3) [4].

Углеродные нанотрубки состоят только из атомов углерода, которые соединены и конденсированы в виде полой трубки, т.е. представляют собой одну или несколько свернутых графеновых плоскостей (рис. 4). В зависимости от количества слоёв принято выделять два вида углеродных нанотрубок: одностенные и многостенные. Как одностенные, так и многостенные нанотрубки являются структурами нерастворимыми или труднорастворимыми в любом растворителе из-за их высокой гидрофобной поверхности. Для обеспечения их растворимости обычно присоединяют поверхностно-активные вещества или полимеры к стенкам или к концам нанотрубок [3; 4]. Именно функционализация снижает цитотоксичность и иммуногенность углеродных нанотрубок, делая их гидрофильными.

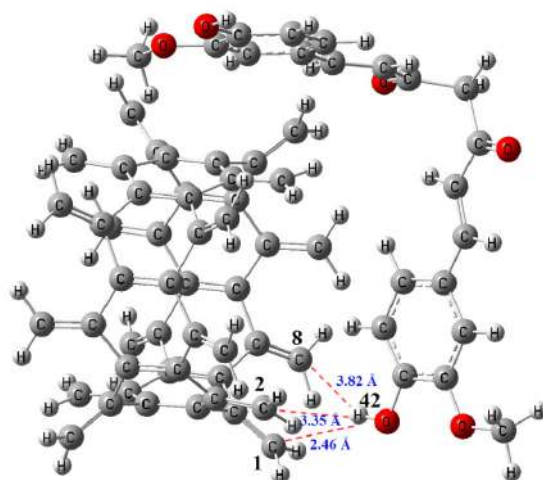


Рисунок 3 – Образование межмолекулярной водородной связи между нанотрубкой и куркумином

Углеродные нанотрубки могут связывать большое количество различных биологически активных молекул от небольших пептидов до белков и нуклеиновых кислот. Особенной чертой использования нанотрубок углеродного происхождения для целевой доставки препаратов является повышение селективности препаратов с обеспечением минимальных потерь лекарственного препарата. Показано также, что наличие противоопухолевых агентов на поверхности углеродных нанотрубок способно повышать эффективность самого препарата [1]. Современные исследования показали способность нанотрубок проникать внутрь клетки, однако механизмы проникновения в клетку до сих пор неизвестны. Одним из предполагаемых механизмов является эндоцитоз, альтернативным ему механизмом некоторые авторы выделяют пассивную диффузию через липидный бислой без инициирования клеточной гибели [4].

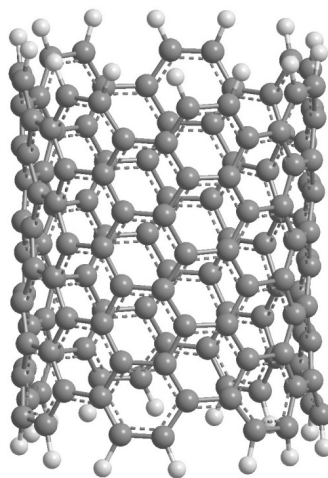


Рисунок 4 – Одностенная углеродная нанотрубка (7,0–7,0)

Проникая в клетку, несмотря на свои положительные характеристики для доставки терапевтических препаратов, углеродные нанотрубки способны оказывать собственное влияние на клетки животных. Исследование нейтрофилов человека показало рост уровня фактора некроза альфа, а также концентрации супероксид аниона, при этом существенно снижалась жизнеспособность клетки. Воздействие на кератиноциты углеродными нанотрубками связывают с действием на пролиферацию клеток и увеличением оксидативного стресса.

В работах по изучению оксидативного стресса, вызванного одностенными углеродными нанотрубками на клетки линии HaCaT, были использованы разные концентрации нанотрубок. По возрастанию интенсивности флуоресценции специально введённого дихлорофлуоресцина оценивалось образование активных форм кислорода. Была обнаружена дозовая зависимость действия на кератиноциты [4]. Образование активных форм кислорода объясняется наличием в составе углеродных нанотрубок катализаторов на основе металлов переходной валентности, таких как железо или никель. В составе многостенных углеродных нанотрубок железо не было об-

наружено. Это подтверждается в работах по изучению взаимодействия альвеолярных макрофагов с углеродными нанотрубками: наибольшей цитотоксичностью обладают именно одностенные нанотрубки [4].

Сравнительный анализ цитотоксического эффекта, который оказывают не модифицированные многостенные углеродные нанотрубки и окисленные их формы на клетки линии Jurkat показал, что последние оказывают большее токсическое влияние [2].

Внесение многостенных углеродных нанотрубок в культуру клеток RAW 264.7 (мышинные макрофаги, рис. 5) не вызывает снижения уровня жизнеспособности, но сопровождается повышением концентрации уровня лактатдегидрогеназы, выступающего в качестве маркера повреждений клеточных мембран. Уровень лактатдегидрогеназы повышался в экспериментах спустя 48 часов при всех дозировках [5].

Внесение в культуру RAW 264.7 одностенных углеродных нанотрубок показало снижение жизнеспособности вне зависимости от дозы уже через 24 ч, спустя 48 ч наблюдалось снижение жизнеспособности до 78 % при дозе 2,4 мкг/см² и снижение до половины при дозе 24 мкг/см² [5].

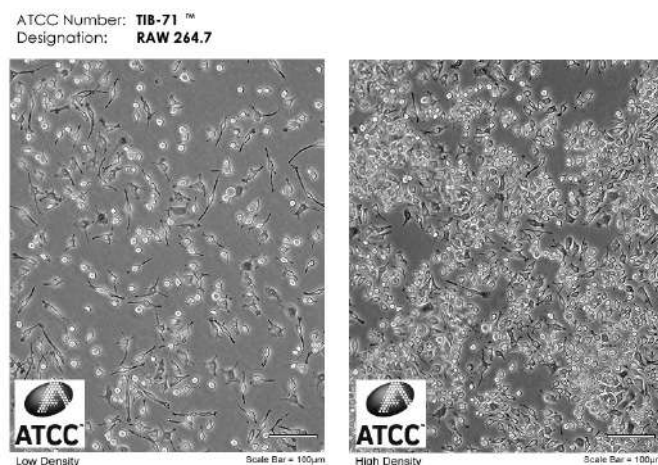


Рисунок 5 – Культура макрофагальных клеток мыши (RAW 264.7)

Исходя из экспериментальных данных, можно сказать, что использование углеродных нанотрубок может привести как к значительному увеличению терапевтического эффекта доставляемых лекарств, так и к непредсказуемым влияниям на клетки и ткани человека. Цитотоксичность углеродных нанотрубок зависит от многих параметров: вида нанотрубки, типа модификации поверхности, а также особенностей конъюгированной группы и других. Именно влияние многих параметров как нанотрубок, так и клеток, на которые направлено действие переносимых лекарственных препаратов, делает исследование цитотоксичности актуальным. Для внедрения данных структур в отрасль здравоохранения необходимо рассмотреть все возможные эффекты углеродных нанотрубок на клеточном, тканевом, а также организменном уровне. Сравнительный анализ токсичности углеродных нанотрубок на различные популяции клеток только набирает обороты, вследствие чего уже имеющиеся экспериментальные данные носят разнонаправленный характер.

ЛИТЕРАТУРА

1. Klumpp, C. Functionalized carbon nanotubes as emerging nanovectors for the delivery of therapeutics / Cedrick Klumpp [et al.] // *Biochimica et Biophysica Acta*. 2006. – Vol. 1758. – P. 404–412.
2. Shahab, S. N. DFT investigations (geometry optimization, UV/Vis, FR-IR, NMR, HOMO-LUMO, FMO, excited states) and the syntheses of new pyrimidine dyes / Shahab Siyamak [et al.] // *Chinese J. Struct. Chem.* 2018. – Vol. 37. – № 8. – P. 1201–1222.
3. Shahab, S. N. DFT Study of Physisorption Effect of the Curcumin on CNT(8,0-6) Nanotube for Biological Applications / Shahab Siyamak [et al.] // *Chinese J. Struct. Chem.* 2019. – Vol. 38. – № 1. – P. 37–52
4. Tejral, G. Carbon nanotubes: toxicological impact on human health and environment / Tejral Gracian, Panyla Nagender Reddy, Havel Josef // *J Appl Biomed.* 2009. – Vol. 7. – P. 1–13.
5. Халилулин, Т. О. Токсические эффекты углеродных нанотрубок в культурах клеток макрофагов и бронхиального эпителия / Халилулин Т. О. [и др.] // *Вестник ТГУ. Биология*. 2014. – № 1 (25). – С. 199–210.

СТЕРОИДЫ РАСТЕНИЙ КАК ЭФФЕКТОРЫ МОНООКСИГЕНАЗНЫХ СИСТЕМ МЛЕКОПИТАЮЩИХ PHYTOSTEROIDS AS EFFECTORS OF MAMMALIAN MONOOXYGENASE SYSTEMS

А. Г. Сыса¹, С. А. Самсонов²
A. Sysa¹, S. Samsonov²

¹Белорусский государственный университет, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ,
г. Минск, Республика Беларусь

²Гданьский университет, г. Гданьск, Республика Польша
aliaksei.sysa@iseu.by

¹Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus

²University of Gdańsk, Gdańsk, Poland

Браassinостероиды (БС) относятся к группе растительных гормонов, сходных с таковыми животных и человека как по своей структуре, так и по выполняемым функциям. Известно, что браassinостероиды в первую очередь ингибируют ферментные системы, участвующие в метаболической активации проканцерогенных веществ, а степень их влияния существенным образом зависит от структуры фитостероидов. Целью работы было использование подходов, основанных на молекулярной динамике, для моделирования взаимодействий БС-СYP450 с целью раскрытия молекулярных механизмов этих биологически значимых эффектов. Установлено, что CYP1A1 и CYP1B1 связывают все лиганды сильнее, чем контрольный ингибитор, взаимодействие с которым значительно более гидрофобно, чем с браassinостероидами. В тоже время, для CYP3A4 с браassinостероидами значения энергии связи не отличаются от контроля.

Brassinosteroids (BS) belong to the group of plant hormones similar to animals and humans steroids. Experimental data showed that brassinosteroids primarily inhibit the enzyme systems participating in the metabolic activation of procarcinogenic substances, and the degree of their influence essentially depends on the structure of the phytosterols. The aim of the work was to employ molecular dynamics-based approaches to model BS-CYP450 interactions in order to unveil the atomistic details of this biologically relevant molecular system. CYP1A1 and CYP1B1 bind all ligands stronger than the control inhibitor, the interaction with which is significantly more hydrophobic than with brassinosteroids. At the same time, for CYP3A4 with brassinosteroids, the binding energy values are very similar to the control.

Ключевые слова: браassinостероиды, фитогормоны, цитохром P450, канцерогенез, молекулярная динамика, энергия связи.

Keywords: brassinosteroids, phytohormones, cytochrome P450, cancerogenesis, molecular dynamics, bond energy.

Браassinостероиды (БС) относятся к группе растительных гормонов, аналогичных гормонам животных и человека как по структуре, так и по функциям: регулируют экспрессию генов в растениях, влияют на ход обменных процессов, рост и дифференцировку клеток [1].

В предыдущих работах показано влияние браassinостероидов на монооксигеназные процессы, приводящие к активации проканцерогенов у человека и животных на субклеточном и клеточном уровнях [2; 3].

Предполагается, что механизмы действия БС связаны с блокадой клеточного цикла путем изменения уровня экспрессии циклинзависимых протеинкиназ, что приводит к апоптозу [4]. Но наши результаты показали возможность как прямого, так и косвенного ингибирующего воздействия браassinостероидов на ферментативные процессы изоферментов цитохрома P450 (СYP450). Установлено, что браassinостероиды в первую очередь ингибируют ферментные системы, участвующие в метаболической активации проканцерогенных веществ, и степень их влияния существенно зависит от структуры исследуемых фитостероидов [5].

Целью работы было моделирование межмолекулярных взаимодействий БС-СYP450 с использованием молекулярно-динамических подходов. Охарактеризованы динамические и энергетические свойства трех видов комплексов БС-СYP450 для подтверждения и дополнения имеющихся экспериментальных данных.

Параметры взаимодействий для оценки внутримолекулярных взаимодействий браassinостероидов определяли с помощью разработанного для методов молекулярной динамики набора GAFF (General Amber Force Field) с использованием модели заряда AM1-BCC, которая основана на стандартной процедуре расчета заряда, совместимой с другими силовыми полями в пакете MD AMBER16. Структуры CYP1A1, CYP1B1 и CYP3A4 были построены на основе структур из белкового банка данных PDB (<http://www.rcsb.org/pdb/>).

Структура изученных стероидных соединений показана на рис. Как видно из данных, представленных на рис., соединения имели одинаковую структуру всех четырех колец, но отличались структурой и конфигурацией боковой цепи. Например, природный браassinостероид 24-эпибраassinолид содержал метильную группу 24R, тог-

да как 28-гомобрассинолид содержал этильный заместитель 24S в этом положении. Характерной особенностью синтетических производных обоих соединений была SS-конфигурация атомов углерода в положениях C22 и C23 боковой цепи, содержащих OH-группы.

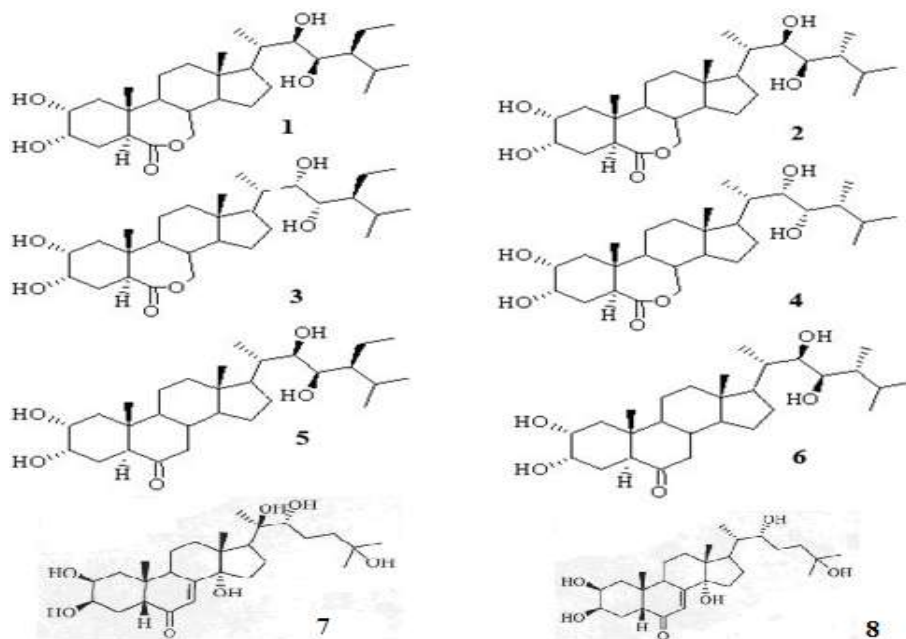


Рисунок – Структура брассиностероидов, исследованных в работе: 1 – 28-гомобрассинолид, 2 – 24-эпибрассинолид, 3 – (22S,23S)-28-гомобрассинолид, 4 – (22S,23S)-24-эпибрассинолид, 5 – 28-гомокастастерон, 6 – 24-эпикастастерон

Некоторые результаты наших предыдущих биохимических экспериментов [2; 3; 5] представлены в таблице.

Таблица – Сравнительный анализ влияния брассиностероидов на монооксигеназную активность и пролиферацию клеток (% контроля)

Брассиностероиды (концентрация 100 мкМ)	1	2	3	4*
28-гомобрассинолид	100±2	98±1	75±10	91±5
24-эпибрассинолид	90±3	80±1	98±2	87±3
28-гомокастастерон	80±1	75±5	86±3	108±5
24-эпикастастерон	55±5	75±5	80±8	107±3
(22S,23S)-28-гомобрассинолид	40±9	80±7	29±13	115±7
(22S,23S)-24-эпибрассинолид	60±1	90±8	60±9	98±1

Примечание: * Концентрация БС = 50 мкМ; 1 – Влияние брассиностероидов на скорость окисления 7-этоксикумарина микросомальной фракции печени интактных крыс; 2 – влияние брассиностероидов на скорость окисления бенз[а]пирена микросомальной фракцией печени крыс, предварительно индуцированных 20-метилхолантреном; 3 – влияние брассиностероидов на скорость окисления 7-этоксирезорифина микросомальной фракцией печени крыс, предварительно индуцированных 20-метилхолантреном; 4 – влияние брассиностероидов на скорость окисления 7-этоксирезорифина монооксигеназной системой клеточной линии MCF-7 после воздействия тетрахлордibenzo-p-диоксина (ТХДД).

В Институте биоорганической химии НАН Беларуси в цикле работ [2; 3; 5] произведена оценка возможности воздействия БС на монооксигеназные процессы, которые могут приводить к инициации канцерогенеза. В качестве модельных объектов использовали монооксигеназные ферментные системы микросом клеток печени крыс, микросомальную систему гормон-чувствительной опухолевой клеточной линии MCF-7. Для повышения в составе микросомальной фракции клеток печени крыс изоэнзимов цитохрома P450 (CYP1A1, CYP1A2, CYP1B1), обладающих повышенной активностью в отношении полиароматических соединений и способных превращать последние в мощные канцерогены, животным предварительно вводили 20-метилхолантрен, являющийся индуктором перечисленных выше изоэнзимов цитохрома P450.

Для более точного вычленения изоэнзимов цитохрома P450, максимально чувствительных к действию брассиностероидов использовали несколько субстратов – 7-этоксикумарин, 7-этоксирезорифин и бенз[а]пирен.

Первый из них применяется для характеристики лекарственно-метаболизирующей функции печени и, в первую очередь, отражает каталитическую активность таких изоэнзимов в организме человека, как CYP3A4, CYP2E1 и CYP2D6. По отношению ко второму высокой каталитической активностью обладают все индуцируемые 20-метилхолантреном изоформы цитохрома P450. Третий служил для оценки детоксицирующей функции монооксигеназной системы с помощью, так называемого, Ahh-теста. В этом случае регистрируется скорость пре-

вращения бенз[а]пирена в его гидроксипроизводные, которые после конъюгации выводятся из клетки. Очевидно, что ингибирование этого процесса является нежелательным для нормального функционирования организма.

Основой для получения сведений о принципиальной роли состава и конфигурации боковой цепи БС в регулировании монооксигеназной активности стали природные соединения (24-эпи- и 28-гомобрасинолид и 24-эпи- и 28-гомокастастерон) и два синтетических аналога брасиностероидов (22S,23S-дигидрокси-стереоизомеры).

В ряду 6-оксо-7-оксапроизводных изменение типа и конфигурации заместителя в положении С24 (этильная группа вместо метильной в 28-гомобрасинолиде в отличие от 24-эпибрасинолида) сказалось лишь в реакции с 7-этоксирезорурфином. Однако эффект был выражен слабо и не удалось достигнуть двукратного снижения скорости процесса даже при повышении концентрации 28-гомобрасинолида в реакционной среде до 250 мкМ. В то же время к ярко выраженному ингибиторному эффекту приводило изменение конфигурации атомов углерода С-22 и С-23, содержащих диольные группы, с RR на SS в боковой цепи брасинолидов.

В реакции с 7-этоксикумарином ингибирующий эффект 22S,23S-гидроксипроизводных был выражен слабее, что может быть отражением того, что влияние исследованных соединений сказывается лишь на монооксигеназной активности изоэнзимов цитохрома P450, индуцируемых 20-метилхолантроном, и не затрагивает или мало затрагивает процессы, катализируемые другими типами монооксигеназ, в т.ч. играющих важную роль в метаболизме лекарственных веществ.

Особо следует подчеркнуть, что использованные в работе брасиностероиды не оказывали существенного влияния и на такую важную функцию монооксигеназной системы, как гидроксилирование бенз[а]пирена, что необходимо для его вывода из организма.

В экспериментах по оценке влияния БС на реакцию окислительного dealкилирования 7-этоксирезорурфина монооксигеназной системой опухолевой клеточной линии MCF-7, использованной в виде лизата, для 24-эпибрасинолида и 28-гомобрасинолида показан ингибиторный эффект при их 50 мкМ концентрации.

Следующим этапом нашей работы стал молекулярный докинг взаимодействий изоэнзимов, ответственных за детоксикацию либо проканцерогенную биоактивацию (CYP1A1, 1B1, 3A4), и лигандов (БС). Проанализированы результаты для полученных 18 систем, отобраны репрезентативные структуры комплексов на основе кластеризации и ранжирования по баллам результатов молекулярного докинга. Для CYP1A1 и CYP1B1 для всех пар БС-CYP450 были найдены две аналогичные связывающие позы. Для CYP3A4 кроме них существует еще один способ связывания, не наблюдаемый для других исследованных изоэнзимов цитохромов. Для дальнейшего молекулярно-динамического анализа было отобрано 43 различные сложные структуры.

Молекулярная динамика (МД) подтвердила устойчивость всех комплексов, предсказанную докингом. На основе анализа траекторий, полученных в МД, рассчитана суммарная энергия взаимодействия для 43 структур, энергетические вклады ван-дер-Ваальсовых (в воздухе) и электростатических взаимодействий, а также индивидуальные вклады атомных орбиталей в связывании потенциальных ингибиторов. Для контроля те же расчеты выполнены для экспериментальных комплексов с ингибиторами в белковом банке данных PDB: CYP1A1 и CYP1B1 с альфа-нафтафлавоном и CYP3A4 с S-{(2S)-2-[(1-терт-бутоксизетил)амино]-3-фенилпропил}-N2-циклопентил-N-[(пиридин-3-ил)метил]-L-цистеинамид (рационально разработанный ингибитор).

Показано, что лиганд-связывающие свойства для CYP1A1 и CYP1B1 в целом сильнее, чем для CYP3A4. Это связано прежде всего с вкладом ван-дер-Ваальсовых сил. В то же время, для CYP1A1 и CYP3A4 вклад электростатических сил больше, чем для CYP1B1.

CYP1A1 и CYP1B1 связывают все лиганды сильнее, чем соответствующий контрольный ингибитор, взаимодействие с которым значительно более гидрофобно, чем с брасиностероидами. В то же время, в случае связывания CYP3A4 с брасиностероидами, значения энергии связывания были сходны с таковыми модельного ингибитора.

МД подтвердила, что брасиностероиды более эффективно связываются с ферментами, участвующими в метаболической активации проканцерогенных веществ (CYP1A1 и CYP1B1) и не влияют или мало влияют на процессы, катализируемые другими изоэнзимами монооксигеназ, в том числе играющими важную роль в метаболизме лекарственных веществ.

Полученные результаты способствуют лучшему пониманию молекулярных механизмов влияния БС на биохимические процессы у млекопитающих и могут служить основой для целенаправленного поиска и создания новых поколений противоопухолевых препаратов.

Брасиностероиды могут быть эффективными ингибиторами CYP450. Полученные данные свидетельствуют о том, что брасиностероиды могут реализовать свой противоопухолевый потенциал как за счет ингибирования экспрессии некоторых изоферментов цитохрома P450 при активации проканцерогенных веществ, так и путем прямого влияния на ферментативную реакцию.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ullah, A. Phytohormones enhanced drought tolerance in plants: a coping strategy / A. Ullah [et al.] // Environ Sci Pollut Res. 2018. – Vol. 25. – P. 1–16.
2. Sysa, A. G. Effect of the Structure of the Brassinosteroid Side Chain on Monooxygenase Activity of Liver Microsomes / A. G. Sysa, P. A. Kisselev, V. N. Zhabinskii, V. A. Khripach // Applied Biochemistry and Microbiology. 2010. – Vol. 46. – № 1. – P. 23–27.

3. *Kisselev, P. A.* Flow-cytometric analysis of reactive oxygen species in cancer cells under treatment with brassinosteroids / P. A. Kisselev [et al.] // *Steroids*. 2017. – Vol. 117. – P. 11–15.
4. *Coskun, D.* Epibrassinolide alters PI3K/MAPK signaling axis via activating Foxo3a-induced mitochondria-mediated apoptosis in colon cancer cells / D. Coskun [et al.] // *Experimental Cell Research*. – 2017. – Vol. 338. – P. 10–21.
5. *Сыса, А. Г.* Брассиностероиды как эффекторы монооксигеназных систем млекопитающих / А. Г. Сыса, П. А. Киселев. Saarbrücken : LAP LAMBERT Academic Publishing, 2015. – 104 с.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОГРАММНО-АППАРАТНОЙ МЕТОДИКИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ ОРГАНИЗМА У СОТРУДНИКОВ ФИНАНСОВОГО СЕКТОРА

USAGE OF THE SOFTWARE-APPARATIVE TECHNIQUE TO DETERMINE THE FUNCTIONAL STATE OF THE ORGANISM IN THE FINANCIAL SECTOR EMPLOYEES

***С. И. Сычик, Е. С. Щербинская,
S. Sychik, L. Shcherbinskaya***

*Научно-практический центр гигиены, г. Минск, Республика Беларусь
prof@rspch.by
Scientific practical centre of hygiene, Minsk, Republic of Belarus*

Базисом для экстраполяции нарушений профессионального здоровья, как и здоровья в целом, лежат положения теории адаптации. Снижение адаптации организма под воздействием факторов риска профессиональной среды, нарушение гомеостаза может рассматриваться как патофизиологическая основа большинства болезней. Обеспечивая оценку адаптационных резервов организма, можно не только спрогнозировать предполагаемые изменения состояния здоровья, но и планировать осуществление персонализированной профилактики развития болезней.

The basis for the extrapolation of occupational health disorders, as well as health in general, are the provisions of the theory of adaptation. Reducing the adaptation of the organism under the influence of risk factors of the professional environment, a violation of homeostasis can be considered as the pathophysiological basis of most diseases. Providing an assessment of the adaptation reserves of the body, it is possible not only to predict the expected changes in health status, but also to plan the implementation of personalized prevention of disease development.

Ключевые слова: адаптация, функциональное состояние организма.

Keywords: adaptation, functional state of the organism.

Безопасность поведения человека определяется в первую очередь «целевым уровнем риска», то есть уровнем риска, который работники допускают, переносят предпочитают, желают иметь и выбирают [1]. Целевой уровень риска зависит от предполагаемой выгоды и недостатков, связанных с влиянием неблагоприятных факторов, подвергающий опасности жизнь и здоровье работника. В фазе утомления физиологически происходит снижение активности поведения и бодрствования. Непроизвольно снижается любой вид трудоспособности: сенсорный, интеллектуальный, мышечный, тем самым ухудшается качество и падает интенсивность умственных и физических усилий. Экономия резервов организма в первую очередь производится за счет не выполнения действий, обеспечивающих безопасность работы и качество проделанной работы, что способствует увеличению количеству ошибок и снижению степени осторожности поведения [2; 3].

С ростом стоимости рабочей силы, затрат на подготовку квалифицированных специалистов, страховые выплаты работодателем, оценка уровня здоровья человека приобретает экономический эквивалент. Если специальность характеризуется высокой степенью ответственности, то последствие решений, связанных с утомлением, может «стоять» огромных финансовых потерь и даже привести к трагическому исходу [4]. Высокая ответственность, связанная с выполнением должностных обязанностей, авральные ситуации, связанные с выполнением экстренных работ приводят к высокому уровню стресса у работников.

С точки зрения Международной организации труда стресс – это болезненная физическая и эмоциональная реакция, вызванная нарушением равновесия между осознаваемыми требованиями и имеющимися ресурсами, и способностями людей удовлетворять этим требованиям. Стресс зависит от организации труда, трудовых отношений и механизмов взаимодействия. Он возникает в том случае, если требования к работнику не соответствуют или превосходят его возможности, ресурсы или потребности, или если знания или способности работника (группы работников) не удовлетворяют ожиданиям, предъявляемым культурой предприятия.

Среди ведущих систем организма отражающих влияния стресса и заслуживающих особое внимание, является сердечно-сосудистая система, так как она наиболее чувствительна к различного рода изменениям и может выступать маркером функционального состояния организма (Парин В. В. с соавт., 1967; Баевский Р. М., 1976, 1979; Меерсон Ф. З., 1988, Данилова Н. Н., 1992; Судаков К. В., 1992).

С позиции современной теории адаптации функциональное состояние сердечно-сосудистой системы может рассматриваться в качестве одной из суммарных характеристик организма и отражает возможность приспособления ко внешним и внутренним средовым факторам (Адрианов В. П., 1988). Поэтому для диагностики и прогнозирования состояния здоровья человека в современной медицине активно используются показатели кардиореспираторного комплекса, который отображает функциональные сдвиги организма работников [5]. Данные сдвиги определяются резервными возможностями человека, такими как норма, напряжение адаптации и срыв адаптации. Из курса нормальной физиологии известно, что для оценки функционального состояния организма и его систем используются косвенные показатели, особенно в тех случаях, когда без ущерба для здоровья или деформируя рабочий цикл человека, прямые методы применять недопустимо.

Современным способом оценки функционального состояния организма является использование современных диагностических комплексов.

Функциональное состояние организма оценили с помощью программно-аппаратного комплекса «Омега-М». Работа программно-аппаратного комплекса «Омега-М» основана на анализе вариабельности сердечного ритма, что дает возможность контролировать показатели функционального состояния пациента, прогнозировать их изменения, оценивать резервы организма [6, 7].

По результатам обследования определяются следующие нормированные показатели функционального состояния организма на момент исследования [4]:

А – уровень адаптации сердечно-сосудистой системы, характеризующий адаптационные резервы организма в целом;

В – уровень вегетативной регуляции, отражающий функциональные резервы и возможности организма, прежде всего, в части эффективности деятельности сердечно-сосудистой системы;

С – уровень центральной (нейроэндокринной) регуляции, отражающий энергетические резервы и энергетический баланс в системах управления различными функциями организма;

Д – показатель психоэмоционального состояния, отражающий глубину воздействия стрессовых ситуаций на организм;

Н (Health) – интегральный показатель функционального состояния организма на момент обследования.

Оценка состояния организма проводится комплексно по всем указанным показателям с выдачей результата по 3-м параметрам [6; 7]:

«Физиологическая норма» – высокий уровень физической и психоэмоциональной активности, оптимальная адаптация;

«Отклонение от нормы» (донозологическое состояние) – имеются незначительные отклонения функциональных показателей от нормы, свидетельствующие о напряжении регуляторных систем;

«Патологические изменения» (срыв адаптации) – перенапряжение вегетативной нервной системы, резкое снижение энергетических ресурсов организма, признаки нервного перенапряжения и депрессивного состояния, требуется дообследование у врача-специалиста, связанное с выявлением возможных соматических заболеваний и психоэмоциональных причин.

Оцениваемые производные и комплексные величины вариабельности сердечного ритма, описанные в статье [5]:

ИВР – индекс вегетативного равновесия, который указывает на соотношение между активностью симпатического и парасимпатического отделов вегетативной нервной системы. При увеличении симпатического тонуса ИВР увеличивается, при увеличении парасимпатического тонуса – уменьшается;

ВВР – вегетативный показатель ритма, который показывает вегетативный баланс со стороны оценки активностью автономного контура регуляции. При парасимпатической активности общая величина уменьшается, при увеличении симпатической активности – снижается;

ПАВР – показатель адекватности процессов адаптации, который отражает соответствие между активностью симпатического отдела вегетативной нервной системы и ведущим уровнем функционирования синусового узла;

ИН – индекс напряжения отражает степень централизации управления сердечным ритмом по выраженности напряжения механизмов симпатической регуляции, в частности центрального контура.

Целью исследования являлась оценка функционального состояния работников финансового сектора.

Для реализации поставленной цели был обследован организованный коллектив, состоящий из работников офисного труда финансового сектора. Оценка функционального состояния была проведена 625 работникам.

Статистическая обработка данных осуществлялась с помощью программы Statistica 10.0. Статистически значимые различия между исследованными группами рассчитывались с помощью критериев Манни-Уитни и Краскелла–Уоллиса, при $p \leq 0,05$.

При оценке результатов исследования все сотрудники были разбиты на группы в зависимости от стажа работы. В результате получилось 4 стажевых группы: «до 5 лет», «6–15 лет», «16–25 лет», «26 и более лет». Показатели функционального состояния отражены в табл. 1.

Таблица 1 – Показатели функционального состояния организма работников в зависимости от стажа трудовой деятельности

Трудовой стаж, лет	Количество сотрудников	A, %	B, %	C, %	D, %	H, %
До 5	66	65	76	63	66	68
6–15	214	63	73	65	66	67
16–25	180	54	65	58	60	59
26 и более	168	47	58	52	55	53

При проведении оценки функционального состояния работников банка было выявлено, что с увеличением стажа работы у работников происходит снижения функционального состояния. Адаптационные возможности организма начинают существенно снижаться в группе лиц «16–25 лет», мы предполагаем, что это связано с естественными физиологическими процессами, связанными с биологическим старением организма. Также нами проведен углубленный анализ показателей variability сердечного ритма, который представлен в табл. 2.

Таблица 2 – Показатели ВСР у офисных работников в зависимости от стажа трудовой деятельности, Me (P_{25} ; P_{75})

Стаж, лет	ИВР, у.е.	ВПР, у.е.	ПАПР, у.е.	ИН, у.е.
До 5	99,00 [64,50; 154,50]	0,38 [0,32; 0,41]	37,20 [27,50; 46,70]	73,90 [43,50; 117,20]
6–15	113,25 [77,00; 169,50]	0,35 [0,29; 0,41]	41,65 [31,80; 53,80]	78,05 [50,30; 118,90]
16–25	143,00 [106,00; 217,80]	0,31 [0,23; 0,36]	42,35 [33,95; 55,55]	91,85 [68,55; 150,55]
25 и более	185,75 [122,30; 281,10]	0,26 [0,23; 0,37]	47,20 [36,00; 62,85]	117,15 [73,00; 192,20]

Очевиден тот факт, что с увеличением стажа возрастают показатели ИВР и ИН. Данные показатели являются индикаторами повышения тонуса симпатического отдела вегетативной нервной системы. Повышение ИВР и ИН свидетельствует о симпатикотонии в высокостажированных группах групп, особенно после 25 лет, что говорит о возрастных физиологических изменениях в организме, связанных с нарушением различных видов регуляции, изменением гомеостаза, обусловленных стрессом.

Изменение показателей функционального состояния организма прямо пропорционально обусловлены возрастом и стажем трудовой деятельности сотрудников, так как тенденции к ухудшению показателей связаны с биологическими причинами (гормональными изменениями, образом жизни, накоплением хронических неинфекционных заболеваний, психоэмоциональным состоянием и др.).

На показатели функционального состояния организма влияет характер трудовой деятельности: худшие показатели имеют лица, работа которых связана с финансовой ответственностью, большими функциональными обязанностями, работой с людьми.

Таким образом, комплексная оценка variability сердечного ритма позволяет проводить диагностику изменений функционального состояния организма. Преобладание активации симпатического звена вегетативной нервной системы могут рассматриваться как неспецифический компонент адаптационной реакции на стресс.

Стресс дезорганизует деятельность человека, нарушает нормальный ход его поведения. Стрессы, особенно если они часты и длительны, оказывают отрицательное влияние не только на психологическое состояние, но и на физическое здоровье человека. Они представляют собой главные «факторы риска» при проявлении и обострении таких заболеваний, как сердечно-сосудистые и заболевания желудочно-кишечного тракта. Пролонгированный стресс, безусловно, отражается на адаптационных резервах и возможностях организма, что может способствовать развитию соматической патологии.

Безусловно, огромную роль в здоровьесбережении на предприятии выполняет отдел по работе с персоналом учреждений финансового сектора. Поэтому при формировании плана профилактических мероприятий, способствующих сохранению и улучшению функциональных показателей организма работников финансового сектора наибольшее внимание рекомендуется уделять лицам из категории специалистов по операционно-кассовой работе и руководителям несамостоятельных структурных подразделений и их заместителям: по возможности организовать для данных категорий работников курсы общеоздоровительных мероприятий, проведение восстановительных мероприятий по достижении определенной степени нагрузки и выполнения работы в экстремальных условиях (авральное решение производственных задач) психолого-педагогическими средствами (групповые и индивидуальные тренинги, освоение медитации, расслабляющие процедуры и др.), а также формировать мотивацию к занятиям физической активностью в достаточном количестве.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сорокин, Г. А. Работа, утомление и профессиональный риск / Г. А. Сорокин. – СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2016. – С. 244–245.

2. *Gerald, J. S.* Модели несчастного случая: гомеостазис риска // Энциклопедия безопасности труда МОТ, 2004.
3. *Хлопун, Г. В.* Влияние умственного труда на главные физиологические функции организма и, в частности, на газообмен / Г. В. Хлопун // Гигиена труда. – 1923. – № 3–4, – С. 12–18.
4. *Довгуша, В. В.* Отдых на этапах учебно-боевой деятельности подводников / В. В. Довгуша, И. Л. Мызников. – СПб. : ФГУП НИИ промышленной и морской медицины, 2006. – 94 с.
5. Методика контроля за функциональным состоянием моряков. Диагностические индексы и физиологические нагрузочные тесты : пособие для врачей / под общей ред. И. Л. Мызникова. – Мурманск: Север, 2008. – С. 8–10.
6. Оценка функционального состояния системы кровообращения у работников энергетического комплекса / А. Г. Братухин [и др.] // Бюллетень ВСНЦ СО РАМН. – 2005. – № 8. – С. 112–116.
7. *Чуян, Е. М.* Комплексный подход к оценке функционального состояния студентов / Е. М. Чуян, Е. А. Бирюкова, М. Ю. Раваева // Ученые записки Таврического национального университета им. В. И. Вернадского. Серия «Биология, химия». – 2008. – Т. 21. – № 1. – С. 123–129.
8. Вариабельность сердечного ритма. Стандарты измерения, физиологическая интерпретация и клиническое использование : руководство // *European Heart Journal*. – 1996. – Vol. 17. – P. 354–381.

УЧАСТИЕ МЕТАЛЛОТИОНЕИНОВ В РАЗВИТИИ АПОПТОТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПО КАСПАЗО-ЗАВИСИМОМУ МЕХАНИЗМУ В ЛИМФОЦИТАХ ПАЦИЕНТОВ С В-ХРОНИЧЕСКИМ ЛИМФОЦИТАРНЫМ ЛЕЙКОЗОМ

ROLE OF METALLOTHIONEINES IN THE DEVELOPMENT OF CASPASE-DEPENDENT APOPTOTIC PROCESSES IN LYMPHOCYTES OF PATIENTS WITH B-CHRONIC LYMPHOCYTIC LEUKEMIA

А. В. Тамашевский, Ю. М. Гармаза, Е. И. Белевич, Е. И. Слобожанина
A. Tamashevski, Y. Harmaza, K. Bialevich, E. Slobozhanina

*Институт биофизики и клеточной инженерии Национальной академии наук Беларуси,
г. Минск, Республика Беларусь
tayzoe@gmail.com*

Institute of Biophysics and Cell Engineering of National Academy of Sciences, Minsk, Republic of Belarus

Проведена оценка активности цистеиновой протеазы – каспазы-3 и уровня экспрессии цистеин-содержащих низкомолекулярных белков металлотиионеинов в лимфоцитах пациентов с В-хроническим лимфоцитарным лейкозом (В-ХЛЛ) до и после модификации их редокс-статуса. В лимфоцитах пациентов при В-ХЛЛ обнаружена повышенная активность каспазы-3 по сравнению с нормальными клетками. H₂O₂-индуцированный окислительный стресс в лейкоэмических клетках приводил к запуску апоптотических процессов по каспазо-зависимому механизму. Установлено, что основным триггером в этом процессе могут выступать металлотиионеины, которые играют значительную роль в поддержании гомеостаза ионов цинка в лимфоцитах человека, в том числе и при В-ХЛЛ.

The activity of cysteine protease – caspase-3 and the expression of cysteine-containing low molecular weight proteins – metallothioneins in lymphocytes of patients with B-cell chronic lymphocytic leukemia (B-CLL) were evaluated before and after modification of their redox status. An increased caspase-3 activity was detected in lymphocytes of patients with B-CLL compared to normal cells. H₂O₂-induced oxidative stress in leukemic cells led to the activation of caspase-dependent apoptotic processes. It has been established that metallothioneins are the main triggers in this process and these proteins play a significant role in maintaining the zinc homeostasis in cells including leukemic.

Ключевые слова: хронический лимфоцитарный лейкоз, металлотиионеины, каспаза-3, редокс-статус, цинковый гомеостаз.

Keywords: chronic lymphocytic leukemia, metallothioneins, caspase-3, redox-state, zinc homeostasis.

Одним из предполагаемых путей развития устойчивости опухолевых клеток к действию ксенобиотиков является увеличение содержания внутриклеточных тиолов, таких как глутатион и металлотиионеины (MTs), которые связывают компоненты, токсичные для клетки. MTs млекопитающих представляют собой суперсемейство неэнзиматических полипептидов (молекулярная масса 6–7 кДа) с высоким содержанием цистеина, серы и металлов (тиолатные кластеры металлов). Именно благодаря своей уникальной структуре данные белки способны

связывать ионы металлов и активные формы кислорода (АФК). Это свойство используется во многих реакциях и, таким образом, МТs могут выполнять важные функции в различных биохимических сигнальных каскадах [1]. На сегодняшний день не вызывает сомнения защитная роль МТs при апоптозе [1–3]. В работе [2] обнаружена повышенное содержание МТs в опухолевых клетках по периферии очага, что связано с высоким уровнем клеточной пролиферации. Такая экспрессия МТs в строме опухоли связана с её разрастанием, поскольку именно строма отвечает за рост опухоли и её агрессивность. Авторы сделали вывод, что строма злокачественной опухоли с высоким уровнем МТs защищает себя от апоптоза. При воздействии клинически значимых концентраций доксорубина (DOX) на первичную культуру кардиомиоцитов, полученную из сердечной мышцы трансгенных новорожденных мышей, а также на культуру кардиомиоцитов от нетрансгенных животных (контроль), был выявлен высокий уровень апоптотических клеток в контроле, в то же время процессы апоптоза значительно подавлялись в трансгенных кардиомиоцитах со сверхэкспрессией МТs. При этом в контрольных кардиомиоцитах наблюдался выход цитохрома *c* из митохондрий и активация каспазы-3 на фоне значительного содержания в них АФК [3]. При этом DOX активировал p38 MAPK (p38 mitogen-activated protein kinase), участие которой является критически важным для запуска процесса апоптоза. МТs значительно ингибировали DOX-активированную p38 MAPK, при этом антиапоптотический эффект был намного более выраженным, чем в случае обработки кардиомиоцитов специфическим ингибитором p38 MAPK – SB203580 [4]. Авторы предположили, что МТs ингибируют не только p38 MAPK-опосредованный путь, но и другие сигнальные каскады процесса апоптоза, запускаемые в ответ на DOX-индуцированный окислительный стресс [3]. Один из таких путей включает в себя активацию каспазы-3, которая происходит при выходе цитохрома *c* из митохондрий под действием окислительного стресса [5]. Выход цитохрома *c* из митохондрий приводит к формированию сложного комплекса (апоптосомы), состоящего из молекул цитохрома *c*, Araf-1 (dATP-dependent apoptotic protease-activating factor-1) и прокаспазы-9, в котором неактивная прокаспаза-9 превращается в активную каспазу-9. Далее каспаза-9 протеолитически расщепляет прокаспазу-3 до активной каспазы-3 [6]. Дальнейшее развитие процесса апоптоза связано с опосредованным каспазой-3 расщеплением различных белков клетки. Таким образом, как МТs, так и каспаза-3 являются участниками запуска апоптотического процесса в патологических клетках.

Целью данной работы явилось определение активности цистеиновой протеазы – каспазы-3 и содержания уровня металлотионеинов в лимфоцитах пациентов с В-хроническим лимфоцитарным лейкозом до и после модификации их редокс-статуса.

В работе использована периферическая кровь практически здоровых доноров ($n = 6$), полученная из ГУ «Республиканский научно-практический центр трансфузиологии и медицинских биотехнологий» МЗ РБ и пациентов с диагнозом хронический В-лимфоцитарный лейкоз (В-ХЛЛ, $n = 8$), предоставленная УЗ «Минская областная клиническая больница». Все образцы крови были в консерванте «гепарин».

Периферические мононуклеарные клетки крови (ПМНК) изолировали в градиенте гистобака-1077 путем центрифугирования крови (300g, 30 мин) и отмывок в 10 mM фосфатном буфере pH 7,4 (PBS). После выделения клетки помещали в коммерческую питательную среду RPMI-1640 с добавлением 10 % эмбриональной телячьей сыворотки (ЭТС), 2 mM L-глутамин и инкубировали в увлажненной атмосфере с 5 %-ным содержанием CO₂ при температуре 37 °C с агентами, модифицирующими окислительно-восстановительный баланс: пероксидом водорода (H₂O₂) концентрации 100 мкМ, N-ацетилцистеином (НАС) в концентрации 200 мкМ и хлоридом цинка (ZnCl₂) в концентрации 50 мкМ.

Для оценки содержания МТs I/II типов ПМНК фиксировали 2 %-м раствором параформальдегида (60 мин, $t = 4 \pm 2$ °C), отмывали путем центрифугирования (300g, 15 мин) и проводили пермеабелизацию 0,5 %-м раствором детергента твин 20 в PBS буфере (10 мин, $t = 4 \pm 2$ °C). Далее проводили последовательную инкубацию клеток с моноклональными антителами анти-металлотионеин UC1MT (12 ч, $t = 4 \pm 2$ °C) и с их вторичными антителами – анти-козлинными IgG1-FITC (2 ч, $t = 4 \pm 2$ °C). В качестве изотипического контроля использовали мышиные антитела IgG1, которые параллельно инкубировали с исследуемыми клетками при вышеописанных условиях. Измерения проводили на проточном цитофлуориметре FACSCanto II (Becton Dickinson) в FL1-H канале и по отношению интенсивности флуоресценции комплекса МТ-UC1MT-FITC к интенсивности флуоресценции изотипического контроля (IgG1-FITC) судили о степени экспрессии данного белка в исследуемых клетках.

Оценку активности каспазы-3 в периферических лимфоцитах проводили с помощью набора реагентов Casp-Glow™ по стандартному протоколу производителя. Для этого суспензию ПМНК инкубировали с субстратом FITC-DEVD-fmk в 10 mM HEPES-буфере pH 7,4 (60 мин, $t = 37$ °C). Измерения интенсивности флуоресценции образцов проводили на проточном цитофлуориметре FACSCanto II (Becton Dickinson) в FL1-H канале. Об активности каспазы-3 судили по интенсивности флуоресценции FITC-DEVD.

Результаты экспериментов анализировали методом вариационной статистики с использованием непараметрических критериев Манна-Уитни и Спирмена. Различия считали статистически значимыми при $p < 0,05$.

Каспаза-3 относится к семейству цистеиновых аспартат-зависимых протеаз, которые в норме представлены в виде неактивных предшественников – прокаспазы-3 с молекулярным весом 32 кДа, после активации каспаза-3 представляет собой гетеродимер, состоящий из двух субъединиц с молекулярной массой 17 и 12 кДа, соответственно. Для оценки активности каспазы-3 в данной работе нами был использован свободнопроникающий в клетку FITC-меченный субстрат DEVD-fmk (Asp-Glu-Val-Asp-fmk), при расщеплении которого каспазой-3 в анализируемом образце можно регистрировать флуоресценцию. На рис. 1 представлены репрезентативные диа-

граммы распределения интенсивности флуоресценции субстрата каспазы-3 FITC-DEVD в лимфоцитах пациентов с В-ХЛЛ. Установлено, что содержание интактных клеток в суммарной популяции лейкозных лимфоцитов, не окрашенных субстратом для каспазы-3 (жизнеспособных клеток), составляло в среднем 75–85 %, т. е. 15–25 % интактных клеток находится в стадии апоптоза (рис. 1А). Стоит отметить, что для лимфоцитов доноров данный параметр составлял в среднем 5–10 %, что указывает на повышенное развитие процессов спонтанного апоптоза в клетках пациентов при В-ХЛЛ.

Для модификации редокс-баланса в лимфоцитах пациентов с В-ХЛЛ были использованы: хлорид цинка, пероксид водорода и НАС. Известно, что ионы цинка участвуют в защите биологических структур от окислительного стресса путем поддержания определенного уровня глутатиона и количества МТs, взаимодействуя с ионами других переходных металлов и т.д. С другой стороны, при увеличении внутриклеточной лабильной концентрации Zn^{2+} на 50 нМ данный микроэлемент проявляет прооксидантные свойства [7]. В случае модуляции клеточного редокс-статуса пероксидом водорода окислительные процессы начинаются незамедлительно после его добавления и быстро достигают плато в отличие от эффектов, индуцированных трет-бутилгидропероксидом, которые развиваются медленно и усиливаются со временем. В свою очередь НАС является одним из предшественников восстановленного глутатиона и может достаточно быстро накапливаться в клетках и диацетилироваться, что приводит к значительному увеличению внутриклеточной концентрации цистеина данных низкомолекулярных тиолов.

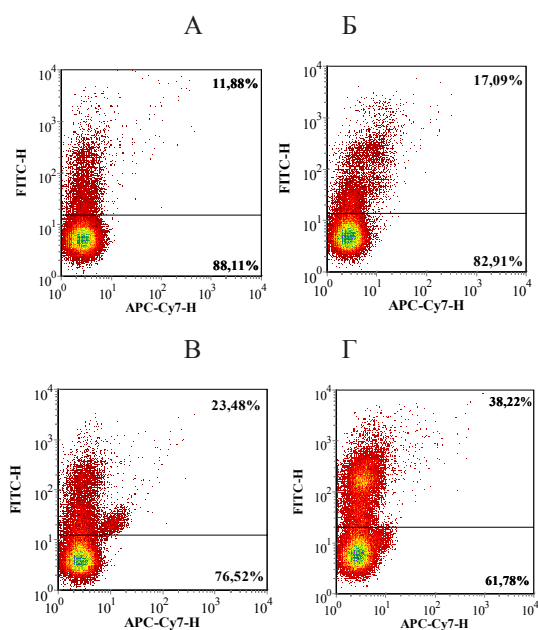


Рисунок 1 – Репрезентативные диаграммы распределения интенсивности флуоресценции субстрата каспазы 3 FITC-DEVD в лимфоцитах пациента при В-ХЛЛ: А – диаграмма распределения интенсивности флуоресценции FITC-DEVD в интактных лимфоцитах пациента с В-ХЛЛ (контроль); Б – после воздействия $ZnCl_2$ (50 мкг/мл); В – после воздействия НАС (200 мкМ); Г – после воздействия H_2O_2 (100 мкМ); (по оси ординат – интенсивность флуоресценции FITC-DEVD в отн.ед.)

Таким образом, установлено, что инкубация *in vitro* лейкозных лимфоцитов с хлоридом цинка в течение 24 ч приводит к незначительному снижению количества жизнеспособных клеток в среднем на 5–10 % (рис. 1Б) по сравнению с интактными клетками (рис. 1А), однако данные оказались статистически не достоверными. В свою очередь, модификация редокс-баланса в лейкозных клетках с помощью НАС и H_2O_2 сопровождалась снижением процентного содержания жизнеспособных клеток в суммарной популяции лимфоцитов пациентов с В-ХЛЛ соответственно в среднем на 10–15 % и 20–25 % (рис. 1В и 1Г) по сравнению с интактными лейкозными клетками, причем для H_2O_2 полученные результаты оказались статистически значимыми.

Параллельно в лимфоцитах пациентов с В-ХЛЛ была проведена оценка содержания МТs. Установлено, что содержание МТs в интактных лейкозных лимфоцитах находится в диапазоне $8,9 \pm 1,7$ (отношение интенсивности флуоресценции моноклонального антитела против металлотioniонов UC1MT-IgG1-FITC к интенсивности флуоресценции изотипического контроля к UC1MT IgG1-FITC). После инкубации клеток с хлоридом цинка происходит статистически достоверное увеличение содержания данных белков в среднем в 2,5–3,1 раза по сравнению с интактными клетками (рис. 2). Полученный результат указывает на значительную роль МТs в поддержании гомеостаза цинка в лейкозных лимфоцитах. Смещение окислительно-восстановительного баланса в сторону антиоксидантов с помощью НАС не вызывало изменения в содержании МТs в лимфоцитах пациентов при В-ХЛЛ по сравнению с интактными клетками (рис. 2). H_2O_2 -индуцированный окислительный стресс приводил к статистически достоверному снижению уровня экспрессии МТs в лейкозных клетках в среднем на 20–25 % (рис. 2).

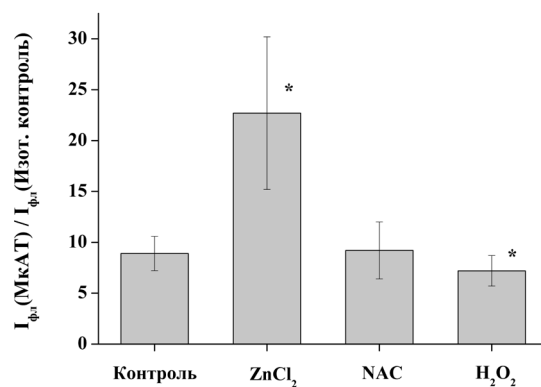


Рисунок 2 – Экспрессия металлотионеинов I/II изоформ в суммарной популяции лимфоцитов пациентов с В-ХЛЛ после воздействия на них ZnCl₂, NAC и H₂O₂: I_{MкАТ} – интенсивность флуоресценции специфических моноклональных антител UC1MT против металлотионеинов I и II изоформы; I_{Изот. контроль} – интенсивность флуоресценции антител IgG1 (изотипического контроля) для моноклональных антител UC1MT против металлотионеинов I и II изоформы; * – различия по сравнению с интактными лимфоцитами (контроль) достоверны ($p < 0,05$)

Проведенный корреляционный анализ между содержанием МТs в лимфоцитах пациентов с В-ХЛЛ после воздействия H₂O₂ и количеством клеток, не окрашенных субстратом каспазы-3, установил статистически значимую обратную зависимость ($R = -0,89$; $p = 0,016$). Данный факт указывает на участие МТs в запуске апоптотических процессов в лимфоцитах пациентов с В-ХЛЛ при H₂O₂-индуцированном окислительном стрессе. Этот результат хорошо согласуется с полученными нами ранее данными о сниженной чувствительности лимфоцитов пациентов с В-ХЛЛ к воздействию H₂O₂ по сравнению с нормальными клетками [8], т.к. в лимфоцитах здорового человека содержание МТs в среднем в 2 раза превышает таковое у лейкозных клеток.

Таким образом, в лимфоцитах пациентов с В-ХЛЛ обнаружена повышенная активность каспазы-3 по сравнению с нормальными клетками. H₂O₂-индуцированный окислительный стресс в лейкозных клетках приводит к запуску апоптотических процессов по каспазо-зависимому пути. Основным триггером в этом процессе могут выступать цистеин-содержащие низкомолекулярные белки металлотионеины, которые играют значительную роль в поддержании гомеостаза цинка в лимфоцитах человека, в том числе и при В-ХЛЛ.

Авторы благодарят заведующую лабораторией механизмов клеточной лекарственной резистентности РНПЦ Трансфузиологии и медицинских биотехнологий, к.б.н. Пасюкова В. В. за предоставленные образцы крови пациентов с В-ХЛЛ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гармаза, Ю. М. Металлотионеины млекопитающих: структура и биологическая роль / Ю. М. Гармаза, А. В. Тамашевский, Е. И. Слобожанина // Известия НАН Беларуси. Сер. биол. наук. – 2016. – № 1. – С. 107–116.
2. Dutsch-Wicherek, M. The possible biological role of metallothionein in apoptosis / M. Dutsch-Wicherek, J. Sikora, R. Tomaszewska // Front Biosci. 2008. – № 13. – P. 4029–4038.
3. Wang, G. W. Metallothionein inhibits doxorubicin-induced mitochondrial cytochrome c release and caspase-3 activation in cardiomyocytes / G. W. Wang, J. B. Klein, Y. J. Kang // J. Pharmacol. Exp. Ther. – 2001. – Vol. 298. – № 2. – P. 461–468.
4. Kang, Y. J. Suppression by metallothionein of doxorubicin-induced cardiomyocyte apoptosis through inhibition of p38 mitogen-activated protein kinases / Y. J. Kang, Z. X. Zhou, G. W. Wang, A. Buridi [et al.] // J Biol Chem. – 2000. Vol. 275. – № 18. – P. 13690–13698.
5. Pan, G. Activation of caspases triggered by cytochrome c in vitro / G. Pan, E. W. Humke, V. M. Dixit // FEBS Lett. 1998. – Vol. 426. – № 1. – P. 151–154.
6. Ma, Y. Cupric nitrotriacetate-induced apoptosis in HL-60 cells association with lipid peroxidation, release of cytochrome C from mitochondria, and activation of caspase-3 / Y. Ma, T. Ogino, T. Kawabata, J. Li [et al.] // Free Radic. Biol. Med. – 1999. – Vol. 27. – № 1–2. – P. 227–233.
7. Гармаза, Ю. М. Эссенциальность и токсичность цинка. Биофизические аспекты / Ю. М. Гармаза, Е. И. Слобожанина // Биофизика. – 2014. – Т. 59. – Вып. 2. – С. 322–337.
8. Тамашевский, А. В. Биофизические механизмы регуляции активности мембранных белков, ассоциированных с множественной лекарственной устойчивостью лимфоцитов человека: автореф. дис. ... канд. биол. наук: 03.01.02 / А. В. Тамашевский. – Минск : ИБиКИ, 2014. – 23 с.

ФОРМИРОВАНИЕ ПСИХОЛОГИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ К НЕБЛАГОПРИЯТНЫМ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫМ ФАКТОРАМ

FORMATION OF PSYCHOLOGICAL STABILITY TO ADVERSE PROFESSIONAL FACTORS

С. Н. Толкач
S. N. Tolkach

Научно-практический центр гигиены, г. Минск, Республика Беларусь
prof@rspch.by
Scientific practical centre of hygiene, Minsk, Republic of Belarus

В статье проводится теоретическое осмысление понятия психологическая устойчивость к неблагоприятным профессиональным факторам. Осуществляется попытка обосновать необходимость изучения совокупности биологически и социально обусловленных качеств личности при оценке способности человека противостоять жизненным трудностям. Предлагается к обозрению структурная схема психологической устойчивости как качества личности.

In the article is showed the theoretic comprehension of psychological resistance to negative professional factors. Make an attempt to justify necessity of studying the totality of biologically and socially related personality traits when assessing a person's ability to withstand life's difficulties. The block diagram of psychological stability as qualities of the personality is offered to a review.

Ключевые слова: психологическая устойчивость, профессиональные факторы, личность, жизненные трудности, человеческие способности.

Keywords: psychological stability, professional factors, person, life's difficulties, human ability.

Современная деятельность человека все более и более совершенствуется технологически. И это справедливо не только для производственных процессов фабрик и заводов. Также технологии все шире внедряются в гуманитарные и социальные сферы деятельности. Например, без компьютера уже трудно представить труд офисного работника, бухгалтера или брокера. Не говоря уже о руководителях. Благодаря технологическому процессу возросли объемы обрабатываемой информации, а, соответственно, и возросли требования к работнику, вовлеченному в трудовой информационный поток. Равно, в ответ на возросшие требования, неизбежно происходит увеличение психоэмоциональной нагрузки, испытываемой работником. Деятельность в условиях повышенной психоэмоциональной нагрузки, сопряжено дефицитом времени, информации, и др. ресурсов, риском утраты здоровья. Подобная ситуация требует от человека развитой психологической устойчивости.

Под психологической устойчивостью можно понимать способность человека противостоять жизненным трудностям, неблагоприятному воздействию внешних обстоятельств, а также способностью адаптироваться к возникающим условиям. Из определения становится понятным, что психологическая устойчивость это динамическая составляющая личности человека, проявляющаяся в трудных и экстремальных жизненных ситуациях. Психологическая устойчивость является нормой, а не уникальным качеством отдельного индивида.

Некоторые авторы, ссылаясь на работы известных ученых, выделяют три важных аспекта психологической устойчивости:

- стойкость, стабильность;
- уравновешенность, соразмерность;
- сопротивляемость, резистентность.

При этом под стойкостью подразумевается способность противостоять трудностям, сохранять веру и постоянный уровень настроения.

Под уравновешенностью – соразмерность силы реагирования, активности поведения силе раздражителя, значению событий (величине положительных и отрицательных последствий, к которым он может привести).

Под сопротивляемостью – способность к сопротивлению тому, что ограничивает свободу поведения, свободу выбора («Развитие психологической устойчивости к действиям в чрезвычайных ситуациях природного характера у учащихся общеобразовательных учреждений» Назарова Е. Э.).

Психологическая устойчивость человека к неблагоприятным профессиональным факторам, как мы уже упоминали, является неотъемлемой составляющей личности и различаются на индивидуальном уровне лишь границами ситуаций в которых проявляется. Эти границы некоторыми авторами называются «зоной стабильности». Под зоной стабильности понимаются границы, уровень напряженности ситуации, в рамках которой человеческий организм сохраняет способность к саморегуляции, т.е. адаптироваться к ситуации. Немаловажную роль в увеличении границ зоны стабильности играет замотивированность работника на профессиональную деятельность.

Опираясь на эти и иные рассуждения можно считать психологическую устойчивость сложным и многофакторным качеством личности, в котором можно выделить биологически и социально обусловленные составляющие. Психологическая устойчивость человека к неблагоприятным профессиональным факторам является неотъемлемой составляющей профессиональной надежности работника.

Практически любая деятельность требует от человека определенных усилий для достижения конечного результата. Подобное состояние принято называть психоэмоциональным напряжением, когда присутствует значимая цель, соответственно повышается уровень мотивации, также повышается сложность деятельности, равно как и эффективность, но при всем при этом человек справляется с поставленными задачами.

Но когда ситуация переходит в разряд лично значимых, когда повышается степень ответственности, психическое напряжение может переходить в психическую напряженность. Человек испытывает дополнительные трудности, как внутреннего характера (физическая и психологическая усталость, осознание ответственности, потеря уверенности и т. д.), так и внешнего (дополнительный контроль, внешняя обстановка и т. д.). При этом существенно увеличивается отвлекаемость, появляются сложности с воспроизведением информации, снижается скорость реагирования, и в целом снижается эффективность деятельности.

Если создавшиеся условия несут угрозу жизни или престижа, усугубляется дефицит информации или времени, то развивается психоэмоциональный стресс. Деятельность дезорганизуется, эффективность деятельности падает. На организменном уровне снижается резистентность организма, появляются ощущения дискомфорта, нарушается общее состояние человека. Состояние психоэмоциональной напряженности, психоэмоционального стресса, можно отнести к дистрессовым состояниям. При длительном или неоднократно повторяющихся эпизодах вызывающих дистрессовые состояния возможно развитие психосоматических заболеваний.

Психологическая устойчивость позволяет человеку расширить границы уровня психического напряжения при выполнении деятельности в стрессовых условиях (расширение «зоны стабильности»), сохраняя эффективность деятельности на прежнем уровне. Опять же получается, что развитие психологической устойчивости к неблагоприятным факторам производственной деятельности может выступать и профилактическим механизмом развития психосоматических заболеваний. И в данном контексте приобретают значение такие качества личности как открытость новому опыту (обучаемость) позитивное самовосприятие, вера в себя. На этапе профессионального становления становится очевидным развитие выше перечисленных качеств наряду с общепрофессиональными знаниями и опираясь на последние.

В развитии психологической устойчивости очень сложно отдать приоритет развитию биологически обусловленных качеств перед социально обусловленными. Формирование психологической устойчивости к неблагоприятным профессиональным факторам, происходит в процессе обучения деятельности и опирается на функциональные и физические возможности человека. Все они являются неотъемлемой составляющей личности и развиваются совокупно, хоть и в рамках вариативности. Именно поэтому процесс формирования психологической устойчивости опирается на комплексный подход. В одном из своих докладов, Д. И. Сагайдак говорил о том, что «результативное выполнение профессионально важных действий и служебная реализация профессиональных качеств обеспечивается совокупностью врожденных и натренированных психофизиологических, нейропсихологических, социально-личностных показателей».

Первичная реакция на неблагоприятную профессиональную ситуацию обусловлена типом нервной деятельности, её силой и подвижностью – психофизиологические факторы, биологически обусловленные. В тоже время стойкость перед ситуацией и сопротивляемость можно описать как систему убеждений и ценностей человека, его верой в себя и свои силы – социально обусловленными факторами, исходящими из воспитания в семье и школе, взаимодействия со значимым окружением, а также профессионального обучения. В итоге у человека формируется целостная система убеждений, умений и навыков, которая позволяет преодолевать трудности в профессиональной деятельности.

Поэтому важно при поступлении на работу (а еще лучше на этапе выбора профессиональной сферы деятельности) диагностировать уровень выраженности ключевых навыков, в первую очередь биологически обусловленных, с целью прогноза их дальнейшего развития. Для примера, подвижность нервных процессов влияет на общую скорость выполнения деятельности и на скорость реакций и легкость переключения человека с одного вида деятельности на другой. Поэтому человек с подвижным типом нервной системы, в отличие от людей с инертностью нервных процессов, обладает высокой работоспособностью при выполнении видов деятельности, требующих высокой скорости реагирования и/или выполнения нескольких задач одновременно. Подвижность нервных процессов позволяет человеку преодолевать воздействие таких неблагоприятных факторов деятельности, например таких, как дефицит времени, легко и быстро адаптироваться к новым условиям и без труда переключать внимание с выполнения одной задачи на другую, и поэтому человек, обладающий высокой подвижностью нервных процессов, может максимально эффективно выполнять работу в перечисленных для примера условиях.

На сегодняшний день в практику предприятий и организаций внедрено и активно развивается наставничество. Расширяется тематика и увеличивается объем учебных часов внутренних обучающих курсов повышения квалификации, что способствует развитию профессионально значимых качеств работника, а, значит и способствует развитию стойкости и уверенности в своих силах при решении профессиональных задач, т. е. формированию психологической устойчивости. Разумеется, разрабатывать программы профессионального обучения на

местах лучше, в том числе, с учетом социально обусловленных компонентов (мотивационно-волевых, психологических черт).

Важно включать в тематику занятий и бесед практически наработанный опыт, актуальный для данной конкретной организации. Фактически в ходе профессионального обучения происходит расширение «зоны стабильности» за счет обогащения как профессионального опыта, так и общесоциального, основанного на опыте профессионального взаимодействия. Осознание своих возможностей, опирающихся на физические и психофизиологические свойства организма, профессиональные знания, полученные работником в ходе обучения, а также соотнесенные с опытом их применения в учебных и тренинговых ситуациях обеспечивают создание условий для благоприятного профессионального роста человека.

Жизненный опыт (профессиональный, учебный, литературный и т. д.) играет важную составляющую в становлении психологической устойчивости к неблагоприятным факторам. Если выше мы говорили о важности психофизиологических характеристик личности, то подразумевали по этим наличие у человека развитой, биологически обусловленной системы качеств обеспечивающих адекватное реагирование на внешние стимулы. Говоря о жизненном опыте, мы говорим о формировании системы социально обусловленных характеристик, которые развились в ходе жизнедеятельности личности под воздействием внешних стимулов. Получается, что опираясь на свои биологические возможности, в рамках их натренированности, человек в ходе жизнедеятельности развивает другие, социально обусловленные личностные характеристики, обеспечивающие ему адаптационное поведение в различных жизненных ситуациях. Примечателен тот факт, который ученые выявили в ходе экспериментов на крысах. В обычных условиях крысу помещали в емкость заполненную водой, выбраться из которой не представлялось возможным. Через некоторое время крыса переставала бороться и впадала в оцепенение. Однако если крысу вытаскивать из емкости до наступления оцепенения, давать возможность восстановиться и после этого опять поместить в ту же емкость – время, проходящее до оцепенения, существенно увеличивалось. Этот факт позволил ученым сделать вывод, что прошлый опыт, говорящий о положительно разрешившейся ситуации, значительно увеличивает ресурсы по преодолению трудной ситуации.

Вот почему так важно развитие обучения, наставничества в организации. На этом же принципе построена работа и многочисленных тренинговых групп социальной поддержки в психологической практике. Важно понимать, что успешное развитие навыка возможно при соблюдении условия постепенного наращивания сложности решаемых задач, особенно с имитацией воздействия неблагоприятных факторов. Такое решение позволит развить у работника необходимые волевые навыки.

Опираясь на литературные источники можно составить структурную схему психологической устойчивости к неблагоприятным профессиональным факторам (рис. 1). В эту структуру входят биологически и социально обусловленные качества личности, включающие в себя силу, устойчивость и подвижность нервной системы, психологические качества личности, профессиональные умения и навыки личности, мотивационную направленность и наличие значимой цели.



Рисунок 1 – Структурная схема психологической устойчивости к неблагоприятным профессиональным факторам

Становится очевидным, что формирование психологической устойчивости к неблагоприятным профессиональным факторам – это многокомпонентный процесс. Куда обязательными составляющими следует отнести:

- осознание своих потребностей, требований коллектива или задач, поставленных руководителями;
- осознание целей поставленных задач, решение которых приведет к удовлетворению, в том числе и собственных потребностей;
- осмысление и оценка условий в которых будет осуществляться выбранная деятельность;
- мобилизация сил и ресурсов согласно условиям и задачам, уверенность в успешном достижении цели.

Формирование психологической устойчивости у работника неразрывно связано с развитием как профессиональных навыков, в ходе профессионального обучения на местах, так и личностных качеств, таких как целеустремленность уверенность в своих силах (самооценка), а также мотивации.

Наличие соразмерной цели и мотивации к ее достижению обеспечивает устойчивую направленность деятельности личности. При воздействии неблагоприятных профессиональных факторов, замотивированность в до-

стижении результата позволит личности выбирать наиболее адекватное возникшей ситуации поведение, приводящее в конечном итоге к успешному разрешению ситуации. Получается, что мотивированность работника на деятельность, опирающаяся на осознание значимости своей деятельности, уверенность в своей профессиональной компетентности, практически расширяет «зону стабильности», о которой мы говорили выше. А это является одним из важных составляющих факторов, обуславливающих психологическую устойчивость к неблагоприятным профессиональным факторам.

Возвращаясь к уже сказанному выше можно говорить о том, что несоответствие психофизиологических характеристик (особенностей восприятия, памяти, внимания, типов высшей нервной деятельности) требованиям профессии, приводит к дополнительным психофизиологическим нагрузкам у такого работника при выполнении профессиональных задач, особенно в условиях воздействия неблагоприятных факторов деятельности. Человек способен приспособиться ко многому, однако с точки зрения биологии, любая адаптация возможна в рамках вариационной изменчивости, когда наступает граница возможностей организма по адаптации, организм или погибает или перемещается в условия более подходящие ему по возможностям. В ситуации с человеком происходит аналогично, он или выбирает другое поле профессиональной деятельности или в его организме наступают изменения, которые ухудшают и без того недостаточные возможности. При условии достаточной замотивированности, человек имеет больше внутренних ресурсов, обеспечивающих ему возможность преодоления неблагоприятных факторов.

Почему при разговоре о психологической устойчивости воздействию неблагоприятных факторов, мы уделяем внимание мотивации? Потому что, мотивация на достижение результата является естественным побудительным фактором обеспечивающим само выполнение деятельности. Развивая систему мотивации работника мы таким образом формируем у работника позитивное отношение к деятельности в том числе. В этом случае гораздо легче сформировать систему личностных убеждений, основанных на оптимистическом взгляде на ситуацию. При таком подходе трудности, вкупе с неблагоприятными факторами, неизменно встречающимися в любой деятельности, воспринимаются как временный, ситуационный компонент, а значит проходящий и не влияющий в целом на общую профессиональную деятельность работника. Высокий уровень профессионального мастерства, удовлетворение от работы и, связанные с этим, положительные эмоции повышают психологическую устойчивость личности и помогают преодолевать неблагоприятные факторы профессиональной деятельности.

Поэтому при выборе профессии и места работы необходимо учитывать не только физиологические (телосложение, тренированность и т. п.) и психофизиологические характеристики (свойства нервных процессов) человека, но также и его психологические особенности. В каждом конкретном случае эффективность профессиональной деятельности и удовлетворенность трудом определяется соответствием психофизиологических, физиологических и психологических особенностей данного человека особенностям выполняемой деятельности. Ведь следует понимать, что психические процессы человека не только подчиняются общим закономерностям, но еще несут и личностный характер. Вот почему прогноз успешности выполняемой деятельности и удовлетворенности работой осуществляются на основе подробного изучения всех перечисленных факторов. А успешность выполняемой деятельности напрямую зависит от психологической устойчивости личности к воздействию неблагоприятных профессиональных факторов.

В то же время, если человек не обладает необходимым уровнем развитости психологической устойчивости к неблагоприятным факторам в выбранной деятельности, в конечном итоге это может привести к изменениям его физического состояния из-за трудностей связанных с присутствующими в профессии психофизиологическими нагрузками, к преодолению которых у человека просто недостаточно внутренних ресурсов. Наступает дезадаптация, работник профессионально выгорает, что приводит к снижению продуктивности его деятельности, а то и к полному её прекращению. Потери несут две стороны – личность, утратившая здоровье, и организация, неэффективно растратившая финансовые и организационные ресурсы на данного работника в процессе его профессионального становления.

Таким образом, изучая психологическую устойчивость человека к неблагоприятным факторам, оценивая его медико-биологические и психофизиологические характеристики (такие как, свойства высшей нервной деятельности и особенности организации работы полушарий головного мозга, обуславливающие работоспособность, выносливость, функциональную подвижность, эмоциональную уравновешенность и др.), исследуя познавательные характеристики (объем, переключаемость, устойчивость и распределение произвольного внимания, оперативную зрительную память на числа и образы, оперативную слуховую память на словесную информацию), можно с высокой долей вероятности прогнозировать наличие внутренних, биологически обусловленных ресурсов по преодолению неблагоприятных производственных факторов. А развивая в организации систему внутреннего обучения, наставничества направленных на развитие и тренинг имеющихся социально-обусловленных качеств (таких как ответственность, дисциплинированность, самостоятельность, осмотрительность и разумная рискованность в неблагоприятных условиях профессиональной деятельности) и осознание личностью работника значимых целей деятельности, а также её замотивированность на их достижение, можно создать условия формирования психологической устойчивости работника к трудным профессиональным ситуациям, при наличии у него совокупности биологически и социально обусловленных качеств, важных в данной профессиональной сфере. Что и приведет в конечном итоге к долговременной и успешной профессиональной деятельности, конкретного работника.

ЛИТЕРАТУРА

1. Толкач, С. Н. Формирование психологической устойчивости работников ОПЧС как составляющая процесса подготовки специалиста / Теория и практика психологического сопровождения руководящих кадров / сборник статей / Акад. Упр. при Президенте Респ. Беларусь – Минск, 2017 – С. 175–178.
2. Шахновский, Д. В., Толкач, С. Н., Сергеев, В. Н. / Прогнозирование результативности деятельности спасателя в условиях ликвидации чрезвычайных ситуаций / Сборник научных трудов «Проблемы экстремальной и кризисной психологии». – Харьков, 2017. – Вып. 22. – С. 291–299.
3. Сагайдак, Д. И., Сагайдак, С. С. Принципы разработки технологий достоверного прогноза профессионального соответствия кадров МЧС / Сборник материалов международной научно-практической конференции (Минск 27 сентября 2018 г.). – Минск: УГЗ, 2018. – С. 43.
4. Новосельская, И. Б. Психологическое сопровождение работников экстремального труда. Методические рекомендации. Москва: 2002 г., – 67 стр.
5. Сагайдак, Д. И., Годунов, В. Н., Фролов, Г. И., Богданович, С. С., Новикова, А. А. Информационные технологии в психофизиологическом прогнозе обучаемости и профессиональной эффективности // Высшая школа. – 1998. – № 3–4.
6. Сагайдак, Д. И., Тетеркина, Т. И., Фролов, Г. И., Новикова, А. А., Богданович, С. С. Содержательный анализ профессионально значимых характеристик // Высшая школа. – 1999. – № 2.

ПСИХОЛОГИЧЕСКАЯ АДАПТАЦИЯ СТУДЕНТОВ В УСЛОВИЯХ КРУПНОГО ГОРОДА PSYCHOLOGICAL ADAPTATION OF STUDENTS IN LARGE CITY

Е. В. Толстая
E. Tolstaya

*Белорусский государственный университет, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ,
г. Минск, Республика Беларусь
eltol@mail.ru
Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus*

Психологическая адаптация студентов, получающих образование в г. Минске оценивалась с помощью психологического тестирования. Показано, что хотя лишь у 13,3 % обследованных выявлен высокий уровень стресса, у 28,4 % обследованных имела место психическая дезадаптация с проявлением депрессии и у 34,5 % в виде тревожных расстройств. Проявления психологической дезадаптации связаны с такой характеристикой личности, как высокая личностная тревожность.

Psychological adaptation of students from Minsk city has been invented by psychological testing. Though high level of psychological stress was noticed in 13,3 % of students, 28,4 % had signs of depression and 34,5 % had signs of anxious disorders. Psychological distress connected with high levels of trait anxiety.

Ключевые слова: психологическая адаптация и дезадаптация, студенты, депрессия, тревожность.

Keywords: psychological adaptation and disadaptation, students, depression, anxiety.

Любая адаптация организма к воздействию окружающей среды включает в себя психологическую адаптацию. Окружающая же среда помимо химических, физических и биологических факторов включает в себя и социальные факторы, в том числе социальные взаимодействия. Психологическая адаптация зависит как от особенностей индивидуума, так и от окружающей человека среды. На него оказывают влияние пол, возраст, профессиональная принадлежность, загрязнение окружающей среды физическими и химическими факторами, визуальная среда, социальные взаимодействия.

Студенты, которые живут и получают образование в г. Минске, подвержены влиянию всех факторов (как положительных, так и отрицательных факторов) крупного города. Отрицательные факторы – это и шум, и электромагнитное загрязнение, и световое загрязнение (ночная иллюминация), и неблагоприятная визуальная среда, и химическое загрязнение воздуха, и нарушение природных биоритмов.

На студента, как и на любого другого человека, воздействует социальное микроокружение (семья, друзья и сокурсники и т. д.). Социальная адаптация проявляется в процессе взаимодействия в профессиональной сфере (в учебе), в семейных и неформальных отношениях [1]. Во время учебы студенты подвержены выраженным интеллектуальным и психо-эмоциональным нагрузкам на фоне гиподинамии [2]. Это ведет к развитию психо-эмоционального стресса и может привести к психической дезадаптации.

При адаптации студентов к условиям информационных перегрузок задействованы в основном центральная нервная и вегетативная системы [2]. Научные исследования показали, что сам по себе напряженный умственный труд, не сопровождаемый отрицательными эмоциями, не оказывает неблагоприятного влияния на организм. Возникновение эмоционального стресса зависит от индивидуальной реактивности человека, а также обусловлен комплексом неблагоприятных факторов микросоциального окружения, к которым относится и проживание в мегаполисе [2; 3].

К психологической дезадаптации может привести не только учёба, но и отношения в семье, а также общение со сверстниками. Развитию психологической дезадаптации способствуют некоторые особенности личности, например высокая личностная тревожность. Так, личности, относимые к категории высокотревожных, склонны воспринимать угрозу своей самооценке и жизнедеятельности в обширном диапазоне ситуаций и реагировать весьма выраженным состоянием тревожности, особенно когда они касаются оценки их компетенции и престижа. Психическая дезадаптация проявляется чаще всего развитием депрессивных и тревожных расстройств, а также психогенной астенией [4].

Цель исследования – изучить особенности психологической адаптации у студентов IV курса, получающих образование в г. Минске.

Проведено обследование психологического статуса студентов 125 студентов IV курса Международного государственного экологического института им. А. Д. Сахарова, БГУ.

Психологическая адаптация или дезадаптация выявлялась с помощью психологического тестирования.

Для оценки уровня психологического стресса использована шкала психологического стресса Л. Ридера. Уровень стресса оценивался как высокий (м – 2,00–3,00 балла, ж – 2,18–3,00 балла), средний (м – 1,00–1,99 баллов, ж – 1,18–2,17 баллов), низкий (м – 0,00–0,99 баллов, ж – 0,00–1,17 баллов).

Уровень депрессии оценивался с помощью шкалы депрессии А. Бека (до 9 баллов – отсутствие депрессии, 10–15 субдепрессия (легкая депрессия), 16–19 – умеренная депрессия, 20–29 – выраженная депрессия (средней тяжести), 30–63 – тяжелая депрессия).

Уровень личностной тревожности определялся при помощи шкалы тревожности Спилбергера-Ханина. При интерпретации показателей личностной тревожности исходили из следующих положений: до 30 баллов – низкая, 31–44 балла – умеренная; 46 и более – высокая.

Общий уровень тревоги оценивался с помощью шкалы самооценки тревоги Шихана, которая позволяет выявить клинические признаки тревожных расстройств. Чем больше уровень тревоги отличается от нормального (до 20 баллов), тем необходимее консультация психиатра (психотерапевта). Уровень тревоги выше 30 баллов обычно уже считают клинически значимым, а выше 80 – очень высоким и требующим срочной помощи специалиста. Средний уровень при паническом расстройстве составляет 57 баллов.

Данные проанализированы при помощи вариационной статистики с определением t-критерия Стьюдента.

В результате проведенной работы выявлено, что по данным шкалы психологического стресса Л. Ридера (табл. 1), у 13,3 % обследованных выявлен высокий уровень стресса, у 52,1 % – средний уровень и у 32,5 % – низкий.

Таблица 1 – Зависимость психологических параметров от уровня стресса

Уровень стресса (баллы)	N, %	Личностная тревожность (баллы)	Уровень тревоги (баллы)	Уровень депрессии (баллы)
Высокий	18 (13%)	43,1±2,5	23,8±4,3	10,67±1,2**
Средний	61 (52,1%)	48,4±1,2	29,5±2,3	14,86±1,19
Низкий	38 (32,5%)	37,6±2,0***	20,5±2,5***	9,92±1,22***

Примечание: ** – $p < 0,01$, *** – $p < 0,001$ по отношению к среднему уровню.

У 41,5 % обследованных студентов выявлен низкий уровень депрессии, у 30,6 % уровень депрессии соответствовал субдепрессивному состоянию, у 10,5 % – умеренной депрессии, у 11,3 % – выраженной и у 6,5 % – тяжелой. Следовательно, у 28,4 % обследованных выявлена психическая дезадаптация с проявлением депрессии (табл. 2), 30,6 %, имеющих субдепрессивные состояния находятся в группе риска по развитию депрессии.

Таблица 2 – Зависимость психологических параметров от уровня депрессии

Уровень депрессии(баллы)	N, %	Уровень стресса (баллы)	Личностная тревожность (баллы)	Уровень тревоги (баллы)
0–9	51 (41,1%)	1,57±0,14**	38,1±1,4	15,4±1,4
10–15 (субдепрессия)	38 (30,6%)	1,80±0,13	46,2±1,6 $p_1 < 0,001$	26,7±2,1** $p_1 < 0,001$
16–19 (умеренный уровень)	13 (10,5%)	1,60±0,26	48,5±2,9 $p_1 < 0,001$	30,8±4,5** $p_1 < 0,001$
20–29 (средний уровень)	14 (11,3%)	1,59±0,14**	49,3±2,5 $p_1 < 0,01$	39,9±5,4* $p_1 < 0,001$
30–63 (тяжелая депрессия)	8 (16,5 %)	1,93±0,08	56,5±4,7 $p_1 < 0,001$	67,0±11,5 $p_1 < 0,01$

Примечание: ** – $p < 0,01$, $p < 0,001$ по отношению к тяжелой депрессии, p_1 – достоверные различия по отношению к группе 0–9 баллов.

Анализ данных обследования с помощью шкалы самооценки тревоги Шихана (табл. 3) показал, что у 60,5 % обследованных отсутствуют клинические проявления тревоги, при этом у 11,8 % общий уровень тревоги несколько повышен (>20 баллов). Высокие уровни тревоги наблюдались у 34,5 % обследованных. Следовательно, у 34,5 % обследованных выявлена психическая дезадаптация в виде тревожных расстройств. При этом у 2,5 % обследованных выявлены уровни тревоги выше 57 баллов, что требует обязательной помощи психотерапевта. 48,7 % студентов с более низкими показателями (31–56 баллов) также показана консультация психолога и психотерапевта (табл. 3). 11,8 % с несколько повышенным уровнем тревоги (21–29 баллов) относятся к группе риска по развитию тревожных расстройств.

Таблица 3 – Зависимость психологических параметров от уровня тревоги

Уровень тревоги (баллы)	N, %	Уровень стресса (баллы)	Личностная тревожность (баллы)	Уровень депрессии (баллы)
<20	58 (48,7%)	1,63±0,13	39,4±1,2	8,40±0,73
21–29	14 (11,7%)	1,68±0,18	49,0±1,7***	13,71±1,80**
31–56	41 (35,3%)	1,89±0,07	49,0±1,7***	17,98±1,48***
>57	3 (2,5%)	–	–	–

Примечание: ** – $p < 001$, $p < 0001$ по отношению по отношению к группе < 0 баллов

Что касается анализа такой личностной особенности, как тревожность показано, что 53 % обследованных студентов являются лицами с высокой личностной тревожностью, 37,4 % – со средней личностной тревожностью и 9,6 % – низкотревожные (табл. 4).

Таблица 4 – Зависимость психологических параметров от уровня личностной тревожности

Уровень личностной тревожности (баллы)	N, %	Уровень стресса (баллы)	Уровень тревоги (баллы)	Уровень депрессии (баллы)
Высокий	61 (53%)	1,75±0,08	34,3±2,8	16,1±1,21
Средний	43 (37,4 %)	1,61±0,14	19,2±2,2***	8,93±0,81***
Низкий	11 (9,6 %)	1,29±0,33	14,6±3,3**	10,08±2,95

Примечание: ** – $p < 001$, $p < 0001$ по отношению по отношению к группе с высоким уровнем личностной тревожности.

Одним из важнейших факторов, которые определяют реакцию организма на те или иные воздействия или события, являются особенности личности. Определенный уровень тревожности – естественная и обязательная особенность активной личности. При этом существует индивидуальный оптимальный уровень «полезной тревоги» [5]. Состояние тревожности является важной характеристикой психического состояния.

Личностная тревожность формируется в процессе жизни и тесно связана с окружением, в котором формируется личность. Условия крупных городов, к которым относятся и г. Минск, с их множеством негативных факторов способствуют формированию высокотревожных личностей.

Чем ближе тревожность к характеристике «черта» характера, обуславливающей готовность к тревожным реакциям (личностная тревожность), тем более выражено и продолжительно ее влияние на личность в целом и отдельные ее проявления.

Личности, относимые к категории высокотревожных, склонны воспринимать угрозу своей самооценке и жизнедеятельности в обширном диапазоне ситуаций и реагировать весьма выраженным состоянием тревоги. Выраженная тревога проявляется гиперактивацией симпатoadреналовой системы и симпатического отдела вегетативной нервной системы (сердцебиение, потливость – чаще потные ладони, тремор, сухость во рту, тошнота, неприятные ощущения в области живота, учащенное мочеиспускание, затруднение в дыхании, чувство удушья, боль или дискомфорт в груди), а также симптомами напряжения – мышечное напряжение или боли, состояние «на взводе» и «комка в горле». Выраженная тревога не только нарушает нормальную психическую деятельность, но и способствует развитию различных заболеваний (тревожных расстройств и психосоматической патологии).

Как предрасположенность, личностная тревожность активизируется при восприятии определенных стимулов, расцениваемых человеком как опасные для самооценки, самоуважения. В этом случае рекомендуется (и этому надо научиться) снизить субъективную значимость ситуации и задач и перенести акцент на осмысливание деятельности и формирование чувства уверенности в успехе. Существуют методы психологической коррекции, направленные на нормализацию уровня личностной тревожности.

Для низкотревожных людей требуется пробуждение активности, усиление мотивационных компонентов деятельности, возбуждение заинтересованности.

Анализ психологической дезадаптации в зависимости от уровня личностной тревожности (табл. 4) показал, что в группе студентов с высоким уровнем личностной тревожности (53,0±0,8 баллов) уровни депрессии были достоверно выше, чем в группе со средним уровнем (соответственно 16,1±1,21 балов и 8,93±0,81 баллов, $p < 0,001$) и соответствовал умеренным уровням депрессии.

То же можно отметить и относительно уровня общей тревоги согласно шкале самооценки тревоги Шихана (табл. 3). В группе с высоким уровнем личностной тревожности уровень общей тревоги был 34,3±2,8 баллов.

У 45,9 % студентов данной группы уровни тревоги были выше 30 баллов, что свидетельствует о наличии клинических проявлений тревоги. В группах со средней и низкой личностной тревожностью её уровни были достоверно ниже (соответственно $19,2 \pm 2,2$ и $14,6 \pm 3,3$, $p < 0,001$). В группе со средним уровнем личностной тревожности у 23,3 % имели место клинических проявлений тревоги, а в группе с низким уровнем личностной тревожности – у 14,3 %.

Анализ психологических параметров в зависимости от уровня стресса (табл. 1) показал, что наиболее высокие уровни личностно тревожности ($48,4 \pm 1,2$ баллов) имели место в группе со средними уровнями стресса и были достоверно выше относительно группы с низким уровнем стресса ($37,6 \pm 2,0$, $p < 0,001$).

Те же закономерности наблюдались и при анализе общего уровня тревожности по шкале Шихана (соответственно $29,5 \pm 2,3$ баллов и $20,0 \pm 2,5$ баллов, $p < 0,001$).

Уровни депрессии в группе со средними уровнями стресса ($14,86 \pm 1,19$ баллов) были достоверно выше не только относительно группы с низким уровнем стресса ($9,92 \pm 1,28$ баллов, $p < 0,01$), но и относительно группы с высоким уровнем стресса ($10,67 \pm 1,28$ баллов, $p < 0,01$).

Анализ психологической адаптации у студентов 4 курса МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ определялся с помощью психологического тестирования. Показано, что по данным шкалы психологического стресса Л. Ридера у 13,3 % обследованных студентов выявлен высокий уровень стресса, у 52,1 % – средний уровень и у 32,5 % – низкий. Не смотря на то, что лишь у 13,3 % студентов были высокие уровни стресса, у 28,4 % обследованных выявлена психическая дезадаптация с проявлением депрессии, а у 34,5 % обследованных выявлена психическая дезадаптация в виде тревожных расстройств (у 2,5 % требовали обязательной помощи психотерапевта, а 48,7 % показана консультация психолога и психотерапевта). 11,8 % с несколько повышенным уровнем тревоги (21–29 баллов) относятся к группе риска по развитию тревожных расстройств.

Анализ такой личностной особенности, как тревожность показано, что 53 % обследованных студентов являются лицами с высокой личностной тревожностью, 37,4 % – со средней личностной тревожностью и 9,6 % – низкотревожные. Анализ психологической дезадаптации в зависимости от уровня личностной тревожности показал, что в группе студентов с высоким уровнем личностной тревожности уровни депрессии были достоверно выше, чем в группе со средним уровнем и соответствовал умеренным уровням депрессии. 45,9 % студентов данной группы имели признаки тревожных расстройств. Следовательно, студенты с высоким уровнем личностной тревожности являются группой риска по развитию психологической дезадаптации и нуждаются в психологической коррекции. Причины формирования такой личностной особенности, как высокая тревожность у 53 % студентов требует дальнейшего изучения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Горчакова, В. А. Психологическая дезадаптации у студентов среднего и высшего профессионального образования: сравнительный анализ / В. А. Горчакова, М. А. Ланда, В. А. Матыцина // Психологическая наука и образование. – 2013. – № 4. – С. 5–13.
2. Алексеев, В. В. Специфика адаптации студентов к условиям обучения в вузе в зависимости от разных состояний здоровья и двигательной активности / В. В. Алексеев, Т. В. Дмитриева, А. В. Агафонов // Педагогико-психологические и медико-биологические проблемы физической культуры и спорта, 2011. – № 3(20). – С. 9–13
3. Кутепов, Е. Н., Варфоломеева, И. В. Использование психодиагностических методов для оценки и прогнозирования здоровья населения / Е. Н. Кутепов, И. В. Варфоломеева // Гигиена и санитария. 1993. – № 11. – С. 69–71.
4. Толстая, Е. В. Особенности проявлений психологического стресса у студентов экологического профиля, обучающихся на IV курсе / Е. В. Толстая, Т. Н. Глинская, Н. Д. Козелько [Электрон, ресурс]: материалы Республиканской научно-практической интернет-конференции с международным участием «Специфические и неспецифические механизмы адаптации во время стресса и физической нагрузки» (30 ноября 2016 г., г. Гомель. Гомельский государственный медицинский университет). – Режим доступа: <http://gsmu.by/index.php/auka/2012-10-08-08-15-46>
5. Райгородский, Д. Я. Практическая психодиагностика. Методики и тесты. / Д. Я. Райгородский. – Самара: Издательский Дом «БАХРАХ-М», 2011. – 672 с.

ОСОБЕННОСТИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ОРГАНИЗМА СПОРТСМЕНОВ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СПЕЦИАЛИЗАЦИИ

FEATURES OF RECOVERY OF THE ORGANISM OF ATHLETES DEPENDING ON THE SPECIALIZATION

Н. В. Шведова¹, Н. Н. Иванчикова²

N. Shvedava¹, N. Ivanchikava²

*¹Белорусский государственный университет, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ,
г. Минск, Республика Беларусь*

*²Республиканский научно-практический центр спорта, г. Минск, Республика Беларусь
natalie18shv@gmail.com*

¹Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus

²Republican Scientific and practical Center of sports, Minsk, Republic of Belarus

В статье представлены результаты исследования изменения гематологических и биохимических показателей у спортсменок, специализирующихся в беге на различные дистанции, после выполнения тренировочных заданий, максимально приближенных к соревновательной деятельности, в течение обще-подготовительного этапа годичного цикла подготовки. Полученные результаты могут быть использованы с целью определения эффективности тренировочных нагрузок и коррекции тренировочного процесса, а также для оценки степени восстановления организма спортсменок.

The article presents the results of research of changes in hematological and biochemical parameters in female athletes specializing in various distances after completing training tasks as close as possible to competitive activity during the general preparatory stage of the annual training cycle. The results can be used to determine the effectiveness of training loads and the correction of the training process as well as to assess the degree of recovery of the organism of athletes.

Ключевые слова: лактат, гемоглобин, гематокрит, мочевины, креатинкиназа, аспаратаминотрансфераза, аланинаминотрансфераза.

Keywords: lactate, hemoglobin, hematocrit, urea, creatine kinase, aspartate aminotransferase, alanine aminotransferase.

Успешность соревновательной деятельности спортсменов во многом зависит от адаптации их организма к тренировочным нагрузкам, критерием которой может служить изменение лабораторных показателей. В последние годы изучению этого аспекта уделяется особое внимание, так как будучи достаточно точными и надежными, биохимические и гематологические показатели значительно дополняют оценку функционального состояния спортсменов, позволяют объективно судить о направленности течения метаболических процессов, степени напряженности тренировочного процесса и на их основании вносить коррективы в его построение. Результаты многих исследований показали, что использование методов биохимического контроля в спорте высших достижений дает возможность определить перспективность действующих спортсменов на этапах спортивного совершенствования, а также предупредить развитие состояний перетренированности и, как следствие, снизить риск травматизма и профессиональных заболеваний [1; 2].

В зависимости от того, насколько своевременно могут быть выявлены факторы, лимитирующие общую и специальную работоспособность, по-разному будут реализованы потенциальные возможности спортсмена, различной будет эффективность выполненных им тренировочных заданий, а это, в свою очередь, в дальнейшем сказывается на результатах соревновательной деятельности.

Контроль за развитием адаптационных возможностей на отдельных этапах подготовки спортсменов и способностью к реализации их в сложных условиях соревнований является одним из важных инструментов рационального построения тренировочного процесса [2–4].

Цель исследований – определение особенностей адаптационных изменений лабораторных показателей у легкоатлеток, специализирующихся в беге на различные дистанции, после выполнения нагрузок, максимально приближенных к соревновательной деятельности.

Задачи исследований:

1. Определить направление динамики гематологических и биохимических показателей в крови спортсменок-легкоатлеток после выполнения тренировочных нагрузок, максимально приближенных к соревновательной деятельности.

2. Определить наиболее информативные лабораторные показатели для оценки адаптации легкоатлеток к тренировочным нагрузкам, максимально приближенным к соревновательной деятельности.

Под наблюдением находились 30 легкоатлетов в течение обще-подготовительного этапа годового цикла подготовки. Все спортсменки были разделены на 3 группы согласно их специализации: 1-я группа – спортсменки, специализирующиеся в беге на короткие дистанции (n = 6), 2-я группа – спортсменки, специализирующиеся в беге на средние дистанции (n = 16), 3-я группа – спортсменки, специализирующиеся в беге на длинные дистанции (n = 8). Все участницы исследования имели высокую квалификацию – КМС, МС, МСМК.

В ходе исследовательской работы проводился сравнительный анализ гематологических и биохимических показателей крови после выполнения тренировочных нагрузок, максимально приближенных к соревновательной деятельности, спортсменками различных специализаций. Содержание лактата после выполнения тренировочных заданий находилось в диапазоне 12–16 ммоль/л, ЧСС – 175–180 уд/мин у представительниц всех дистанций. Концентрацию лактата определяли с помощью анализатора глюкозы и лактата BIOSEN C-Line (Германия). Оценка переносимости нагрузок, максимально приближенных к соревновательной деятельности, выполняемых за счет гликолитического расщепления углеводов, имеет важное значение, так как адаптация к выполняемой работе в анаэробных условиях происходит за счет нейтрализации молочной кислоты или за счет увеличения скорости ее образования, а также за счет повышения психологической способности продолжить бег в дискомфортных условиях. Работа в этой зоне мощности имеет важное значение для спортсменок всех специализаций, так как именно по пути анаэробного механизма энергообеспечения происходит выполнение большинства соревновательных нагрузок [3; 7].

Забор крови для определения исследуемых показателей проводился натощак в день тренировки (1-ый этап исследования) и на следующее утро после тренировки (2-ой этап исследования). Концентрацию гемоглобина и гематокрит определяли в цельной крови с использованием портативного гематологического анализатора «HEMO_CONTROL» (Германия). Определение биохимических показателей осуществлялось энзиматическим методом с использованием стандартных наборов реактивов ЗАО «Диакон ДС» (Россия) и полуавтоматического биохимического анализатора «SOLAR» (Беларусь). В сыворотке капиллярной крови определяли концентрацию мочевины и активность ферментов креатинфосфокиназы (КФК), аспартат- и аланинаминотрансфераз (АСТ и АЛТ).

Результаты исследований представлены в таблице.

При рассмотрении полученных данных обращают на себя внимание, во-первых, невысокие значения в группах спортсменок показателей гемоглобина и гематокрита, а также величины большинства биохимических показателей, не превышающих границ нормы. Во-вторых, рассмотрение направленности их динамики показывает, что выполнение тренировочных нагрузок сопровождалось как повышением, так и снижением всех показателей, что свидетельствовало о неоднозначном воздействии тренировочных нагрузок высокой интенсивности на организм спортсменок.

Таблица – Гематологические и биохимические показатели крови легкоатлетов до и после выполнения тренировочных нагрузок, максимально приближенных к соревновательной деятельности

Показатели	Специализация спортсменок					
	Короткие дистанции (1-я группа)		Средние дистанции (2-я группа)		Длинные дистанции (3-я группа)	
	1-ый этап	2-ой этап	1-ый этап	2-ой этап	1-ый этап	2-ой этап
Гемоглобин, г/л	139,16±1,16	134,40±2,50* ³	140,32±1,16* ³	138,42±1,65* ³	143,11±1,22	145,89±2,10* ^{1,2}
Гематокрит, %	40,22±1,39	39,80±0,73	42,88±0,21	42,70±0,48	44,03±0,31	43,33±0,96
Мочевина, ммоль/л	4,11±0,12	4,38±0,22* ^{2,3}	4,17±0,55	5,39±0,19* ¹	4,08±0,73	5,34±0,25* ¹
КФК, Е/л	317,88±211,10	754,17±190,54* ^{2,3}	224,67±9,18	310,12±20,03* ^{1,3}	231,19±23,48	471,45±37,87* ^{1,2}
АСТ, Е/л	24,17±2,14	28,43±3,41* ³	26,17±2,02	31,34±1,22* ³	30,88±2,22	38,32±2,75* ^{1,2}
АЛТ, Е/л	21,68±2,12	22,41±2,53	18,13±1,45	22,66±1,46	26,14±1,33	28,21±2,24

Примечания: * – достоверное изменение показателей ($P < 0,05$) между группами; 1-ый этап – значения показателей до выполнения нагрузки; 2-ой этап – значения показателей на следующий день после выполнения нагрузки.

По итогам проведенного анализа крови на следующий день после выполнения тренировочных нагрузок отмечено снижение концентрации гемоглобина и гематокрита у спортсменок 1-ой и 2-ой групп, а у представительниц 3-ей группы наблюдалась тенденция к росту этих показателей.

Сравнительный анализ динамики показателей концентрации гемоглобина и уровня гематокрита между группами спортсменок после выполнения тренировочных заданий выявил тенденцию к более высоким значениям по мере увеличения длины дистанции в соответствии со специализацией.

Было выявлено, что после работы, максимально приближенной к соревновательной, достоверно большие показатели концентрации гемоглобина наблюдались у спортсменок 3-ей группы (145,89±2,10 г/л) по сравнению со спортсменками 1-ой (134,40±2,50 г/л) и 2-ой (138,42±1,65 г/л) групп на 7,87 % и 5,12 % соответственно ($P < 0,05$). Аналогичная тенденция наблюдалась и при анализе показателей гематокрита: более высокая величина данного показателя наблюдалась у спортсменок 3-ей группы – 43,33±0,96 %, у представительниц 1-ой и 2-ой групп – 39,80±0,73 % и 42,70±0,48 % ($P < 0,05$), что ниже на 8,15 и 1,46 % и соответственно.

Более высокие показатели концентрации гемоглобина у стайеров могут объясняться в большей степени тем, что выполнение длительной работы осуществляется за счет аэробных способов энергопродукции, в свою очередь связанных и способствующих постоянному повышению возможностей обеспечения организма кислородом, носителем которого и является гемоглобин. Следовательно, у спортсменов, специализирующихся в беге на длинные дистанции, адаптация организма к тренировочным нагрузкам проявляется, прежде всего, в повышении концентрации гемоглобина в крови [5; 7].

Наряду с более высокой концентрацией гемоглобина у спортсменов стайерских специализаций положительным являлось умеренное повышение гематокрита (в пределах средних индивидуальных границ нормы), как критерия адаптации к работе на выносливость, что могло происходить как за счет увеличения количества эритроцитов, так и за счет повышения концентрации гемоглобина в одном эритроците.

Что касается невысоких показателей концентрации гемоглобина у спортсменов, особенно тренирующихся на короткие и средние дистанции, то в настоящее время многие специалисты считают, что процесс легкой анемизации крови при напряженных тренировках следует рассматривать как адаптивный, а, следовательно, благоприятный для организма спортсменов. Адаптивность анемизации крови проявляется в том, что при повышенной мышечной работе селезенка выделяет гемолизирующий фактор, ускоряющий разрушение эритроцитов. Деструкция эритроцитов дает возможность использовать их белковые структуры, в том числе и гемоглобин, для гипертрофии мышц и регенерации ретикулоцитов, которых у спортсменов больше, чем у нетренированных лиц. Несмотря на то, что при анемии снижается максимальная аэробная выносливость спортсменов и значительно удлиняется период их восстановления, эти явления компенсируются путем увеличения частоты сердечных сокращений [5].

Также следует отметить, что у спортсменов всех специализаций на следующий день после выполнения тренировочных заданий наблюдалось повышение в крови концентрации мочевины и активности исследуемых ферментов.

При сравнении данных спортсменов различных специализаций наблюдались также достоверные изменения биохимических показателей. Так, более высокая концентрация мочевины отмечалась у спортсменов 3-ей группы. Если у спринтеров ее уровень составлял $4,38 \pm 0,22$ ммоль/л, то у спортсменов, специализирующихся в беге на средние и длинные дистанции, был выше на 23,06 % и 21,92 %, составляя $5,39 \pm 0,19$ ммоль/л и $5,34 \pm 0,25$ ммоль/л соответственно.

То обстоятельство, что уровень мочевины после выполнения нагрузки не превышал допустимых границ нормы, свидетельствовало об оптимальном содержании в крови белковых веществ, также о сбалансированности в организме процессов анаболизма и катаболизма [4; 5; 8]. Однако значимое повышение активности фермента КФК у представительниц 1-й группы указывало на явления высокого напряжения нервно-мышечного аппарата, что могло быть обусловлено спецификой их физиологии, связанной с преобладанием быстро-сокращающихся мышечных волокон, а также выполнением преимущественно скоростных заданий в тренировочном цикле а, следовательно, метаболические сдвиги в их организме после тренировок, максимально приближенных к соревновательной деятельности, проявлялись с меньшей степенью выраженности.

Самая высокая активность фермента КФК в пределах $754,17 \pm 190,54$ Е/л была отмечена после выполнения тренировки у спортсменов-спринтеров, а у спортсменов, специализирующихся в беге на средние и длинные дистанции, несколько ниже – $310,12 \pm 20,03$ Е/л и $471,45 \pm 37,87$ Е/л, что меньше на 58,88 % и 38,49 % соответственно ($P < 0,05$).

Между уровнями активности фермента АСТ выявлены достоверные различия у спортсменов 2-ой и 3-ей групп – $31,34 \pm 1,22$ Е/л и $38,32 \pm 2,75$ Е/л соответственно. Достоверных изменений активности фермента АЛТ в ответ на выполненную нагрузку высокой интенсивности не было зафиксировано. Уровни активности этих ферментов находились в пределах вышесредней (АСТ) и средней (АЛТ) границ клинической нормы, что являлось показателем нормального функционирования метаболических процессов печени и сердца при выполнении тренировочных нагрузок.

Сравнительный анализ полученных данных показал, что пределы изменения ряда гематологических и биохимических показателей у спортсменов значительно шире, чем принято в клинической практике для здоровых людей, не занимающихся спортом.

Таким образом, под влиянием тренировочных нагрузок, в связи с их стимулирующим или угнетающим действием происходят изменения в содержании промежуточных и конечных продуктов метаболических процессов, что и обуславливает развития адаптации к конкретному виду тренировочной нагрузки. В ходе нашего исследования выявлено, что одним из наиболее информативных показателей для оценки восстановления организма спортсменов после выполнения нагрузок, максимально приближенных к соревновательным, а также направления протекания адаптационных изменений, является активность фермента креатинфосфокиназы (КФК). Вместе с тем для оценки адаптации организма спортсменов к напряженным физическим нагрузкам, таким как соревновательные или приближенные к ним, необходим динамический гематологический и биохимический мониторинг, а также анализ накопленной информации.

Изменения лабораторных показателей в условиях учебно-тренировочных сборов, особенно в обще-подготовительном периоде, следует рекомендовать в качестве одного из критериев оценки адаптации организма спортсменов к физическим нагрузкам, а также учитывать их при оценке работоспособности спортсменов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Нехвядович, А. И. Динамика гематологических показателей как критерий функционального состояния и тренированности спортсменов / А. И. Нехвядович, А. Н. Будко // Прикладная спортивная наука. – 2018. – № 1 (7). – С. 105–111.
2. Загородный, Г. М. Медикоментозная коррекция и профилактика иммунодефицитов у спортсменов / Г. М. Загородный, Е. А. Гаврилова // Рецепт. – 2011. – № 4. – С. 107–131.
3. Шведова, Н. В. Использование гемоглобиновой массы для оценки подготовленности спортсменов / Н. В. Шведова, Л. С. Сосна, Н. В. Шераш // Прикладная спортивная наука. – 2018. – № 2 (8). – С. 84–90.
4. Нехвядович, А. И. Гематологический контроль в спорте: методические рекомендации / А. И. Нехвядович. – Минск: НИИ физической культуры и спорта Республики Беларусь, 2000. – 40 с.
5. Анисимов, Е. А. Особенности биохимических показателей крови у высококвалифицированных спортсменов / Е. А. Анисимов [и др.] // Медицина экстремальных ситуаций. – 2017. – № 3 (61). – С. 160–167.
6. Kratz, A. Effect of Marathon Running on Hematologic and Biochemical Laboratory Parameters, Including Cardiac Markers / A. Kratz [et al.] // Clinical Chemistry. – 2002. – № 18. – P. 856–863.
7. Palacios, G. Biomarkers of physical activity and exercise / G. Palacios, R. Pedrero-Chamizo, N. Palacios et al. // Nutricion Hospitalaria. – 2015. – 31. – P. 237–244.
8. Meeusen, R. Prevention, Diagnosis, and Treatment of the Overtraining Syndrome: Joint Consensus Statement of the European College of Sport Science and the American College of Sports Medicine / R. Meeusen [et al.] // Journal of the American College of Sports Medicine. – 2012. – № 13. – P. 186–205.

АНТИОКСИДАНТНАЯ АКТИВНОСТЬ МОЛОЧНЫХ СМЕСЕЙ ДЛЯ ДЕТСКОГО ПИТАНИЯ ANTIOXIDANT ACTIVITY OF DAIRY MIXTURES FOR CHILD NUTRITION

М. А. Юшкевич, Е. И. Тарун
M. Yushkevich, E. Tarun

*Белорусский государственный университет, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ,
г. Минск, Республика Беларусь
ktarun@tut.by
Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus*

Проведено сравнительное изучение антиоксидантной активности молочных смесей для детского питания. Получены зависимости интенсивности флуоресценции флуоресцеина от логарифма концентрации молочных смесей, из которых графически определены показатели IC_{50} . Наблюдается подавление действия свободных радикалов и возрастание флуоресценции флуоресцеина до 78–96 % при концентрации образцов 0,5 мг/мл. Максимальная антиоксидантная активность (АОА) получена для молочной смеси «NAN Optipro 1+», показатель IC_{50} которой составляет $0,58 \cdot 10^{-2}$ мг(белка)/мл. Минимальные показатели IC_{50} в расчете на сухое вещество ($5,89-6,03 \cdot 10^{-2}$ мг/мл) получены для молочных смесей «NAN Optipro HA 1+», «NAN Optipro 1+» и «ГА гипоаллергенная 3+».

The comparative study of the antioxidant activity of dairy mixtures for child nutrition. Fluorescein fluorescence intensity dependencies are obtained on the logarithm of the concentration of infant formula, from which IC_{50} values are graphically determined. A suppression of the action of free radicals and an increase in fluorescence of fluorescein up to 78–96 % with a concentration of samples of 0,5 mg / ml are observed. The maximum antioxidant activity (AOA) was obtained for the “NAN Optipro 1+” milk formula, with an IC_{50} of $0,58 \cdot 10^{-2}$ mg (protein)/ ml. The minimum IC_{50} based on dry matter ($5,89-6,03 \cdot 10^{-2}$ mg / ml) was obtained for the milk mixtures “NAN Optipro HA 1+”, “NAN Optipro 1+” and “HA hypoallergenic 3+”.

Ключевые слова: антиоксидантная активность, молочные смеси для детского питания, флуоресцеин.

Keywords: antioxidant activity, dairy mixtures for child nutrition, fluorescein.

Молоко является уникальным продуктом, обеспечивающим организм разнообразием необходимых питательных веществ и обладающим антиокислительными свойствами. Ферментативный гидролиз белкового компонента молока направлен на получение продуктов с низким аллергенным потенциалом и высокой питательной ценностью [1; 2]. При изучении механизмов проявления антиоксидантной активности (АОА) молока установлена зависимость ее уровня от конформации и аминокислотной последовательности белков и пептидов. Проведено сравнительное исследование антиоксидантной активности 8 молочных смесей для детского питания разных про-

изводителей: «ГА гипоаллергенная 1+», «ГА гипоаллергенная 2+», «ГА гипоаллергенная 3+», «Иммунис 1+», «Комфорт», «Антирефлюксная» фирмы «Беллакт» (Беларусь), «NAN Optipro HA 1+» (гипоаллергенная), «NAN Optipro 1+» фирмы «Nestle» (Швейцария). Смеси «ГА гипоаллергенная 1+», «ГА гипоаллергенная 2+», «ГА гипоаллергенная 3+», «Комфорт» и «NAN Optipro HA 1+» (гипоаллергенная) содержали частично гидролизованный сывороточный белок молока. Смеси «Иммунис 1+», «Антирефлюксная» и «NAN Optipro 1+» содержали негидролизованный белок молока с преобладанием белков молочной сыворотки.

Метод определения АОА по отношению к активированным формам кислорода (АФК) основан на измерении интенсивности флуоресценции окисляемого соединения и ее уменьшении под воздействием АФК. В настоящей работе для детектирования свободных радикалов использован флуоресцеин, обладающий высоким коэффициентом экстинкции и близким к 1 квантовым выходом флуоресценции. Генерирование свободных радикалов осуществляли, используя систему Фентона, в которой образуются гидроксильные радикалы при взаимодействии комплекса железа (Fe^{2+}) с этилендиаминтетрауксусной кислотой (EDTA) и пероксида водорода [3–5]. При взаимодействии флуоресцеина со свободными радикалами происходит тушение его флуоресценции, восстановить которую можно при добавлении в систему веществ, проявляющих антиоксидантные свойства.

Приготовление раствора молочных смесей. Взвешивали 0,2 г сухого порошка молочной смеси, добавляли 2 мл дистиллированной воды, нагретой до 50°C и перемешивали. Получали раствор молочной смеси с концентрацией 100 мг/мл. Из полученного раствора готовили ряд разведений молочной смеси, соответствующий концентрациям: 0,1–10 мг/мл. Концентрации в пробе уменьшались в 10 раз и составляли: 0,01–1 мг/мл

Методика определения антиоксидантной активности молочных смесей. Общий объем пробы, помещаемый в кювету составлял 2 мл. В кювету вносили 0,02 мл флуоресцеина (10^{-6} М) и 1,98 мл 0,1 М Na-фосфатного буфера. Прописывали спектр. Полученные значения пика флуоресценции принимали за 100 %.

В кювету вносили 0,02 мл флуоресцеина (10^{-6} М), 0,2 мл Fe^{2+} с этилендиаминтетрауксусной кислотой (ЭДТА) (10^{-3} М), 1,58 мл 0,1 М Na-фосфатного буфера и 0,2 мл пероксида водорода (10^{-2} М). При взаимодействии Fe^{2+} с H_2O_2 (реакция Фентона) образующиеся радикалы подавляли свечение флуоресцеина. Полученные значения пика флуоресценции принимали за минимальное.

В кювету вносили 0,02 мл флуоресцеина (10^{-6} М), 0,2 мл Fe^{2+} с ЭДТА (10^{-3} М), 0,2 мл раствора молочной смеси (0,1–10 мг/мл) и 1,38 мл 0,1 М Na-фосфатного буфера. Реакцию начинали добавлением 0,2 мл пероксида водорода (10^{-2} М).

Конечные концентрации: флуоресцеин – 10^{-8} М, Fe^{2+} – 10^{-4} М, ЭДТА – 10^{-4} М, H_2O_2 – 10^{-3} М, раствор молочной смеси – 0,01–1 мг/мл.

Измерения флуоресценции проводили на флуориметре RF-5301 PC («Shimadzu», Япония). Регистрировали интенсивность флуоресценции на длине волны 514 нм. Длина волны возбуждения – 490 нм.

Для всех образцов получены зависимости интенсивности флуоресценции флуоресцеина от логарифма концентрации молочных смесей. Исследования проведены в широком диапазоне концентраций 0,01–1 мг/мл. Образцы молочных смесей начинали проявлять АОА при концентрации 0,01 мг/мл. При последующем увеличении концентрации молочных смесей наблюдается увеличение подавления действия свободных радикалов и возрастание флуоресценции флуоресцеина до 78–96 % при концентрации образцов 0,5 мг/мл (табл. 1). Графически определены показатели IC_{50} – концентрация молочных смесей, при которой достигается 50 % ингибирования свободных радикалов. Известно, что антиоксидантная активность белков молока обусловлена восстанавливающими свойствами аминокислотных радикалов триптофана, тирозина, метионина и гистидина [1]. В связи с этим расчет IC_{50} для молочных смесей осуществляли как на содержание сухого вещества, так и количество белковой фракции (табл. 1) с учетом процентного содержания белка в сухих молочных смесях (табл. 2).

Максимальная АОА получена для молочной смеси «NAN Optipro 1+». Подавление свободных радикалов достигается до 95 %. Показатель IC_{50} составляет $0,58 \cdot 10^{-2}$ мг/мл. Образец молочной смеси «NAN Optipro HA 1+» подавлял действие свободных радикалов на 82 %, тогда как его показатель IC_{50} ($0,57 \cdot 10^{-2}$ мг/мл) несколько ниже аналогичного показателя для молочной смеси «NAN Optipro 1+».

Гипоаллергенные смеси «ГА гипоаллергенная 3+» и «ГА гипоаллергенная 2+» восстанавливали флуоресценцию флуоресцеина на 96 %. Показатель IC_{50} , полученный для молочной смеси «ГА гипоаллергенная 2+» ($0,83 \cdot 10^{-2}$ мг/мл) в 1,1 раза ниже аналогичного показателя для молочной смеси «ГА гипоаллергенная 3+» ($0,94 \cdot 10^{-2}$ мг/мл). Наиболее низкую АОА из гипоаллергенных смесей показал образец «ГА гипоаллергенная 1+». Он восстанавливал флуоресценцию флуоресцеина на 81 %, что сравнимо с образцом молочной смеси «NAN Optipro HA 1+». Показатель IC_{50} , полученный для молочной смеси «ГА гипоаллергенная 1+» ($1,09 \cdot 10^{-2}$ мг/мл) в 1,9; 1,3 и 1,2 раз выше, чем аналогичные показатели для молочных смесей «NAN Optipro HA 1+», «ГА гипоаллергенная 2+» и «ГА гипоаллергенная 3+» соответственно.

Молочная смесь «Антирефлюксная» восстанавливала флуоресценцию флуоресцеина на 93 %, что сравнимо с образцами молочных смесей «NAN Optipro 1+», «ГА гипоаллергенная 3+» и «ГА гипоаллергенная 2+». Показатель IC_{50} ($0,85 \cdot 10^{-2}$ мг/мл) сравним с аналогичным показателем для молочной смеси «ГА гипоаллергенная 2+» и в 1,5 раза выше показателя IC_{50} для молочной смеси «NAN Optipro 1+».

Образцы молочных смесей «Комфорт» и «Иммунис 1+» подавляли действие свободных радикалов до 78 %, что в 1,2 раза ниже аналогичных показателей для молочных смесей «NAN Optipro 1+», «ГА гипоаллергенная 3+» и «ГА гипоаллергенная 2+». Показатель IC_{50} молочной смеси «Комфорт» ($1,17 \cdot 10^{-2}$ мг/мл) сравним с анало-

гичным показателем для молочной смеси «ГА гипоаллергенная 1+». Максимальный показатель IC_{50} получен для молочной смеси «Иммунис 1+» ($1,6 \cdot 10^{-2}$ мг/мл). Он в 1,4 и 2,8 раза превышает показатели IC_{50} молочной смеси «Комфорт» и «NAN Optipro 1+» соответственно. Это свидетельствует о самой низкой АОА образца молочной смеси «Иммунис 1+».

Молочные смеси «NAN Optipro HA 1+», «ГА гипоаллергенная 1+», «ГА гипоаллергенная 2+», «ГА гипоаллергенная 1+» и «Комфорт» содержат частично гидролизованный сывороточный белок, тогда как молочные смеси «NAN Optipro 1+», «Антирефлюксная» и «Иммунис 1+» - негидролизованные сывороточные белки. Гидролиз сывороточных белков, а также степень гидролиза оказывают положительное влияние на повышение АОА белков молока [4,5]. Однако, молочная смесь «NAN Optipro 1+», не содержащая гидролизованный белок, показывает более высокую АОА по сравнению с молочной смесью «NAN Optipro HA 1+». Молочная смесь «Антирефлюксная», также не содержащая гидролизованный белок, имеет более высокую АОА, чем молочные смеси «ГА гипоаллергенная 3+», «ГА гипоаллергенная 1+» и «Комфорт».

Таблица 1 – Показатели антиоксидантной активности молочных смесей

Молочные смеси	A_{max} , %	C_{max} , мг(сухого вещества)/мл	$IC_{50} \cdot 10^{-2}$, мг(сухого вещества)/мл	$IC_{50} \cdot 10^{-2}$, мг(белка)/мл
«NAN Optipro HA 1+»	82	0,5	5,89	0,57
«NAN Optipro 1+»	95	0,5	6,03	0,58
«ГА гипоаллергенная 3+»	96	0,5	6,03	0,94
«ГА гипоаллергенная 2+»	96	0,5	7,08	0,83
«ГА гипоаллергенная 1+»	81	0,5	10	1,09
«Антирефлюксная»	93	0,5	7,76	0,85
«Комфорт»	78	0,5	10	1,17
«Иммунис 1+»	78	0,5	14,7	1,6

Таблица 2 – Содержание белка в молочных смесях

Молочные смеси	Содержание белка, г/100 г сухой смеси
«NAN Optipro HA 1+»	9,72
«NAN Optipro 1+»	9,6
«ГА гипоаллергенная 3+»	15,5
«ГА гипоаллергенная 2+»	11,7
«ГА гипоаллергенная 1+»	10,9
«Антирефлюксная»	10,9
«Комфорт»	11,7
«Иммунис 1+»	10,9

Молочные смеси имеют достаточно сложный набор компонентов. В частности, в их состав входят смесь ненасыщенных жирных кислот, углеводы (сахара лактоза и мальтодекстрин), микроэлементы (цинк, железо, медь, селен) и витамины (А, Е и С), способные оказать влияние на антиоксидантную активность. Каждая из молочных смесей имеет различия в содержании по нескольким из перечисленных компонентов, что усложняет анализ их влияния на АОА.

Максимальное количество сахаров (58–59 %) содержится в молочных смесях «NAN Optipro HA 1+», «NAN Optipro 1+», «ГА гипоаллергенная 3+» и «Антирефлюксная» (табл. 3).

Максимальное количество линолевой кислоты содержится в молочных смесях «Иммунис 1+» (4,55 %), «NAN Optipro HA 1+» и «NAN Optipro 1+» (4,1 %) (табл. 3).

Таблица 3 – Содержание углеводов и линолевой кислоты в молочных смесях

Молочные смеси	Содержание углеводов, г/100 г сухой смеси	Содержание линолевой кислоты, г/100 г сухой смеси
«NAN Optipro HA 1+»	59,35	4,1
«NAN Optipro 1+»	57,8	4,1
«ГА гипоаллергенная 3+»	58,2	3,5
«ГА гипоаллергенная 2+»	54,3	3,36
«ГА гипоаллергенная 1+»	53	3,8
«Антирефлюксная»	58,1	3,8
«Комфорт»	51,3	3,8
«Иммунис 1+»	51,6	4,55

Содержание витамина А в молочных смесях фирмы «Беллакт» выше, чем в смесях «Nestle» (табл. 4). Содержание витамина Е выше в молочных смесях фирмы «Nestle». Максимальное количество витамина С содержится в молочных смесях «ГА гипоаллергенная 3+» (0,0907 %) и «NAN Optipro 1+» (0,087 %).

Таблица 4 – Содержание витаминов А, Е и С в молочных смесях

Молочные смеси	Витамин А, мкг/100 г сухой смеси	Витамин Е, мг/100 г сухой смеси	Витамин С, мг/100 г сухой смеси
«NAN Optipro HA 1+»	510	8,7	78
«NAN Optipro 1+»	527	8,5	87
«ГА гипоаллергенная 3+»	547	7,1	90,7
«ГА гипоаллергенная 2+»	547	7,03	78
«ГА гипоаллергенная 1+»	547	6,25	78
«Антирефлюксная»	547	6,25	78
«Комфорт»	547	6,25	78
«Иммунис 1+»	547	6,25	78

Максимальное количество цинка ($5-5,5 \times 10^{-3}$ %) содержится в молочных смесях «ГА гипоаллергенная 2+», «ГА гипоаллергенная 3+», «NAN Optipro HA 1+» и «NAN Optipro 1+» (таблица 5).

Максимальное количество железа (0,01 %) содержится в молочных смесях «ГА гипоаллергенная 2+», «ГА гипоаллергенная 3+».

Максимальное количество меди ($0,54 \times 10^{-3}$ %) содержится в молочных смесях «ГА гипоаллергенная 2+», «ГА гипоаллергенная 3+».

Максимальное количество селена ($19,5 \times 10^{-6}$ %) содержится в молочных смесях фирмы «Беллакт».

Таблица 5 – Содержание микроэлементов в молочных смесях

Молочные смеси	Цинк (Zn), мг/100 г сухой смеси	Железо (Fe), мг/100 г сухой смеси	Медь (Cu), мкг/100 г сухой смеси	Селен (Se), мкг/100 г сухой смеси
«NAN Optipro HA 1+»	5	5,3	400	16
«NAN Optipro 1+»	5,4	4,6	400	11
«ГА гипоаллергенная 3+»	5,43	10	542,6	–
«ГА гипоаллергенная 2+»	5,5	10,85	547	19,5
«ГА гипоаллергенная 1+»	3,12	6,25	312	19,5
«Антирефлюксная»	3,12	6,25	312	19,5
«Комфорт»	3,12	6,25	312	19,5
«Иммунис 1+»	3,12	6,25	312	19,5

Минимальный показатель IC_{50} в расчете на сухое вещество получен для молочных смесей «NAN Optipro HA 1+», «NAN Optipro 1+» и «ГА гипоаллергенная 3+». Эти смеси содержат более высокое количество углеводов и витаминов Е и С по сравнению с другими молочными смесями, что, возможно, оказывает влияние на повышение их антиоксидантной активности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Zulueta, A. Antioxidant capacity of cow milk, whey and deproteinized milk / A. Zulueta [et al.] // Int. Dairy J. 2009. – Vol. 19. – № 6–7. – P. 380–185.
2. Halavach, T. M. Enzymatic hydrolysis of milk proteins as a basis of specialized food products biotechnology / T. M. Halavach, V. P. Kurchenko, A. I. Albulov // Nauka i studia. – 2016. – Vol. 3. – P. 1196–1207.
3. Cao, G. H. Oxygen-radical absorbance capacity assay for antioxidants / G. H. Cao, H. M Alessio, R. G. Cutler // Free Radic. Biol. Med. – 1993. – Vol. 3. – № 14. – P. 303–311.
4. Тарун, Е. И. Ингибирование свободных радикалов, генерируемых в системе Фентона, под действием флавоноидов / Е. И. Тарун, Е.В. Чудновская // Труды БГУ. – 2014. – Т. 9. – Ч. 1. – С. 114–121.
5. Тарун, Е. И. Влияние пептидов сывороточных белков молока на восстановление уровня флуоресценции в системе с активированными формами кислорода / Е. И. Тарун, М. В. Зайцева, О. И. Кравцова, В. П. Курченко, Т. Н. Головач // Труды БГУ. – 2016. – Т. 11. – Ч. 1. – С. 231–236.

**БИОЭКОЛОГИЯ.
БИОИНДИКАЦИЯ.
РАДИОБИОЛОГИЯ**

БИОТОПИЧЕСКОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЗЕМНОВОДНЫХ НА ТЕРРИТОРИИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

BIOTOPIC DISTRIBUTION OF AMPHIBIANS IN THE TERRITORY OF THE REPUBLIC OF BELARUS

М. Н. Асипчик, А. Г. Чернецкая

M. Asipchik, A. Chernetskaya

Белорусский государственный университет, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ,

г. Минск, Республика Беларусь

asipchik-marija@rambler.ru

Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus

Потеря многих видов позвоночных ведет к необратимым преобразованиям в глобальных экологических системах. Изменение численности и видового состава земноводных также не является исключением. В статье проанализированы результаты исследований пространственно-биотопического распространения сообществ земноводных на территории Республики Беларусь. Дается оценка состояния комплексов амфибий в условиях антропогенной модификации природных ландшафтов в результате воздействия осушительной мелиорации.

The loss of many vertebrate species is leading to irreversible changes in global ecological systems. Changes in the number and species composition of amphibians are also not an exception. The article analyzes the results of studies of spatial and biotopic distribution of amphibian communities in the territory of the Republic of Belarus. The assessment of the condition of amphibian complexes in the conditions of anthropogenic modification of natural landscapes as a result of the impact of drainage melioration is given.

Ключевые слова: земноводные, видовой состав, биогеоценоз, пространственное распределение, антропогенная трансформация ландшафтов, мелиорация.

Keywords: amphibians, species composition, biogeocenosis, spatial distribution, anthropogenic transformation of landscapes, melioration.

Одним из наиболее важных факторов, которые воздействуют на распределение земноводных на территории Беларуси, является характер местообитания. Такие параметры, как влажность, температурный режим, степень освещенности, особенности гидрологического режима и рельеф территории, напрямую влияют на выживаемость взрослых особей и головастиков, а также обеспечивают успех в процессе размножения. При этом не последнюю роль здесь играет состояние растительного покрова и состав фаунистического комплекса.

Изменение биогеоценозов, в которых обитают амфибии, вследствие серьезной антропогенной нагрузки, а также сельскохозяйственных практик, приводит к перестройке всей системы. Такие процессы влекут за собой изменения в численности земноводных, а также ведут к появлению новых видов, несвойственных данной системе и исчезновению других.

Для изучения степени распределения земноводных были выбраны участки с подобной флорой и фауной – реки, озера и мелиоративные каналы. Один из участков (мелиоративный канал) имеет высокую степень антропогенной нагрузки, поскольку был образован вследствие осушительной мелиорации. Проведенный анализ дает возможность оценить видовой состав, численность и соотношение видов земноводных (табл. 1).

Таблица 1 – Видовое разнообразие и относительная численность (плотность) сообществ земноводных в основных группах биогеоценозов Беларуси в летний период

Биогеоценозы	Показатели			
	Число видов		Суммарная плотность (экз/га)	Индекс Симпсона
	min	Max		
Реки	1,0	3,0	83,3±	0,990
Озера	1,0	4,0	56,0±	0,966
Мелиоративные каналы	1,0	3,0	29,5±	0,990

Результаты проведенных исследований показали, что самая высокая численность земноводных, которые встречаются в биогеоценозах зафиксирована вблизи рек рек (83,3±9,9 экз/га), так как на данной территории самый высокий по видовому разнообразию растительный комплекс. Средний уровень плотности характерен для озер (56,0±28,7 экз/га). Наименьшая плотность наблюдается на территории расположенного мелиоративного канала (29,5±4,03 экз/га).

Если же рассматривать изменчивость видового разнообразия земноводных в анализируемых биогеоценозах, то можно увидеть, что по количеству видов доминирует территория с озерами (6,0). Одинаковыми же по числу видов являются реки (3,0) и мелиоративные каналы (3,0).

По мере увеличения индекса Симпсона и приближения его к единице, разнообразие уменьшается. Наибольшим разнообразием обладает озерный биогеоценоз (0,966), а затем уже следует речной (0,990) и мелиоративный (0,990). Однако следует учитывать тот факт, что индекс Симпсона весьма чувствителен к доминированию какого-либо вида в сообществе, в данном случае травяной лягушки (*R. temporaria*).

Таблица 2 – Относительная встречаемость различных видов земноводных в основных группах биогеоценозов в Беларуси

Биогеоценозы	Относительная встречаемость, %												
	<i>T. vulgaris</i>	<i>T. cristatus</i>	<i>B. bombina</i>	<i>P. fuscus</i>	<i>B. bufo</i>	<i>B. viridis</i>	<i>B. calamita</i>	<i>H. arborea</i>	<i>R. esculenta</i>	<i>R. arvalis</i>	<i>R. temporaria</i>	<i>R. ridibundus</i>	<i>R. lessonae</i>
Реки	–	–	–	–	–	50,0	–	–	–	–	100,0	50,0	–
Озера	–	–	25,0	–	50,0	25,0	–	25,0	–	25,0	100,0	–	–
Мелиоративные каналы	–	–	–	50,0	–	25,0	–	–	–	–	100,0	–	–

В сообществе озерных биогеоценозов встречается наибольшее число видов (6) (таблица 2, 3). Наиболее многочисленным и доминирующим по плотности является травяная лягушка (*R. temporaria*) (40,10 экз/га). Субдоминантами здесь вступают остромордая лягушка (*R. arvalis*) (8,95 экз/га) и серая жаба (*B. bufo*) (4,28 экз/га). Плотность популяций оставшихся видов значительно ниже и составляет для зеленой лягушки (*B. viridis*) (1,17 экз/га), обыкновенной квакши (*H. arborea*) (1,17 экз/га) и краснобрюхой жерлянки (*B. bombina*) (0,38 экз/га). Необходимо учитывать то, что только в озерном биогеоценозе встречаются такие виды, как обыкновенная квакша (*H. arborea*) и краснобрюхая жерлянка (*B. bombina*). Суммарная плотность всех видов в озерном биогеоценозе составляет $56,0 \pm 28,7$ экз/га.

Таблица 3 – Средняя плотность видовых популяций различных видов земноводных в основных группах биогеоценозов в Беларуси

Биогеоценозы	Плотность популяции, экз/га												
	<i>T. vulgaris</i>	<i>T. cristatus</i>	<i>B. bombina</i>	<i>P. fuscus</i>	<i>B. bufo</i>	<i>B. viridis</i>	<i>B. calamita</i>	<i>H. arborea</i>	<i>R. esculenta</i>	<i>R. arvalis</i>	<i>R. temporaria</i>	<i>R. ridibundus</i>	<i>R. lessonae</i>
Реки	–	–	–	–	–	1,72	–	–	–	–	78,11	5,58	–
Озера	–	–	0,38	–	4,28	1,17	–	1,17	–	8,95	40,10	–	–
Мелиоративные каналы	–	–	–	0,64	–	0,86	–	–	–	–	27,10	–	–

Видовой состав речного биогеоценоза составляет три вида амфибий. Доминирующим видом, как и в озерном биогеоценозе, является травяная лягушка (*R. temporaria*) (78,11 экз/га). Субдоминантом выступает озерная лягушка (*P. ridibundus*) (5,58 экз/га). Наименьшую плотность имеет зеленая лягушка (*B. viridis*) (1,72 экз/га). Суммарная плотность населения земноводных на данной территории имеет максимальную величину в $83,3 \pm 9,9$ экз/га.

На территориях с мелиоративными каналами фауна земноводных представлена тремя (3) видами. Доминирующим видом, как и в предыдущих двух биогеоценозах представлена травяная лягушка (*R. temporaria*) (27,1 экз/га). А такие виды, как обыкновенная чесночница (*P. fuscus*) (0,64 экз/га) и зеленая жаба (*B. viridis*) (0,84 экз/га), имеют, относительно других видов, очень низкую плотность. Суммарная плотность распределения земноводных отличается наименьшей плотностью – $29,5 \pm 4,03$ экз/га.

Исходя из результатов исследования, можно сказать, что типичными представителями биогеоценозов с высокой антропогенной нагрузкой (мелиоративные каналы) являются травяная лягушка (*R. temporaria*), зеленая лягушка (*B. viridis*) и обыкновенная чесночница (*P. fuscus*). Но не следует исключать тот факт, что сети мелиоративных каналов – это одна из важнейших стадий размножения для земноводных. И это особенно заметно в период нереста.

Сравнивая суммарную плотность распределения земноводных на территориях, подверженных осушительной мелиорации, и прибрежных речных биогеоценозов можно заметить закономерность: плотность распространения земноводных вблизи мелиоративных каналов ($29,5 \pm 4,03$ экз/га) в 2,5 раза ниже, чем плотность распространения земноводных на прибрежных речных территориях ($83,3 \pm 9,9$ экз/га).

Такую же закономерность можно выявить, сравнивая видовое разнообразие озерного биогеоценоза, которое представлено шестью видами, и мелиоративного биогеоценоза, включающего в себя всего три вида.

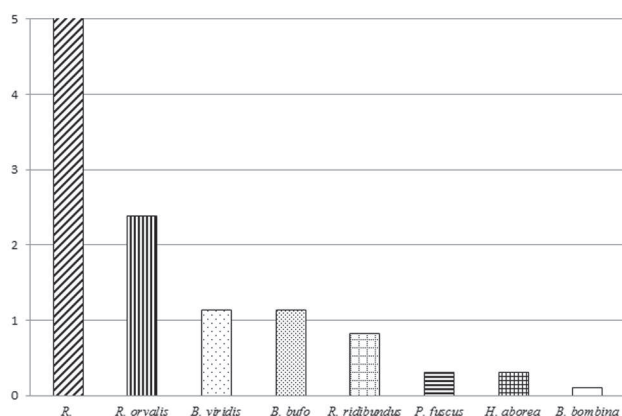


Рисунок 1 – Ранжирование видов амфибий Беларуси по относительному обилию на основании плотности распределения и встречаемости

Если рассматривать в целом Республику Беларусь, то наиболее излюбленным местом обитания амфибий становятся естественные прибрежные территории (реки, озера). Высокая численность земноводных в этих местах обитания обусловлена, как правило, наиболее оптимальным уровнем влажности, освещения, наличия кормовой базы, характером растительности и типом почвы.

Оценивая в общем встречаемость, плотность и распространение земноводных по территории страны, можно сказать, что доминирующими видами являются травяная лягушка (*R. temporaria*) и остромордая лягушка (*R. arvalis*). К видам с обычным уровнем встречаемости относятся зеленая лягушка (*B. viridis*), серая жаба (*B. bufo*) и озерная лягушка (*P. ridibundus*). Достаточно редкими становятся обыкновенная квакша (*H. arborea*), краснобрюхая жерлянка (*B. bombina*) и обыкновенная чесночница (*P. fuscus*). Необходимо учесть тот факт, что не было встречено ни одного представителя хвостатых земноводных (*Caudata*) – тритона обыкновенного (*T. vulgaris*) или гребенчатого тритона (*T. cristatus*). Также не встречались камышовая жаба (*B. calamita*), прудовая лягушка (*R. lessonae*) и съедобная лягушка (*R. esculenta*) (рис. 1).

При сравнении текущих результатов исследований с теми, которые проводились на территории Республики Беларусь в 80–90-х гг., можно сказать, что за это время численность и видовой состав земноводных не имели обширных преобразований. Структура батрахокомплексов остается вполне стабильной.

Однако антропогенная трансформация ландшафтов и в настоящее время является основным фактором, играющим роль в снижении плотности распределения земноводных (плотность распределения амфибий вблизи мелиоративных каналов в 2,5 раза ниже, чем на территории речных прибрежных территорий). Антропогенная трансформация естественных ландшафтов неизбежно влечет за собой изменения состава фаунистических комплексов, их структуры и функциональных связей в зависимости от типа и степени преобразований, а также экологической специфики видов, составляющих зооценозы [1].

Но на некоторых территориях, антропогенные преобразования (осушительная мелиорация), приводят к тому, что в биогеоценозах начинают появляться новые виды, несвойственные ранее для этого ареала обитания, например обыкновенная чесночница (*P. fuscus*).

Таким образом, можно сказать, что в зависимости от биогеоценоза и его основных характеристик изменяется и биотопическое распределение земноводных. Наибольшая плотность распределения земноводных на прибрежных территориях ($83,3 \pm 9,9$ экз/га) дает основания полагать, что изменение среды обитания, а вместе с ней и состава растительного и животного комплекса биогеоценозов, играет, вероятно, большую роль, чем межвидовая конкуренция. Пространственная структура ассамблей земноводных в местных условиях определяется не только существенными видоспецифическими особенностями, характером взаимоотношений видов и уровнем конкуренции в сообществах, но и экологической емкостью природной среды, трофообеспеченностью, защитными свойствами местообитаний и другими показателями наиболее продуктивных природных биогеоценозов [2, с. 92].

ЛИТЕРАТУРА

1. Пикулик, М. М. Изменчивость герпетокомплексов и популяций доминирующих видов амфибий и рептилий в естественных и антропогенных ландшафтах Беларуси: дис. д-ра биол. наук / М. М. Пикулик. – Минск, 1993. 520 с. (специальность 03.00.08 Зоология)
2. Дробенков, С. М. Земноводные Беларуси / С. М. Дробенков [и др.]. – Минск, 2006. – 207 с.

ПАРАМЕТРЫ РОСТА И РАЗМНОЖЕНИЯ БОЛОТНОГО ПРУДОВИКА *STAGNICOLA CORVUS* (GASTROPODA, HETEROBRANCHIA, LYMNAEIDAE) ПРИ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ВНУТРИВИДОВОЙ КОНКУРЕНЦИИ

PARAMETERS OF GROWTH AND REPRODUCTION OF SWAMP SNAIL *STAGNICOLA CORVUS* (GASTROPODA, HETEROBRANCHIA, LYMNAEIDAE) AT THE INTENSIFICATION OF INTERSPECIFIC COMPETITION

**О. А. Бодиловская, А. П. Голубев
O. Bodilovskaya, A. Golubev**

Белорусский государственный университет, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ,
г. Минск, Республика Беларусь

_olga_iseu@tut.by; algiv@rambler.ru

Belarussian State University, ISEU BSU, Minsk, Republic of Belarus

В эксперименте определены скорость роста и размножения у самых крупных (лидеры) и самых мелких (аутсайдеры) особей из семейств *Stagnicola corvus* при компенсационном росте, вызванном снятием прессы повышенной плотности посадки. Наиболее интенсивным компенсационным ростом обладают аутсайдеры. Чем ниже масса особей при снятии ограничивающего фактора, тем с большей скоростью происходит их компенсационный рост. С увеличением массы особей их способность к компенсационному росту постепенно утрачивается. Ускорение соматического роста аутсайдеров при компенсационном росте сопровождается интенсификацией их размножения. Следовательно, *S. corvus* рост и размножение являются двумя сторонами единой системы пластического обмена и тесно взаимосвязаны. Функциональный отклик на снятие ограничивающего фактора затрагивает не только соматический рост, но всю тесно связанную систему пластического обмена организма.

The rates of growth and reproduction in the largest (leaders) and the smallest (outsiders) of individuals from progeny *Stagnicola corvus* in compensation growth, caused by the removal of the press of high density of rearing in laboratory experiments have been estimated. Outsiders were characterized by the most intensive compensatory growth. The lower the mass of individuals when removing the limiting factor, the greater the rate of their compensatory growth. With the increase in the mass of individuals, their ability to compensation growth is gradually lost. Acceleration of somatic growth of outsiders with compensatory growth is accompanied by intensification of their reproduction. Therefore, in *S. corvus* growth and reproduction are two sides of a single system of plastic metabolism and there are closely interrelated. Functional response to the removal of the limiting factor affects not only the somatic growth, the entire closely related system of plastic metabolism of the body.

Ключевые слова: *Stagnicola corvus*, рост, размножение, перекрестное оплодотворение, самооплодотворение, компенсационный рост, внутривидовая конкуренция.

Keywords: *Stagnicola corvus*, growth, reproduction, cross-fertilization, self-fertilization, compensation growth, interspecific competition.

Лабильность количественных параметров роста и размножения у пресноводных брюхоногих моллюсков семейства лимнеид (Lymnaeidae) рассматривается как адаптация к существованию в нестабильных и непредсказуемых условиях среды [1]. Одним из ее проявлений является компенсационный рост, определяемый как ускорение роста особей при снятии воздействия лимитирующих факторов разной природы – повышенной плотности посадки, дефицита пищевых ресурсов, неблагоприятной температуры и т. д. [2].

Количественные аспекты компенсационного роста ранее исследованы у большого прудовика *Lymnaea stagnalis* (Linnaeus, 1758) [3]. Установлено, что в группах одновозрастных особей (семьи, когорты) повышение плотности посадки приводит к замедлению роста моллюсков и возрастанию их размерной дифференциации. Наряду с основной группой, включающей большинство особей (средняки), выделяются относительно небольшие группы (не более 5–10 % от общей численности каждая) с наибольшими (лидеры) и наименьшими (аутсайдеры) размерами тела. Раздельное выращивание лидеров и аутсайдеров при пониженной плотности приводит к ускорению их роста, особенно быстрому у аутсайдеров. В результате аутсайдеры достаточно быстро догоняют по массе тела первоначальных лидеров.

Однако остается неизвестным, насколько закономерности, выявленные у *L. stagnalis*, являются типичными и для других видов семейства Lymnaeidae. В этой связи нами проведены аналогичные исследования с близкородственным видом *Stagnicola corvus* (Gmelin, 1791). При этом *L. stagnalis* является доминирующим видом в сообществах малакофауны континентальных водоемов умеренной зоны Евразии и Северной Америки, тогда как

S. corvus – весьма редким видом, встречающимся лишь в Европе. Возможно различия в способностях к компенсационному росту могут являться одной из причин разной численности популяций обоих видов.

Исследования проведены в лабораторных условиях с потомством *S. corvus* от перекрестного оплодотворения (ПО) и самооплодотворения в первом поколении (СО), полученного из лабораторной линии, происходящей из природной популяции озера Нарочь. Для достижения разной плотности посадки в начальный период роста моллюсков выращивали группами по 15 особей в сосудах объемом 0,2, 0,4, 0,6 и 0,8 л (серия от СО; варианты СО-1 – СО-4 соответственно) и 0,1, 0,2, 0,4, 0,6, 0,8 и 1 л (серия от ПО; варианты ПО-5 – ПО-10 соответственно). В возрасте 57 суток отбирали группы по 5 самых крупных (лидеры) и самых мелких (аутсайдеры) особей, которых, взвешивая, пересаживали в сосуды объемом 1 л. Затем их дополнительно взвешивали в возрасте 87, 102 и 139 суток. Выметенные моллюсками кладки снимали со стенок сосудов для подсчета числа яиц.

Температура воды в период эксперимента (сентябрь – февраль) изменялась в пределах 17–19 °С, корм (свежие листья салата) задавали избытком. Смену воды во всех сосудах проводили 2–3 раза в неделю.

Для всех групп значения коэффициента компенсационного роста K_{comp} рассчитывали согласно:

$$K_{\text{comp}} = \left(\frac{W_2 - W_1}{t_2 - t_1} \right) : \left(\frac{W_1 - W_0}{t_1 - t_0} \right),$$

где W_0 – средняя масса новорожденных особей, которая для всех вариантов экспериментов равна 0,165 мг; W_1 – средняя масса особей при рассадке, мг; W_2 – средняя масса особей через 25 сут. после рассадки; t_0 – возраст новорожденных особей, равный нулю; t_1 – возраст особей при рассадке, равный 57 сут., t_2 – возраст особей, равный 82 сут.

Группы аутсайдеров от СО имели высокую смертность, которая составила 8 особей из 20 (40 %), по сравнению с лидерами и всей серией от ПО, где за период эксперимента не зафиксировано гибели ни одной особи. Масса тела особей от ПО как лидеров, так и аутсайдеров до рассадки была в 1,5–2 раза больше, чем от СО. В первый же месяц после снятия пресса плотности у лидеров от обоих способов размножения этот показатель сравнялся и равнялся в среднем 151 мг, различия у аутсайдеров остались на прежнем уровне.

После рассадки скорость роста аутсайдеров быстро возрастала, а во многих вариантах к концу эксперимента (возраст 157 сут.) она практически достигла средней массы первоначальных лидеров (см. таблицу). Уже к возрасту 70 сут. у первоначальных лидеров в 4-х вариантах из 6-ти в потомстве от ПО и одном варианте их 4-х потомства отмечено начало размножения. Поскольку при групповом содержании *S. corvus* размножается почти исключительно посредством ПО, первые кладки являются результатом копуляции двух самых крупных особей в каждой группе. Масса таких особей в вариантах от ПО изменялась в пределах 175,0–193,5 мг. В вариантах от ПО аутсайдеры начали размножаться в среднем на 7 суток позже и при значительно меньшей массе тела – в пределах 112–166 мг.

Снижение массы тела приступающих к размножению особей можно рассматривать как адаптивный признак, позволяющий аутсайдерам в природных водоемах начать размножения уже через короткие промежутки времени после снятия пресса лимитирующих факторов.

Таблица – Изменения массы лидеров и аутсайдеров в потомстве *Stagnicola corvus* от ПО и СО при компенсационном росте

Вариант эксперимента	Группы	Средние значения массы (мг) особей в разном возрасте			
		W_1^* (57 сут.)	W_2 (82 сут.)	W_3 (103 сут.)	W_4 (139 сут.)
СО-1	Лидеры	24,3	127	219,2	374,6
	Аутсайдеры	1,6	12,4	48,6	143,6
СО-2	Лидеры	32,9	133	203,6	318,2
	Аутсайдеры	1,3	17,6	25,2	80
СО-3	Лидеры	40,9	182	252,8	380,2
	Аутсайдеры	4,6	99,8	148	356,7
СО-4	Лидеры	36,9	158	232	315,4
	Аутсайдеры	1,1	45,2	99,8	267
ПО-5	Лидеры	24,3	137,6	201,6	348,4
	Аутсайдеры	1,6	49,4	121	274,6
ПО-6	Лидеры	36,5	104,6	212,6	358,4
	Аутсайдеры	3,1	28,4	100,4	265,6
ПО-7	Лидеры	49,3	181,2	283,8	427,0
	Аутсайдеры	2,6	78,8	185,0	334,0
ПО-8	Лидеры	61,4	139,4	207,0	371,2
	Аутсайдеры	9,3	79,2	165,6	314
ПО-9	Лидеры	55,3	183,8	258,8	397,4
	Аутсайдеры	2,7	77,8	140	279,6
ПО-10	Лидеры	65,0	166,8	247,6	364,4
	Аутсайдеры	3,2	59,4	145,4	288,4

Примечание: * – средняя масса лидеров и аутсайдеров при рассадке.

У особей из обеих серий значения K_{comp} быстро снижаются с увеличением массы их тела при рассадке (W_i) (рис. 1). Зависимость между K_{comp} и W_i соответствует уравнению:

$$K_{\text{comp}} = A - \text{blg}W_i, \quad (1)$$

где A и b – эмпирические коэффициенты.

В численной форме уравнение (1) для потомства от ПО имеет вид:

$$K_{\text{comp}} = 64,7 - 28,0 \text{lg}W_i, \quad (2)$$

а для потомства от СО:

$$K_{\text{comp}} = 61,1 - 35,0 \text{lg}W_i. \quad (3)$$

Таким образом, в потомстве *S. corvus* от обоих способов размножения самым интенсивным компенсационным ростом обладают наиболее отстающие в росте особи. Чем ниже масса особей при снятии ограничивающего фактора, тем с большей скоростью происходит их компенсационный рост («эффект сжатой пружины»). С увеличением массы особей их способность к компенсационному росту постепенно утрачивается. Исходя из уравнения (1), легко рассчитать критическое значение массы особей (W_{cr}), при которой они теряют способность к компенсационному росту, то есть когда $K_{\text{comp}} = 1$.

Очевидно, $W_{\text{cr}} = 10^{[(A-1)/b]}$. Тогда значение W_{cr} для потомства от СО равно 53 мг, а для потомства от ПО – 188 мг.

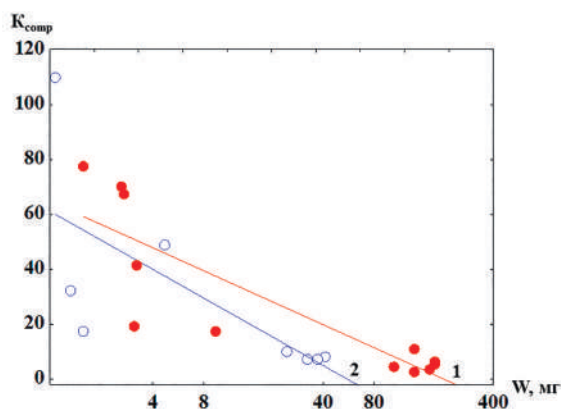


Рисунок 1 – Зависимость коэффициентов компенсационного роста (K_{comp}) у лидеров и аутсайдеров от их средней массы при рассадке (W) в потомстве *Stagnicola corvus* от ПО (●) и СО (○).
Кривые 1 и 2 – линии уравнений (2) и (3) для потомства от ПО и СО соответственно

Средняя плодовитость лидеров за весь период эксперимента выше в 1,6 и 2,8 раза, чем у аутсайдеров в сериях от ПО и СО соответственно (рис 2). Выявлено также значительное снижение этого показателя у всех особей серии СО по сравнению с ПО. Плодовитость лидеров от ПО в 2,3 раза, а аутсайдеров – в 4 раза выше чем у СО. При этом 1 группа из четырех аутсайдеров СО так и не начала размножаться. Ранее нами было показано, что *S. corvus* обладает очень низкой к размножению посредством СО в условиях одиночного выращивания (содержании) очень низка [4]. Как видно из представленных данных, эта особенность сохраняется и у потомства *S. corvus* от СО при выращивании в группах, где они имеют возможность размножаться посредством ПО.

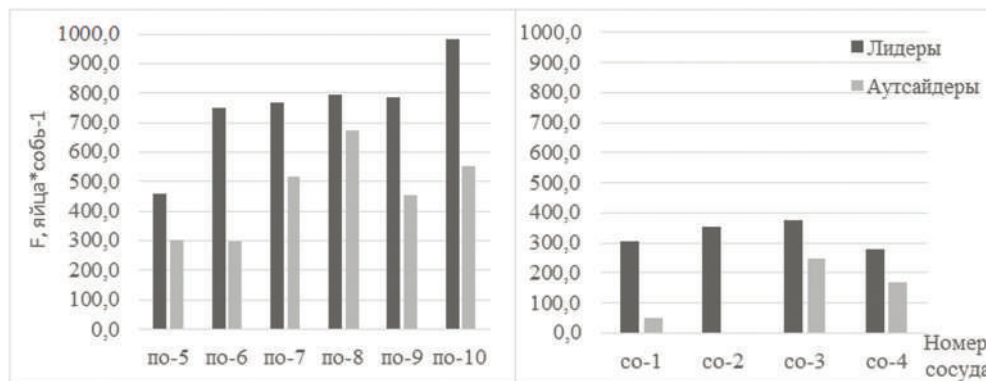


Рисунок 2 – Средняя плодовитость особей от ПО и СО за период эксперимента

Таким образом, ускорение роста массы тела аутсайдеров в потомстве *S. corvus* от обоих способов размножения при компенсационном росте, значительно выше, чем у лидеров. Ускорение соматического роста аутсайдеров сопровождается параллельной интенсификацией их размножения, что выражается в снижении средней массы их тела при вымете первых кладок

Таким образом, полученные нами данные по закономерностям компенсационного роста *S. corvus*, по меньшей мере в потомстве этого вида от ПО, вполне соответствуют таковым у *L. stagnalis*. В целом *S. corvus* отличается высокой способностью к компенсационному росту, следовательно, этот фактор не является причиной более низкой, по сравнению с *L. stagnalis*, численности их природных популяций. Поскольку оба указанных вида значительно различаются по численности их популяций и географическому распространению, можно сделать вывод, что высокая способность к компенсационному росту характерна и для других видов лимнеид. Компенсационный рост у лимнеид является важнейшим адаптационным механизмом, который позволяет видам этого семейства при наступлении благоприятных условий среды в короткий срок достичь размеров половозрелых особей и приступить к размножению. Это особенно важно, поскольку лимнеиды являются преимущественно обитателями небольших водоемов с нестабильными и непредсказуемыми изменениями условий среды, и в которых часто имеют место периоды замедления роста особей, вызванные неблагоприятными экологическими факторами.

У лимнеид рост и размножение являются двумя сторонами единой системы пластического обмена и тесно взаимосвязаны между собой. Компенсационный рост как функциональный отклик организма на снятие ограничивающего фактора у данного вида затрагивает не только его соматический компонент, но всю эту тесно связанную систему, что приводит к параллельной интенсификации размножения.

Исследования выполнены в рамках белорусско-российского проекта для молодых ученых «Сравнительная оценка адаптивного потенциала белорусских и байкальских видов гастропод разной экологической валентности к воздействию стрессовых факторов среды» (№ Б15РМ-092, 2015–2017 гг.), финансировавшего Белорусским республиканским фондом фундаментальных исследований и Российским фондом фундаментальных исследований

ЛИТЕРАТУРА

1. Голубев, А. П. Самооплодотворение у пресноводных легочных моллюсков. Количественная оценка и адаптивное значение / А. П. Голубев. – Минск: Право и экономика, 2014. – 222 с.
2. Мина, М. В. Рост животных / М. В. Мина, Г. А. Клевезаль. – М.: Наука, 1976. – 291 с.
3. Голубев, А. П. Соотношение между соматическим и генеративным приростом при компенсационном росте у большого прудовика *Lymnaea stagnalis* (Gastropoda, Pulmonata) / А. П. Голубев, Н. Н. Рощина // Доклады НАН Беларуси. – 2005. – Т. 49. – № 1. – С. 66–69.
4. The ability to self-fertilization as a factor of eurybiontness in freshwater pulmonate mollusks / O. A. Bodilovskaya [et al.] // Journal of Stress Physiology & Biochemistry. – 2015. – Vol. 11. – № 1. – P. 39–51.

ПРЕСНОВОДНЫЙ МОЛЛЮСК *LYMNAEA STAGNALIS* В БИОТЕСТИРОВАНИИ ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА МИНЕРАЛЬНОЙ ПРИРОДЫ FRESHWATER MOLLUSK *LYMNAEA STAGNALIS* FOR BIOTESTING OF MINERAL NATURED INDUSTRIAL WASTE

О. А. Борис, С. Н. Камлюк, С. Ю. Петрова
O. Boris, S. Kamliuk, S. Petrova

Научно-практический центр гигиены,
г. Минск, Республика Беларусь
shevtsova308@gmail.com
Scientific practical centre of hygiene, Minsk, Republic of Belarus

Проведено исследование четырех образцов отходов производства минеральной природы с целью определения степени и класса опасности по показателю экотоксичность с применением кладок брюхоногого моллюска (*Lymnaea stagnalis*) в качестве тест-системы. Описана методика проведения экспериментов с использованием указанной тест-системы. Приведено научное обоснование рациональных условий постановки эксперимента, изложены основные результаты испытаний, согласно которым исследованные образцы отходов производства относятся к четвертому классу опасности (малоопасные) по показателю «экотоксичность» и не представляют серьезной опасности для здоровья человека и благополучия окружающей природной среды.

Four samples of industrial mineral natured waste were studied with the aim to determine the degree and the class of hazard in terms of ecotoxicity using gastropod asnaill (*Lymnaea stagnalis*) as a test system. The method of conducting experiments using the specified test system is described. The scientific grounding for the rational conditions of the experiment has been presented, as well as the main results of the tests, according to which the studied samples of industrial waste are to belong to the fourth class of hazard (low hazard) in terms of ecotoxicity, and do not represent a serious danger to human health and environment well-being.

Ключевые слова: отходы производства, минеральные отходы, пресноводный моллюск, *Lymnaea stagnalis*, кладки, биотестирование, экотоксичность, класс опасности.

Keywords: industrial waste, mineral waste, freshwater snail, *Lymnaea stagnalis*, egg masses, biotesting, ecotoxicity, the class of hazard.

Со второй половины XX в. а по нынешнее время продолжает расширяться спектр ксенобиотиков с доказанной токсичностью, а также перечень веществ, потенциально опасных для здоровья человека и окружающей природной среды. Организация мест складирования (захоронения) бытовых и производственных отходов требует обширных территорий. Безусловно, при проектировании полигонов основным принципом является всевозможная минимизация потенциальной угрозы здоровью населения и благополучию окружающей природной среды. Вместе с тем, по отношению к вмещающим породам и окружающим почвам данные полигоны постепенно превращаются в техногенные геохимические аномалии, созданные человеком в пределах других экосистем, и нарушающие естественную концентрацию химических элементов и потоки их миграции в почвенной среде.

В настоящее время для Республики Беларусь, как и для большинства развитых стран мира, наблюдается заинтересованность специалистов наиболее перспективной и многообещающей стратегией обращения с отходами – вторичной переработкой. Целью переработки является превращение отходов во вторичное сырье, энергию или продукцию с определенными потребительскими свойствами, что свидетельствует о возможности извлечения пользы в том числе и из минеральных отходов производства.

Переработка отходов может включать обработку, целью которой является изменение физического, химического или биологического состояния отходов для обеспечения последующих работ по обращению с отходами. Обработке подвергается множество извлекаемых из отходов материалов, включая стекло, бумагу, алюминий, асфальт, железо, ткани, различные виды пластика и органические отходы [1; 2].

В частности, отходы, образовавшиеся при строительстве, в зависимости от своих физических и химических характеристик могут быть либо направлены на обезвреживание и захоронение, либо могут быть вторично использованы в качестве материальных ресурсов при получении новых строительных материалов, наполнителей и т. д.

Несмотря на то что наибольшая доля отходов, образующихся на территории Республики Беларусь, относится к 4-му классу опасности (т. е. малоопасным отходам), многие аспекты проблемы обращения с отходами пока не получили оптимального решения. В связи с этим, проведение исследований образующихся в Беларуси отходов по показателям «токсичность» и «экотоксичность» с определением класса опасности является актуальным.

Наряду с физико-химическими методами анализа загрязнителей, поступающих во внешнюю среду, биотестирование продолжает играть значительную роль в исследованиях токсичности и экотоксичности отходов производства [3]. В настоящее время весьма актуальной является тенденция постепенного внедрения в практику биотестирования альтернативных тест-систем, представленных растениями и беспозвоночными животными. Наряду с водорослями, планктонными рачками и рыбами некоторые виды брюхоногих моллюсков включены в батарею модельных объектов для биотестирования, предложенную как зарубежными, так и отечественными исследователями.

Например, тест-система, представленная пресноводным брюхоногим моллюском – большим прудовиком (*Lymnaea stagnalis*; Linnaeus, 1758), за последнее десятилетие успешно зарекомендовала себя в качестве альтернативной модели в экотоксикологических исследованиях. Природные популяции этого широко распространенного в средней полосе Европы моллюска населяют озера, пруды, водохранилища и речные затоки, питаются детритом и макрофитами, оказывая существенное влияние на многие виды высших водных растений, а также составляют существенную долю кормовой базы рыб и птиц. В природной среде Беларуси большой прудовик активен с мая по сентябрь, размножается преимущественно путем перекрестного оплодотворения, откладывая после спаривания на стеблях макрофитов и прочих подводных предметах кладки – слизистые тяжи, заполненные зародышевыми капсулами. В каждой эмбриональной (зародышевой) капсуле в норме развивается один эмбрион. На момент выклева появившаяся молодь представляет собой полностью сформировавшихся миниатюрных моллюсков с достаточно хрупкой раковиной, пока не способных питаться твердой пищей.

Таким образом, большой прудовик относится к массовым представителям макрозообентоса, перспективным для оценки степени и класса опасности отходов производства по показателю «экотоксичность» в батарее тест-систем. Определение класса опасности отходов предполагает привлечение методов биотестирования для оценки экотоксичности в таких тест-моделях, как семена сельскохозяйственных культур, а также на лабораторных культурах простейших (*Tetrahymena pyriformis* W.), лабораторных популяциях почвенных олигохет (*Eisenia foetida*) [4].

В настоящей работе освещены перспективы применения вторичноводного моллюска *L. stagnalis* в качестве тест-системы для исследований отходов производства по показателю «экотоксичность», а также представлены оригинальные данные лабораторных испытаний четырех образцов отходов производства (строительных отходов минерального происхождения с различным морфологическим и химическим составом, кодом классификатора отходов, образующихся в Республике Беларусь) по показателю «экотоксичность».

В качестве тест-объекта были использованы кладки *Lymnaea stagnalis*, содержащие зародышевые капсулы преимущественно в стадии гастролы. Непосредственно перед экспозицией проводили синхронизацию кладок (отсечение скальпелем концевых участков кладки длиной 2–3 мм).

Вытяжки из предварительно гомогенизированных образцов строительных отходов готовили на отстоянной водопроводной воде комнатной температуры (20–22 °С). В ходе основного этапа эксперимента тестировались

модельные среды, приготовленные из нативных образцов отходов № 1–4 (отходы стекловолокон грубые, бой асбоцементных изделий, отходы плит минераловатных, бой кирпича силикатного).

По химическому составу образец отходов № 1 представлен: SiO₂ – 62 %, Al₂O₃ – 14 %, TiO₂ – 0,8 %, CaO – 10 %, MgO – 4 %, ZnO – 0,8 %; Na₂O+K₂O+Li₂O – 0,2 %, CeO₂ – 0,2 %, TeO₂+HfO₂+La₂O₃ – меньше 0,5 %.

Химический состав образца отходов № 2: 3MgO × 2SiO₂ × 2H₂O – 40 %, цемент – 60 %.

Исследованный образец отходов № 3 по морфологическому составу представлен: горные породы – 90 %, смолы на основе фенола и бентонитовая глина – 10 %.

Образец отходов № 4 по морфологическому составу представлен: известь – 7 %, кварцевый песок – 93 %, по химическому составу: Al₂O₃ – 48,10 %, Fe₂O₃ – 8,0 %, CaO – 2,0 %, MgO – 4,4 %, SO₃ – 17,0 %, Cl – 7,5 %, Na₂O+K₂O – 13,0 %.

В ходе основного этапа эксперимента тестировались модельные среды (вытяжки), приготовленные из нативных образцов отходов № 1–4 в соотношении 500 мг отходов : 1 мл воды. После смешивания модельные среды выдерживали 2 ч при комнатной температуре при периодическом встряхивании. Каждый образец исследовался в трех повторностях. Использовался отрицательный контроль с отстоянной водопроводной водой.

Непосредственно перед началом экспозиции каждую кладку делили на 4–5 приблизительно равные части, которые случайным образом расформировывали на одну контрольную и одну опытную группы, и помещали в экспериментальную посуду (чашки Петри). Подсчитывали изначальное количество зародышевых капсул, содержащих по одному эмбриону в каждой чашке. Чашки с кладками заливали исследуемыми раствором (вытяжками). Инкубировали при комнатной температуре, естественном фотопериоде, в затененном месте, до полного выклева (выхода молоди моллюска из кладок).

По окончании экспозиции подсчитывали в каждой экспериментальной чашке погибших эмбрионов и выклюнувшихся ювенильных особей. В результате эксперимента оценивали эффект угнетения выклева большого прудовика.

Для расчета угнетения выклева в % подсчитывали выклюнувшихся особей в каждой группе (чашке) с заданной концентрацией отходов, а также в контроле, и рассчитывали процент выклюнувшихся особей относительно изначального количества зародышевых капсул для каждой повторности – это % успешного выклева.

На основании усредненного из каждой повторности показателя % успешного выклева для каждой концентрации относительно контроля рассчитывали угнетение выклева (%) по формуле:

$$\text{угнетение выклева (\%)} = (K-O)/K * 100 \%,$$

где K – % успешного выклева в контроле, O – % успешного выклева в опыте.

Ранжирование отходов по классам опасности проводится при условии отсутствия дозозависимого эффекта.

Эмбриотоксическое действие отходов на кладках *Lymnaea stagnalis* считается доказанным, если отмечено угнетение выклева на 15 % и более относительно контроля при действии раствора с максимальным насыщением (500 мг/мл). Если при этом все испытанные растворы образца отходов с меньшими концентрациями угнетают выклев менее, чем на 15 % относительно контроля, то отходы относятся к 4-му классу опасности без расчета показателей эмбриотоксичности. Отсутствие эмбриотоксического действия отходов на кладках *Lymnaea stagnalis* считается доказанным в случае, если отмечено угнетение выклева менее, чем на 15 % относительно контроля при действии раствора отходов с максимальным насыщением (500 мг/мл). В этом случае отходы относятся к неопасным.

Ранжирование отходов по классам опасности при наличии дозозависимого эффекта проводится по лимитирующему параметру эмбриотоксичности (табл. 1) [5].

Таблица 1 – Критерии отнесения отходов к классам опасности по показателям эмбриотоксичности на кладках *Lymnaea stagnalis*

Показатель	Классы опасности отходов			
	1-й класс	2-й класс	3-й класс	4-й класс
ЕС 50, мг/мл	менее 0,1	0,1 – 1,0	1,1 – 20	более 20
Пороговая концентрация (ЕС 15), мг/мл	менее 10–4	10–4 – <10-3	10–3 – 0,5	более 0,5
ЕС 50 / ЕС 15	более 104	104 – >102	102 – 10	–

Результаты исследований эмбриотоксичности образцов отходов № 1–4 (отходы стекловолокон грубые, бой асбоцементных изделий, отходы плит минераловатных, бой кирпича силикатного) на кладках *Lymnaea stagnalis* отмечены в табл. 2.

Таким образом, в результате проведенных испытаний образцов отходов № 1–4 был установлен эффект угнетения выклева молоди моллюска при действии модельной среды с концентрацией отходов 500 мг/мл (табл. 1). Было отмечено эмбриотоксическое действие всех исследованных образцов отходов на кладках *Lymnaea stagnalis* – угнетение выклева более 15 % относительно контроля. В результате оценки эмбриотоксичности отходов на кладках *Lymnaea stagnalis* было установлено, что образцы отходов № 1–4 по степени опасности относятся к 4-му классу опасности отходов (малоопасные) и не представляют серьезной угрозы для здоровья человека и благополучия окружающей природной среды.

Таблица 2 – Результаты изучения эмбриотоксического действия образцов отходов № 1–4 на кладках *Lymnaea stagnalis* (анализ усредненных из трех повторностей данных по тестированию отходов)

Концентрация отходов, мг/мл	Успешный выклев, %	Коэффициент вариации (CV), %	Угнетение выклева, %
Отходы стекловолокон грубые			
Контроль	91,99	2,55	–
500,0	64,31	4,73	30,09
Бой асбоцементных изделий			
Контроль	94,94	2,30	-
500,0	73,80	8,11	22,26
Отходы плит минераловатных			
Контроль	92,24	2,15	-
500,0	70,08	5,11	24,02
Бой кирпича силикатного			
Контроль	92,24	2,15	-
500,0	74,47	2,66	19,27

Вместе с тем, следует учитывать, что для гидробионтов биодоступными являются лишь водорастворимые вещества. Поэтому чувствительность кладок *Lymnaea stagnalis* как тест-системы, способной в значительной мере отражать характер отклика представителей водной биоты на присутствие загрязнителей (отходов производства и др.), обусловлена ранней стадией онтогенеза, проницаемостью оболочек капсулы, обеспечивающей высокую активность обменных процессов с модельной средой.

Таким образом, в связи с рядом физиологических и биохимических особенностей жизнедеятельности, присущих каждой отдельно взятой тест-системе, целесообразным является сочетание в батарее тест-объектов организмов, гармонично дополняющих друг друга в формировании наиболее полной картины отклика окружающей природной среды на воздействие отходов производства. В частности, в республиканском унитарном предприятии «Научно-практический центр гигиены» (Республика Беларусь) для оценки степени опасности отходов производства по показателю «экоотоксичность» наряду с *Lymnaea stagnalis* применяются также семена сельскохозяйственных культур, лабораторная культура простейших (*Tetrahymena pyriformis* W.) и лабораторная популяция дождевых червей (*Eisenia foetida*).

ЛИТЕРАТУРА

1. Haupt, M. Modular life cycle assessment of municipal solid waste management / M. Haupt, T.Kägi, S. Hellweg // Waste Manag. – 2018. – Vol. 79. – P. 815–827.
2. Jeswani, H. K., Azapagic, A. Assessing the environmental sustainability of energy recovery from municipal solid waste in the UK; Waste Manag / H. K. Jeswani, A. Azapagic. – 2016. – Vol. 50. – P. 346–363.
3. Коробко, В. И. Твердые бытовые отходы. Экономика. Экология. Предпринимательство : монография : научная специальность 08.00.05 «Экономика и управление народным хозяйством» / В. И. Коробко, В. А. Бычкова. – М. : ЮНИТИ : ЮНИТИ-ДАНА, 2012. – 131 с.
4. Борис, О. А. Оценка токсичности лигнина гидролизного для биообъектов окружающей природной среды / О. А. Борис, С. Ю. Петрова, Т. Н. Гомолко, М. В. Анисович // Химическая безопасность. – 2017. – № 1. – С. 216–225.
5. Метод экспериментального определения токсичности отходов производства : инструкция : утв. постановлением М-ва здравоохранения Респ. Беларусь 07.04.2016, № 044-1215. – Введ. 20.06.2016. – Минск, 2015. – 56 с.

МЕТОДЫ БИОИНДИКАЦИИ КАК СПОСОБ ОЦЕНКИ И УПРАВЛЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИМИ РИСКАМИ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ ПРОТИВОГОЛОЛЕДНЫХ МАТЕРИАЛОВ (НА ПРИМЕРЕ ГАЛИТА) METHODS OF BIOINDICATION AS A TECHNIQUE FOR ASSESSING AND MANAGING ENVIRONMENTAL RISKS WHILE USING ANTI-ICE MATERIALS (HALITE AS AN EXAMPLE)

В. М. Василькевич, Р. В. Богданов, М. А. Атрошко
V. Vasilkevich, R. Bogdanov, M. Atroshko

Научно-практический центр гигиены, г. Минск, Республика Беларусь
sabas2004@mail.ru, atroshkomikhail@gmail.com
Scientific-practical center of hygiene, Minsk, Republic of Belarus

Приведены современные подходы к классификации, критерии выбора противогололедных материалов, основные преимущества и недостатки их применения. Отдельно рассмотрены методы биоиндикации, используемые для объективной оценки состояния среды обитания (почва, вода, воздух) и снижения неблагоприятного экологического влияния активного применения в зимний период противогололедных средств.

This publication represents modern approaches to the classification and criteria for the selection of anti-icing materials, describes the main advantages and disadvantages of their usage. Separately, bioindication methods used for objective assessment of the state of the environment (soil, water, air) and reducing the adverse environmental impact of active use of anti-icing agents in winter were reviewed.

Ключевые слова: соль, экология, мониторинг, гомеостаз.

Keywords: salt, ecology, monitoring, homeostasis.

В зимнее время для устранения гололеда и наледи на дорогах, тротуарах, лестницах, мостах и других конструкциях, на которых образуется наледь, активно используются противогололедные материалы (ПГМ).

ПГМ классифицируются по типу и механизму действия:

1) химические ПГМ, которые в своем составе содержат в концентрации более 95 % разных видов солей – хлориды, формиаты, ацетаты, карбамиды, нитраты. Данная группа ПГМ характеризуется хорошей растворимостью в воде;

2) фрикционные ПГМ, которые содержат не менее 95 % нерастворимых компонентов – песок, щебень, гранитная и мраморная крошка и создают шероховатую поверхность, обеспечивая улучшение механического сцепления с поверхностью (дорожного полотна, тротуарной дорожки и т. д.);

3) комбинированные (химико-фрикционные) ПГМ, содержащие в своем составе плавящую и фрикционную части в количестве от 5 до 95 %.

По агрегатному состоянию ПГМ подразделяется на твердые (сыпучие смеси) и жидкие;

Основные критерии выбора ПГМ:

1) эффективность – определяется температурными режимами работы, способами применения, плавящей способностью и др.;

2) экологичность – зависит от степени риска негативного воздействия на среду обитания;

3) экономичность – определяется стоимостью ПГМ, которая зависит от таких факторов, как расход ПГМ, прямые и косвенные затраты от применения современных противогололедных материалов.

В Республике Беларусь требования к ПГМ, предназначенных для предупреждения и ликвидации гололеда на покрытиях автомобильных дорог общего пользования, регламентированы СТБ 1158-2013 «Материалы противогололедные для зимнего содержания автомобильных дорог. Общие технические условия». Данный нормативный документ содержит также базовые требования безопасности и охраны окружающей среды при использовании ПГМ.

Проведенный анализ доступных литературных источников по вопросу международной практики применения ПГМ позволил выделить руководство по выбору противогололедных материалов для снижения воздействия на окружающую среду (Guidelines for the Selection of Snow and Ice Control Materials to Mitigate Environmental Impacts), которое содержит перечень рекомендаций и требований для рационального выбора противогололедных средств, учитывающих многие факторы, в том числе и экологические [1].

В настоящее время известно около 30 наименований различных ПГМ. Несмотря на то что в настоящее время известно около трех десятков различных химических и химико-фрикционных ПГМ, основными их компонентами являются хлориды натрия, калия, кальция, магния, формиат натрия, а также соли или эфиры уксусной кислоты (ацетаты аммония, калия), которые широко применяются в различных отраслях промышленности, в других областях народного хозяйства и деятельности человека, нормированы в средах обитания человека (рабочая зона, атмосферный воздух, питьевая вода, почва), по параметрам токсичности и показателям опасности для человека являются малоопасными или умеренно опасными веществами (3–4 классы опасности) по ГОСТ 12.1.007-76, могут обладать раздражающим действием при попадании на кожу и слизистые оболочки от слабой до умеренной степени выраженности. Большинство компонентов ПГМ в той или иной мере способны оказывать неблагоприятное воздействие на среду обитания человека (почву, поверхностные и грунтовые воды, растения и животные).

Использование живых организмов в качестве индикаторов для определения качества окружающей среды давно получило широкое признание в научном сообществе. Уже не один год растения, животные, грибы и бактерии используются в качестве биоиндикаторов и средств биомониторинга в воздухе, исследовании загрязнения почвы и воды. Биологический мониторинг может быть определен как измерение ответа живых организмов к изменениям в их среде обитания, и подразделяется на «пассивный» и «активный». Пассивный мониторинг осуществляется через наблюдение и анализ организмов, которые являются обычными обитателями экосистемы. Активный мониторинг включает все методы, при которых организмы помещают в контролируемых условиях в контролируемое место. Эти методы предоставляют информацию о реакции живых организмов на комплексное воздействие загрязнителей окружающей среды, которое не может быть определено прямыми аналитическими измерениями. Биомониторинг предоставляет детальную и надежную информацию охватывая значительную территорию при относительно низких затратах ресурсов и, как правило, основан на чувствительных или накапливающихся организмах, то есть на биоиндикаторах или биоаккумуляторах. Биоиндикаторы проявляют очень высокую чувствительность к поллютантам, предоставляя информацию, которая является функцией качества экологического сектора при экспертизе. Они могут дать информацию об уменьшении биотического разнообразия с уменьшением видов, составляющих сообщество и увеличение числа особей, принадлежащих к нескольким

устойчивым видам; о наличии или отсутствии определенного вида; появлении структурного повреждения, обратимого или постоянного. Организм, используемый в качестве биоиндикатора, должен иметь следующие характеристики: быть легко идентифицируемым; легко отобраным; быть широко распространенным в исследуемом районе; иметь низкую мобильность; длительный жизненный цикл; иметь хорошую генетическую однородность по всей рассматриваемой области; присутствовать в исследуемой среде около года. Биоиндикаторы позволяют создать сеть сайтов мониторинга с последующим удовлетворительным покрытием территории без необходимости использования сложного и дорогостоящего оборудования. Таким образом, наличие большого количества надежных видов биоиндикаторов является важным шагом в направлении использования методологий в научной деятельности. Кроме того, данные, полученные при биомониторинге, не связаны с одной, а являются итогом очень большого количества выборок.

В качестве противогололедных реагентов в Беларуси чаще всего используют техническую соль (галит), песчано-солевые смеси и реже хлористый кальций. Это обусловлено тем, что качественный/компонентный состав других ПГМ и процесс их производства обуславливает высокую стоимость, поэтому их массовое применение коммунальными службами экономически нецелесообразно. Также данные материалы в той или иной степени могут обладать недостаточной эффективностью и оказывать негативное воздействие на окружающую среду (вода, почва, воздух).

Хлористый кальций модифицированный (ХКМ) – экологически более безвреден, чем галит, однако менее эффективный антиобледенитель, так как обладает свойством создавать «масляную» пленку на дороге, в результате чего тормозной путь автомобиля увеличивался в несколько раз, также имеет короткий срок действия – 3 часа. Это приводит к тому, что дороги в течение суток необходимо обрабатывать несколько раз. При применении технической соли дороги остаются сухими, поскольку влага испаряется. ХКМ, напротив, притягивает влагу. После обработки дорожной наледи жидким ХКМ, коэффициент сцепления шин с дорогой снижается на 30 % даже по сравнению с мокрым асфальтом (данные исследований Московского автодорожного института (МАДИ)). По сравнению с технической солью, ХКМ обладает несколькими существенными преимуществами: нормы расхода хлористого кальция в среднем на 30–40 % ниже, при этом он весьма эффективен при низких температурах (до –35 °С не позволяет образовываться гололеду и снежно-ледяным накатам). Несмотря на свои относительно безопасные экологические характеристики и некоторые преимущества действия, он является более дорогим реагентом и менее универсальным, уступая в своим противогололедных свойствах галиту. Как и соль, ХКМ агрессивен по отношению к обуви из натуральных материалов: даже очень хорошо выделанная кожа под воздействием реагентов становится жесткой, а значит, может легко треснуть. К тому же хлор, известный своими отбеливающими свойствами, изменяет цвет обуви. Хлористый кальций небезопасен и для животных. По данным ветеринарных клиник, зимой отмечается увеличение количества жалоб от собаководов, чьи питомцы стали чаще попадать в ветлечебницы с химическими ожогами лап.

Песчано-солевые смеси, начиная с 1960-х гг., являются основными противогололедными реагентами (как правило, состоящая из 92% песка и 8% технической соли). Это один из самых дешевых способов борьбы с гололедом. Однако весной скопившийся на дорогах песок основательно забивал водостоки. Он оставался на дорогах и тротуарах, загрязнял газоны, поэтому весной коммунальным службам приходилось тратить значительные средства, чтобы очистить от него город и вывезти песок на свалку.

Техническая соль (галит) по своей химической структуре представляет собой хлорид натрия (NaCl, CAS 7647-14-5), не очищенный от технических примесей (табл.). NaCl обладает высокой противогололедной эффективностью, имеет низкую стоимость по сравнению с другими ПГМ. Соль можно применять в широком температурном диапазоне от –0 до –30 °С, но она наиболее эффективна при температуре до –15°С. Основные недостатки технической соли – коррозионная активность для автотранспорта, инженерных конструкций и элементов дорог, способность повреждать обувь прохожих, концентрированные пары солей натрия способны разъедать вставки электропроводов.

Таблица – Химический состав галита

Показатель	Содержание веществ
Массовая доля хлористого натрия, %	97,0
Массовая доля кальций-иона, %	0,65
Массовая доля магний-иона, %	0,25
Массовая доля калий-иона, %	0,20
Массовая доля сульфат-иона, %	1,50
Массовая доля оксида железа, %	0,01
Массовая доля не растворимых в воде веществ, %, не более	0,85
Массовая доля влаги, %, не более	4,5

Применение технической соли в качестве ПГМ может приводить к неблагоприятным экологическим последствиям. Так, накопление соли способно влиять на водные экосистемы, а также наносить ущерб наземной растительности. Повышение засоленности почвы может изменить почвенные условия и, следовательно, пригодность почвы для роста растений, особенно в районах, расположенных рядом с дорогами, где зимой используется

соль. Из-за действия Na^+ из противоблежденительной соли происходит выщелачивание таких ионов, как Ca^{2+} , Mg^{2+} и K^+ . Повышенные концентрации катионов натрия в почве имеют тенденцию вытеснять встречающиеся в природе катионы и диспергировать органические и неорганические частицы в порах почвы, что снижает проницаемость и аэрацию почвы, приводит к ее эрозии. Это явление может серьезно нарушить рост растений и повлиять на окружающую среду. По данным Norrstrom и Bergstedt [2], после применения ПГМ соль обнаруживается в почвенном грунте на расстоянии 10 м от края дороги, с самой высокой концентрацией в 6 м. Таким образом, расстояние, на которое соли могут транслокационно мигрировать через почву, зависит от подземных условий. Другим неблагоприятным воздействием хлорида в почве является его способность выделять металлы, сорбированные в почвенных частицах, которые, высвобождаясь, могут мигрировать из почвы с приземными воздушными потоками [1].

Поглощение хлорида через корни растений или накопление на листьях и ветвях может негативно повлиять на придорожную растительность. Симптомы, связанные с воздействием соли, аналогичны симптомам засухи: задержка и нарушение вегетативного роста, преждевременное пожелтение и опадание листьев/иголок. В этом случае можно использовать методы биоиндикации с различными видами придорожных зеленых насаждений – деревьев и кустарников, позволяющих улучшить состояние газового состава атмосферы в пределах придорожных зеленых насаждений. Классическим примером является подбор наиболее подходящих видов растений и расчет площади зеленых насаждений с помощью «методики измерения флукутирующей асимметрии листьев».

Установлено, что галит оказывает влияние на почву и грунтовые воды, поэтому одними из эффективных и перспективных методов биоиндикации является использование почвенных нематод, позволяющих индикативно выявлять различные отклонения в качественном составе почв. Также заслуживает внимания применение биоиндикаторных видов грибов, например, в комбинации методов грибкового рибосомного межгенного спейсера (F-RISA) с ПЦР-анализом в реальном времени [3].

Техническая соль (галит) способна проникать в поверхностные и подземные воды и может подавлять сообщества водных микро- и макроорганизмов. Анализ и качественно-количественная оценка химического состава поверхностных вод, подверженных влиянию сезонного использования ПГМ, также является одним из методов биоиндикации загрязнения рек и водоемов.

Таким образом, принимая во внимание потенциальный риск возможных экологических последствий активного применения в зимних условиях технической соли (галита) в качестве ПГМ, представляется возможным достигнуть и поддерживать на благоприятном уровне состояние гомеостаза среды обитания при рациональном использовании галита и применении биоиндикации. При этом наиболее эффективными методами мониторинга и поддержания гомеостаза среды обитания являются методы биоиндикации с использованием различных видов индикаторов, активное научное изучение особенностей взаимодействия соли с почвой и практическое использование полученных результатов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Levelton Consultants Limited. Guidelines for the selection of snow and ice control materials to mitigate environmental impacts. National Cooperative Highway Research Program, American Association of State Highway, and Transportation Officials, Vol. 577. Transportation Research Board. Washington: DC, 2008.
2. Norrström, A-C., Bergstedt, E. The impact of road de-icing salts (NaCl) on colloid dispersion and base cation pools in roadside soils / A-C. Norrström, E. Bergstedt // Water, Air, and Soil Pollution 127. – 2001. – No. 1–4. – P. 281–299.
3. Ranjard, L. Characterization of bacterial and fungal soil communities by automated ribosomal intergenic spacer analysis fingerprints: biological and methodological variability / L. Ranjard, F. Poly, C. Mougel // Appl Environ Microbiol. – 2001. – Vol. 67. – No. 10. – P. 4479–4487.

ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ПРОРАСТАНИЕ РАЗЛИЧНЫХ СОРТОВ СЕМЯН ЯЧМЕНЯ EFFECT OF ELECTROMAGNETIC RADIATION ON THE GROWTH OF DIFFERENT VARIETIES OF BARLEY SEEDS

С. О. Гапоненко, А. В. Бардюкова
S. Gaponenko, A. Bardyukova

*Институт радиобиологии Национальной академии наук Беларуси,
г. Гомель, Республика Беларусь
ma2856@mail.ru*

Institute of Radiobiology of the National Academy of Sciences of Belarus, Gomel, Republic of Belarus

Рассмотрено влияние неионизирующего низкоинтенсивного переменного электромагнитного излучения на покоящиеся семена ячменя разных сортов при их длительном хранении и последующем проращивании. Определены важнейшие ферменты в облученных и пророщенных семенах ячменя.

The article describes the influence of non-ionizing low-intensity alternating electromagnetic radiation on dormant barley seeds of different varieties during their long-term storage and subsequent germination. The most important enzymes in irradiated and germinated seeds of barley have been identified.

Ключевые слова: электромагнитное излучение, ячмень, ферменты.

Keywords: electromagnetic radiation, barley, enzymes.

Ячмень является распространенным сырьем: его используют для производства безалкогольной и алкогольной продукции, как техническую и кормовую культуру. В связи с этим сохранность собранного урожая и качество посевного материала играют важную роль в сельском хозяйстве и пищевой промышленности.

Получение высококачественной продукции обеспечивается соблюдением норм и требований по сбору, транспортировке, хранению и переработке пищевой продукции. На каждом из этих этапов возможны технологические и естественные потери. При неправильном хранении семян их всхожесть снижается, что будет неблагоприятно сказываться на качестве производимой из такого сырья продукции. При использовании таких семян в качестве посадочного материала урожайность будет снижена.

Исследования в области воздействия на растения электромагнитного излучения показали, что данный вид излучения является стимулирующим фактором физической природы, который при определённых режимах обработки семян даёт ощутимый положительный эффект [1; 2].

В литературе встречается достаточно много информации по предпосевной обработке семян с целью активации их жизненных сил [3]. Однако чтобы на семенах можно было проводить предпосевную обработку, они должны храниться в надлежащих условиях, которые не будут снижать качества посевного материала. Облучение семян при их хранении позволит еще на этапе хранения воздействовать на семена, тем самым повышая их жизненные силы, что будет способствовать в дальнейшем более качественному росту и развитию растений.

Цель работы – изучение особенностей влияния неионизирующего низкоинтенсивного переменного электромагнитного излучения на морфологические и биохимические характеристики покоящихся и прорастающих семян ячменя различных сортов при их длительном хранении и последующем проращивании.

Объектом исследования были выбраны сорта ячменя «Бровар» и «Радимич».

Источником электромагнитного излучения была установка – комплект защиты и активации роста сельскохозяйственных культур малогабаритный (КЗАРМ) «Зеленые волны», который является усовершенствованной моделью установки КЗАР «Аэротон» [4; 5].

Электромагнитное поле, генерируемое КЗАРМ, имеет сложный спектральный состав в диапазоне частот от 5 Гц до 400 кГц. КЗАРМ «Зеленые волны» формирует микроклимат с помощью слабого электромагнитного поля, создаваемого электронным генератором импульсов с заданной периодичностью во времени и пространстве и с определенной направленностью, определяемой волноводами.

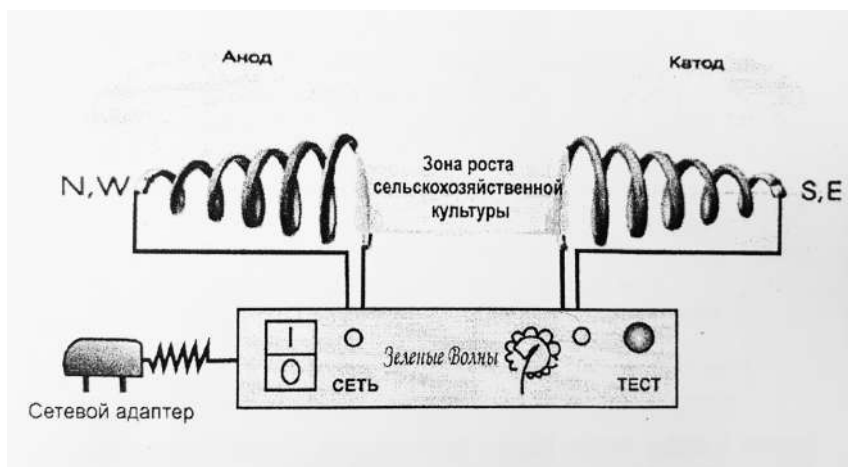


Рисунок 1 – Принципиальная схема КЗАРМ «Зеленые волны»

Семена каждого сорта были отобраны в пяти повторностях. Был поставлен контрольный вариант – без облучения, также в пяти повторностях. В каждой повторности было по 300 семян. Семена были поставлены на облучение. После 21 дня облучения семена были сняты с облучения.

В каждой повторности была определена всхожесть. Всхожесть определялась по ГОСТу [6].

Была исследована активность ферментов.

Активность пероксидазы определяли колориметрическим способом (по Бояркину) в модификации для колориметра фотоэлектрического концентрационного КФК-2 [7].

Активность каталазы определяли титриметрическим способом [8].

Суммарную активность α - и β -амилаз определяли колориметрическим методом на колориметре фотоэлектрическом концентрационном КФК-2 [8].

Количественное определение аскорбиновой кислоты проводили по Тильмансу, титриметрическим методом [7].

Всхожесть опытной партии семян сорта «Бровар» после облучения показала положительную тенденцию и составила $65,77 \pm 7,74$ %, была выше, чем всхожесть контрольной группы – $62,11 \pm 7,06$ %. Всхожесть опытных семян сорта «Радимич» не выявила существенных различий по сравнению с контрольной группой и составила $30,44 \pm 3,32$ и $29,66 \pm 2,9$ % соответственно.

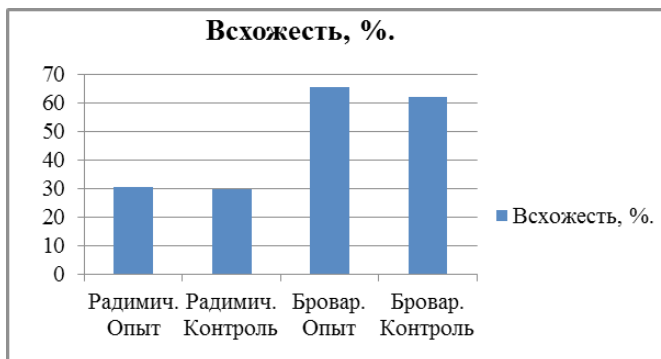


Рисунок 2 – Всхожесть семян ячменя

Активность ферментов после облучения у разных сортов была на разном уровне.

Активность каталазы контрольного зерна сорта «Бровар» составила $92,80 \text{ E}^*$, тогда как в опытных семенах активность каталазы составила $120,96 \text{ E}$. Активность каталазы контрольного и опытного зерна сорта «Радимич» была $63,11 \text{ E}$ и $65,88 \text{ E}$ соответственно. Активность каталазы выражали в микромолях перекиси водорода, разложившейся под действием фермента за 1 мин. в расчете на 1 г исследуемого материала.

*Активность ферментов выражали в микромолях субстрата, разложившегося под действием фермента за 1 мин. в расчете на 1 г исследуемого материала – E.

Суммарная активность α - и β -амилаз контрольного зерна сорта «Бровар» составила $0,009 \text{ мг} / 1 \text{ г} * 30 \text{ мин}$, опытного зерна сорта «Бровар» составила $0,0092 \text{ мг} / 1 \text{ г} * 30 \text{ мин}$. Суммарная активность α - и β -амилаз контрольного зерна сорта «Радимич» $0,0094 \text{ мг} / 1 \text{ г} * 30 \text{ мин}$, опытного – $0,0109 \text{ мг} / 1 \text{ г} * 30 \text{ мин}$. Активность амилаз выражали в миллиграммах гидролизованного крахмала на 1 г муки за 30 мин.

Количественное содержание аскорбиновой кислоты в контрольных семенах сорта «Бровар» было на уровне $0,0142 \text{ мг}$, в опытной партии $0,0173 \text{ мг}$. Содержание аскорбиновой кислоты в контрольных семенах сорта «Радимич» $0,0146 \text{ мг}$, в опытных – $0,0161 \text{ мг}$.

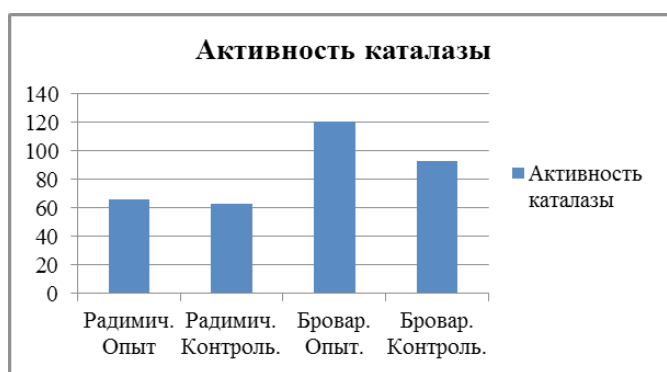


Рисунок 3 – Активность каталазы в семенах ячменя

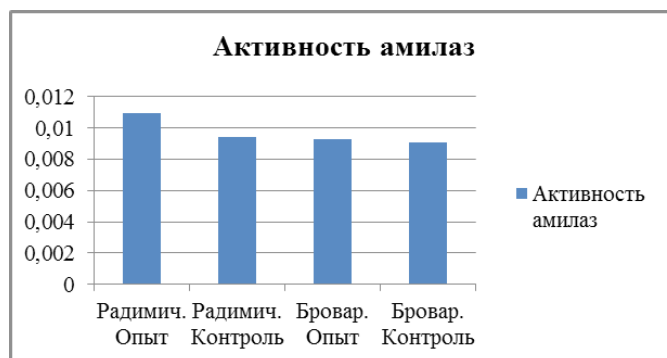


Рисунок 4 – Суммарная активность α - и β -амилаз в семенах ячменя

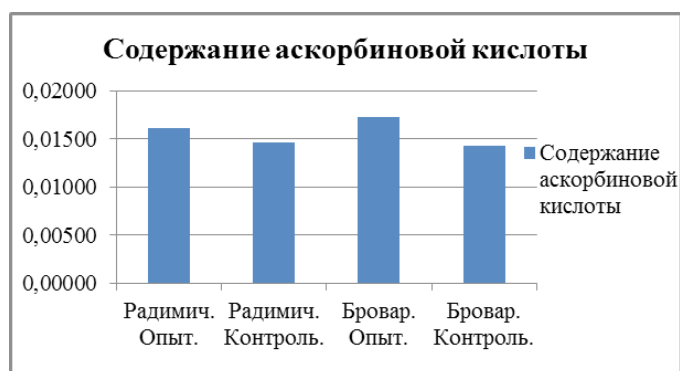


Рисунок 5 – Суммарная активность α - и β -амилаз в семенах ячменя

Таким образом, в процессе проведения исследований было установлено, что при данной экспозиции – 21 день непрерывного облучения семян, все оцениваемые критерии различались в зависимости от сорта:

Сорт «Бровар» показал повышение активности каталазы, содержание аскорбиновой кислоты и более высокую всхожесть в опытной группе по сравнению с контролем.

Сорт «Радимич» показал более высокую суммарную активность α - и β -амилаз и содержание аскорбиновой кислоты по сравнению с контролем.

На основании полученных данных можно сделать выводы, что электромагнитное излучение, генерируемое установкой КЗАРМ «Зеленые волны», при данной экспозиции в разной степени влияет на разные сорта ячменя и на их биохимические характеристики.

Однако на данном этапе эксперимента не было установлено угнетающего действия данного электромагнитного излучения на ростовые и биохимические показатели растений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шамаль, Н. В. Влияние электромагнитного и ионизирующего излучения на прорастание ячменя / Н. В. Шамаль [и др.] // Радиобиология = Radiobiology: минимизация радиационных рисков : материалы междунар. науч. конф. (29–30 сент. 2016, г. Гомель) / редкол.: И. А. Чешик (гл. ред.) [и др.]. – Гомель : Ин-т радиологии, 2016. – 270 с.

2. Гапоненко, С. О. Действие электромагнитного излучения на растения / С. О. Гапоненко // Современные проблемы экспериментальной ботаники: материалы 1 Междунар. науч. конф. молодых ученых, приуроч. Году науки в Республике Беларусь (г. Минск, 27–29 сентября 2017г.) / Национальная академия наук Беларуси; ГНУ «Институт экспериментальной ботаники им. В. Ф. Купревича НАН Беларуси». – Минск: Колоград, 2017. – С. 175–178.

3. Калье, М. И. Влияние КВЧ-излучения миллиметрового диапазона на физиологические процессы прорастания семян пивоваренного ячменя / М. И. Калье // Вестник Нижегородского государственного университета им. Лобачевского. – 2010. – № 2(2). – С. 399–401.

4. Герасименя, В.П. Способ коррекции функционального состояния биологического объекта и устройство для его осуществления: пат. 2169458 Рос. Федерация : МПК⁷ А01G7/04, А61N1/16, А61Н39/00. Способ коррекции функционального состояния биологического объекта и устройство для его осуществления / В. П. Герасименя, Л. А. Соболев, А. Н. Гулин, К. З. Гумаргалиева, А. Г. Соловьев, Д. Г. Анисимов; заявитель и патентообладатель Герасименя В. П., Соболев Л. А.; № 99126299/13, заявл. 21.12.1999; опубл. 27.06.2001

5. Герасименя, В. П. Способ коррекции функционального состояния биологического объекта и устройство для его осуществления: пат. 2201665 Рос. Федерация : МПК⁷ А01G7/04. Способ коррекции функционального состояния биологического объекта и устройство для его осуществления. / В. П. Герасименя, Л. А. Соболев, В. А. Кундик.; заявитель и патентообладатель Герасименя В. П., Соболев Л. А.; № 2000132151/13, , заявл. 22.12.2000; опубл. 10.04.2003

6. ГОСТ 12038-84. Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести. Введ. 01.07.86. – М., ИПК Издательство стандартов, 1984. – 64 с.

7. Методы биохимического исследования растений. / под ред. д-ра биол. наук А. И. Ермакова. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – Л., «Колос», Ленингр. отд-ние, 1972 – 456 с.

8. Владимирова, Е. Г. Биохимия. Методические указания к лабораторному практикуму / Е. Г. Владимирова, Г. И. Ушакова, О. П. Кушнарева. – М.: Оренбург, 2004 – 62 с.

Работа выполнена при финансовой поддержке Белорусского фонда фундаментальных исследований, договор №Б18М-119, от 30 мая 2018 года.

ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ИКСОДОВЫХ КЛЕЩЕЙ В НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТАХ С РАЗЛИЧНОЙ СТЕПЕНЬЮ УРБАНИЗАЦИИ, ВЛИЯНИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК НА ИКСОДИД
PECULIARITIES OF DISTRIBUTION OF IXODE MITES IN HUMAN SETTLEMENTS WITH DIFFERENT DEGREE OF URBANIZATION, INFLUENCE OF CLIMATIC CHARACTERISTICS ON IXODIDE

Л. И. Исаченко, Ю. Г. Лях
L. Isachenko, Y. Liakh

*Белорусский государственный университет, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ,
г. Минск, Республика Беларусь
Yury_Liakh.61@mail.ru*

Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus

Иксодовые клещи постоянно находились в поле внимания паразитологов по причине их причастности к переносу возбудителей (вирусы, риккетсии, спирохеты) заболеваний. Клещи заражают людей клещевым сыпным и клещевым возвратным тифом, осенней эритемой, геморрагической лихорадкой, бруцеллезом. Но наиболее массово и широко распространены заболевания – клещевой, или весенне-летний энцефалит и Лайм-боррелиоз. Одним из методов профилактики этих болезней является снижение численности иксодид в рекреационных зонах с использованием биологических средств. Исследования проводились на территории двух населенных пунктов с различной степенью урбанизации. Увеличение численности иксодид в городской черте связано с появлением там территорий, сходных с природными биотопами обитания иксодовых клещей и достаточном количестве прокормителей.

Ixodes ticks were constantly in the field of attention of parasitologists because of their involvement in the transfer of pathogens (viruses, rickettsia, spirochetes) diseases. Ticks infect humans with tick-borne typhus and tick-borne relapsing fever, autumn erythema, hemorrhagic fever, and brucellosis. But the most widespread diseases are tick-borne or spring-summer encephalitis and Lyme borreliosis. One of the methods for the prevention of these diseases is to reduce the number of ixodides in recreational areas using biological agents. Studies were conducted on the territory of two settlements with varying degrees of urbanization. The increase in the number of ixodides in the urban area is associated with the emergence of territories similar to the natural habitats of Ixodes ticks and a sufficient number of hosts.

Ключевые слова: клещи, урбанизация, распределение, лесопарковый массив, видовой состав.

Keywords: mites, urbanization, distribution, forest-park massif, species composition.

Многочисленными исследованиями ученых-паразитологов доказано, что сезонная динамика численности и паразитирования клещей на животных и человеке в разные годы не одинакова. Зависит она от естественных, географических и экологических условий. От того, на каком этапе развития находится клещ семейства *Ixodae*, зависит и частота его обнаружения во внешней среде.

В основном личинки и нимфы *Ixodes ricinus* активны весь сезон (начиная с марта месяца) с максимумом в мае – июне и в большинстве районов повторно в конце лета осенью (август – сентябрь). Колебания могут несколько зависеть от температурных режимов регионов их обитания. Исследования белорусских паразитологов показали, что нападения взрослых клещей *Ixodes ricinus* на крупный рогатый скот и человека (в центральном округе республики) наблюдалось в 70–90-е гг. с ранней весны (конец апреля) до конца ноября. Число обнаруженных клещей на животных широко варьирует в силу того, что нападение их на животных, тесно связано с температурой окружающей среды, поэтому степень заклещевения животных в то или другое время служит скорее индексом состояния погоды, чем показателем истинной плотности клещей на данной территории.

Dermocentor pictus имеет пики активности в мае и во второй – третьей декадах октября, но при раннем потеплении клещей *Dermocentor pictus* можно обнаружить в апреле и даже в середине марта.

Работами белорусских паразитологов установлено, что активность личинок и нимф клещей *Ixodes ricinus* в центральном районе республики на диких млекопитающих обычно длится с мая до середины сентября с максимальным повышением в июле. На ящерицах максимальное количество личинок отмечено в мае, нимф – в августе; на птицах, соответственно, в июле и в августе. Обнаружение преимагинальной и имагинальной стадий клещей на животных совпадает с их сезонной активностью в природе. Количество взрослых клещей на ежах можно представить в две волны – весеннюю и осеннюю. Что касается личинок и нимф, то их наибольшее количество приходится на середину лета. Взрослых клещей находили на домашних животных в мае, конце августа, в сентябре, октябре.

На диких животных – в мае, сентябре и редко в июне – июле. Нимфы находили в мае, июне, июле, августе и начале сентября. Таким образом, основная масса заклещевения приходится на май, июнь – август и начало сентября [1; 2].

Исследования белорусских ученых, проведенные в очагах вспышек сезонного менингоэнцефалита, показали, что в местах выпаса скота, в мае и июне в большом количестве встречаются голодные половозрелые особи (57,7 %), в июле – только нимфы. Минимальное количество клещей наблюдалось во второй декаде августа, а последние клещи – в третьей декаде ноября [3].

Исследования И. Т. Арзамасова доказывают, что главными хозяевами для взрослых клещей *I. ricinus* из домашних животных оказались крупный рогатый скот, собака; из диких – благородный олень, лисица, заяц-русак. К второстепенным хозяевам он относил лошадь, овцу, кошку и ежа. Из мелких млекопитающих взрослые клещи встречались на белках и лесной соне, мышевидных грызунах и насекомоядных. Главными хозяевами нимф можно считать обыкновенную белку и обыкновенного ежа.

Меньшую роль в прокормлении нимф играют благородный олень, заяц-русак, черный дрозд, соя-полчок, мыш-малютка, рябчик, лесной конек, ящерица прыткая, лесная соя, желтогорлая мышь, сойка, рыжая полевка, бурозубки. Как и нимфы, личинки наиболее часто паразитируют на ежах и белках. На крупных млекопитающих личинки встречаются чрезвычайно редко. К основным хозяевам личинок *I. ricinus* относятся также европейская рыжая полевка и желтогорлая мышь, лесная рыжая полевка, которые являются фоновыми видами в лесных формациях. В силу своей многочисленности именно эти два вида мышевидных грызунов, обитающих почти во всех стадиях, могут иметь не меньшее значение в прокормлении личинок, чем, например, менее многочисленные белки и ежи. Исследователи акарофауны Беларуси относят желтогорлую мышь, водяную полевку, лесную мышь, обыкновенную белку к основным хозяевам преимагинальных фаз клещей.

Главными хозяевами преимагинальных фаз *D. pictus* являются мелкие грызуны (водяная, обыкновенная и европейская рыжие полевки) и обыкновенные ежи. К второстепенным хозяевам можно отнести малую бурозубку, полевую мышь, желтогорлую мышь, крота, лесную соню, обыкновенную белку, зайца, собаку, домашних и диких копытных.

I. ricinus паразитируют преимущественно на животных, обитающих в лесных стадиях. *D. pictus* чаще всего встречается на млекопитающих, живущих в открытых местах. Дикие позвоночные, придерживающиеся поселений человека и культурных полей, клещами не заражены. Птицы, связанные по образу жизни с травяным покровом, то есть, когда возможен непосредственный контакт клещей с их хозяевами, часто заражены клещами *I. ricinus*. [1; 2]

Подводя итог, можно сказать, что клещи чаще всего встречаются на таких животных, которые ведут экологически сходный с ними образ жизни. Иксодовые клещи в природе встречаются на протяжении всего теплого время года. С наступлением теплых весенних дней голодные клещи выбираются из зимних убежищ и начинают нападать на человека и животных. На зимовку они уходят поздней осенью. Пик нападения на людей и животных приходится на весну – начало лета. В более южных регионах это происходит еще и осенью [4].

В последние годы видовой состав главных хозяев иксодовых клещей изменился. Крупный рогатый скот, лошади и овцы по причине использования для их выпаса культурных пастбищ перестали быть основными хозяевами как взрослых клещей, так и их личинок.

Несколько изменился и видовой состав хозяев клещей, обитающих в парковой и лесопарковой зонах городов.

В последние годы во многих европейских странах учеными отмечается рост численности иксодовых клещей не только в естественных биоценозах, но и на территориях урбанизированных ландшафтов. Иксодиды представляют значительную опасность для людей, так как они являются переносчиками и хранителями различных видов патогенных микроорганизмов, в том числе и возбудителей клещевого боррелиоза. Показатели заболеваемости населения болезнью переносимыми иксодидами на территории Республики Беларусь имеют выраженную тенденцию к ежегодному росту.

Так как климат на территории Республики Беларусь изменяется, меняется и экология клещей, заставляя их мигрировать в места с более комфортными условиями и более доступной пищей. Из-за увеличения температуры продолжительность активности клещей продлевается – начинается значительно раньше, а заканчивается позже [4; 5].

В течение 2014–2018 гг. на территории некоторых парков города Минска (Дрозды, Восток, Цна, Уручье) нами проведены исследования по установлению численности и динамики паразитирования иксодовых клещей. Для сравнения, аналогичные исследования мы провели на территории паркового массива Удога небольшого города Чериков, который характеризуется относительно не высокой степенью урбанизации. Кроме этого, на этих двух площадках проводились замеры степени распределения иксодовых клещей, их численность на флаго-километр. Все результаты схематически накладывались на температурные режимы погодных условий.

Итак, на территории лесопаркового массива в микрорайоне «Восток» г. Минска был обнаружен один вид иксодовых клещей – *I. ricinus* с относительной численностью 2,7 экз. на флаго/км, по состоянию на 2016–2017 гг.

В 2018 г. численность иксодид на флаго/км незначительно увеличилась – с 2,7 экз. до 3 на флаго/км. Высокая численность иксодид в данном лесопарке связана с тем, что он в большей степени похож на природные места обитания иксодовых клещей – хвойные леса.

На территории лесопаркового массива «Дрозды» г. Минска в период исследований с 2016 по 2017 год нами был обнаружен один вид иксодовых клещей – *I. ricinus* с относительной численностью 8 экз на флаго/км. В 2018 г. численность иксодид увеличилась до 9 экз на флаго/км.

Высокая численность иксодид в данном лесопарке связана с тем, что недалеко от этого лесного массива расположено водохранилище, которое привлекает большое количество мелких прокормителей клещей.

Данный увлажненный регион стал местом обитания мышевидных грызунов, птиц, ежей, различных рептилий и пресмыкающихся.

На территории лесопаркового массива «Цна» был обнаружен один вид иксодовых клещей – *I. ricinus* с относительно небольшой численностью 2 экз. на флаго/км. В 2018 г. по сравнению с предыдущими годами численность иксодид в данном парковом массиве не изменилась.

На территории лесопаркового массива «Уручье» был обнаружен один вид иксодовых клещей – *I. ricinus*, численностью 2 экз. на флаго/км. Невысокая численность обусловлена тем что, во время сбора образцов температура воздуха в те дни была очень высокой 32–34 °С, возможно это и повлияло на количество собранных иксодид.

Согласно литературным данным и результатам наших исследований (рис. 1) можно проследить численность иксодовых клещей на территории г. Минска в 2005–2018 гг.

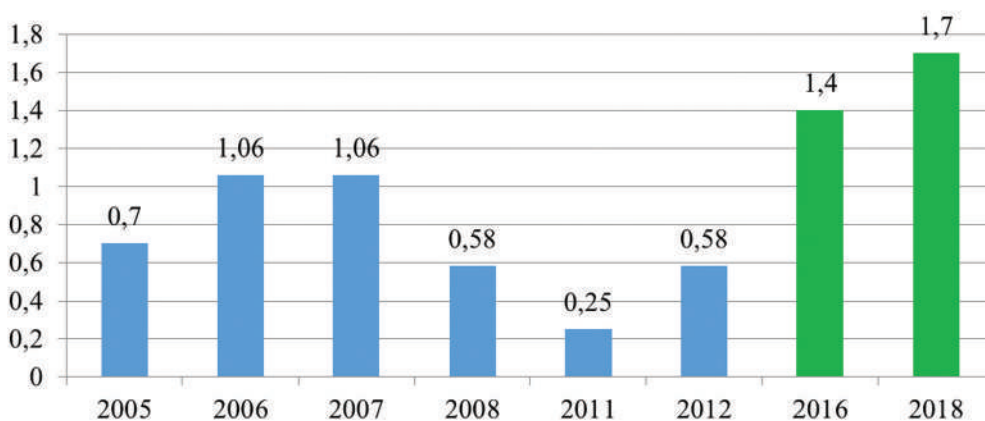


Рисунок 1 – Средняя численность иксодид на флаго километр в г. Минск

В процессе выполнения исследования был проведен анализ климатической характеристики Республики Беларусь. Увеличение численности с 2005 по 2012 г., а также с 2016 по 2018 г. связано также с изменением температурного режима.

Среднегодовая температура воздуха (2015–2018 г.) составила 8,5 °С, что на 2,7 °С выше климатической нормы. 2016 г. занял первое место в ранжированном ряду наблюдений (от наиболее теплого года к наиболее холодному) за весь период наблюдений. В большинстве месяцев года (в 10 из 12) температура воздуха превышала климатическую норму. Положительная аномалия температуры воздуха с января удерживалась по апрель включительно, с июня – по сентябрь включительно и с ноября до конца года.

Наибольший вклад в эту аномально высокую среднегодовую температуру воздуха внесли месяцы холодного периода года – январь – март и декабрь, когда положительные отклонения температуры воздуха от климатической нормы достигали 4,8–5,7 °С. И только в мае и октябре отклонение температуры воздуха от климатической нормы было отрицательным.

Температура воздуха этих месяцев оказалась ниже климатической нормы на 0,3 и 0,9 °С соответственно. Теплыми были все сезоны года, а наибольшая положительная аномалия (+4,0° С) наблюдалась в зимний сезон 2014–2018 гг.

По состоянию на 2019 г. температурный режим в стране изменился, температура выросла в среднем на 1–2 градуса. В крупных городах температура всегда превышает норму на 1–2 градуса, что больше, чем за пределами крупных городов. В связи с этим экология многих паразитов, в том числе и клещей, изменилась.

На территории паркового массива Удога вблизи г. Чериков были обнаружены 2 вида клещей – *I. ricinus* и *D. eticulatus*.

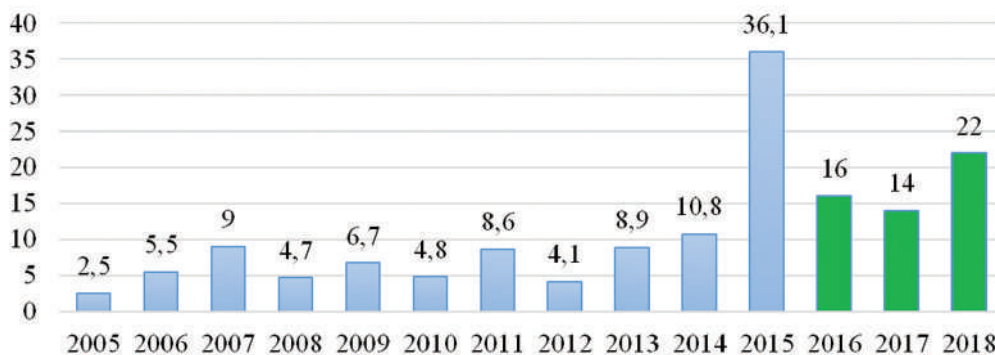


Рисунок 2 – Средняя численность иксодид на флаго километр в г. Чериков.

На рис. 2 представлена численность иксодовых клещей, установленных путем использования классических приемов в г. Чериков. Как видно из представленных данных, численность иксодовых возрастает.

Относительная численность *I. ricinus* на территории паркового массива Удога вблизи г. Чериков составила 2,0 экз. на флаго/км, а *D. reticulatus* – 3 экз. на флаго/км. В 2018 г. численность иксодид по сравнению с 2016–2017 гг. незначительно увеличилась (возросла численность *D. reticulatus*).

Фактор увеличения численности обусловлен тем, что на данной территории существуют оптимальные условия для их обитания и их прокормителей. На данной территории встречается достаточно много животных, начиная от таких самых мелких, как мыши, ежи, белки, и заканчивая самыми крупными – олени, лоси. В данном массиве установлены кормушки для подкормки различных охотничьих животных. Рассыпанный корм и его остатки привлекают большое количество других видов зверей и птиц.

Полученные данные свидетельствуют, что в городе с более высокой степенью урбанизации численность иксодид значительно выше, чем в городе, который характеризуется относительно малой степенью урбанизации. Причиной этому послужило широкое распространение мышевидных грызунов, которые в достатке имеют корм. Именно загрязнение урбанизированных территорий бытовыми отходами, которые включают и пищевые, привлекают большое количество не только мышевидных грызунов, но и птиц. Ко всему, естественные враги мышевидных (хищные птицы) избегают человеческого фактора и как результат эти грызуны не чувствуют прессинга со стороны хищных пернатых. Дополняя сказанное, следует отметить, что присутствие бездомных животных, выгул населением домашних собак и кошек положительно сказывается на увеличении численности иксодовых клещей с вытекающими последствиями.

ЛИТЕРАТУРА

1. Арзамасов, И. Т. Иксодовые клещи / И. Т. Арзамасов. – Минск, 1961. – 132 с.
2. Балашов, Ю. С. Место иксодовых клещей (*Ixodidae*) в лесных экосистемах / Ю. С. Балашов // Паразитология. – 1996. – Т. 30, вып. 3. – С. 193–205.
3. Лях, Ю. Г. Биологические методы регуляции численности иксодовых клещей и роль рыжих лесных муравьев в этом процессе / Ю. Г. Лях, Л. И. Исаченко // VIII Междунар. науч.-практ. конф. «Эколого-биологические аспекты состояния и развития Полесского региона», г. Мозырь, 26 окт. 2018. – С. 61–64.
4. Исаченко, Л. И. Установление роли рыжих лесных муравьев в снижении численности иксодовых клещей лесопарковой зоны г. Минска / Л. И. Исаченко, Ю. Г. Лях // Молодежный аграрный форум – 2018: Материалы междунар. студ. науч. конф. / Белгородский ГАУ; 20–24 марта 2018. – С. 292.
5. Исаченко, Л. И. Рыжие лесные муравьи (*Formica rufa*) как фактор снижения численности иксодовых клещей лесопарковой зоны г. Минска / Л. И. Исаченко, Ю. Г. Лях // XIII Междунар. науч.-практ. конф. «Актуальные проблемы экологии – 2018». г. Гродно, 3–5 окт. 2018 г. – Гродно, 2018. – С. 71–73.

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕСТ-СИСТЕМ, ПРЕДСТАВЛЕННЫХ БЕСПОЗВОНОЧНЫМИ, ДЛЯ БИОТЕСТИРОВАНИЯ ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА – РАСТВОРОВ ПРОЯВИТЕЛЕЙ

THE USE OF TEST SYSTEMS IN INVERTEBRATES FOR BIOTESTING OF INDUSTRIAL WASTE – DEVELOPER SOLUTIONS

С. Н. Камлюк, О. А. Борис, Т. Н. Гомолко

S. Kamliuk, O. Boris, T. Gomolko

Научно-практический центр гигиены,

г. Минск, Республика Беларусь

shevtsova308@gmail.com

Scientific practical centre of hygiene, Minsk, Republic of Belarus

Представлены результаты оценки влияния отходов, образующихся в медицинских учреждениях при проявлении рентгеновской пленки – растворов проявителей в тест-системах, представленных почвенными червями (*Eisenia foetida*) и брюхоногими моллюсками (*Lymnaea stagnalis*). Данные тест-модели применяются для изучения токсичности отходов производства в целях определения класса опасности отходов производства по опасному свойству «экотоксичность». Описана методика проведения экспериментов с использованием указанных тест-систем. Приведено научное обоснование рациональных условий постановки эксперимента, изложены основные результаты испытаний, согласно которым исследованный образец отходов производства относится ко второму классу опасности по показателю «экотоксичность».

The paper presents the results of assessing the impact of waste originated in medical institutions during X-ray film development – developer solutions with the use of test systems represented by soil worms (*Eisenia foetida*) and gastropods (*Lymnaea stagnalis*). These test models are applied to study the toxicity of industrial waste in order

to determine the class of hazard of industrial waste by the hazard index named “ecotoxicity”. The experimental design as well as methods used within these test systems are described. The scientific substantiation of the rational experimental setting conditions, as well as the main results are presented, according to the results the studied sample of industrial waste belongs to the second class of hazard in terms of “ecotoxicity”.

Ключевые слова: отходы производства, растворы проявителей, *Eisenia foetida*, *Lymnaea stagnalis*, биотестирование, экотоксичность, класс опасности.

Keywords: industrial waste, developer solutions, *Eisenia foetida*, *Lymnaea stagnalis*, biotesting, ecotoxicity, the class of hazard.

Исследованиями зарубежных и отечественных ученых на протяжении последних десятилетий доказано, что захороненные твердые и пищевые отходы создают серьезную обстановку в местах захоронения, так как содержат значительное количество токсичных соединений. Известно, что в почвенном покрове мест складирования твердых бытовых, а также производственных отходов накапливаются такие микроэлементы, как серебро, вольфрам, молибден, никель, медь, цинк, кадмий, свинец.

Основные стратегии обращения с бытовыми и промышленными отходами заключаются в трех вариантах: захоронение отходов на местах складирования/захоронения (более 70 % твердых бытовых отходов в мире направляются на полигоны), сжигание мусора (сопровождается образованием токсичных дымовых газов, защита от которых предполагает установку дорогостоящих очистных сооружений) и вторичная переработка, являющаяся наиболее перспективной и высокотехнологичной стратегией утилизации отходов.

В производственных и бытовых отходах могут содержаться различные красители, краски, лаки, ртуть, растворители, свинец и его соли, лекарства, пластмассы, синтетические материалы, полихлорбифенилы и др. На сегодняшний день в Республике Беларусь обращение с отходами производства регулируется рядом технических нормативно-правовых актов, одним из основополагающих требований которых является определение степени и класса опасности, которое для ряда наименований отходов проводится по двум показателям: «токсичность» и «экотоксичность» [1–3].

Предприятия, являющиеся собственниками отходов, как правило, обязуются обеспечивать сбор, хранение, вывоз и вести учет образующихся отходов производства; разрабатывать, утверждать в территориальных органах Минприроды инструкции по обращению с отходами производства, осуществлять производственно-экологический контроль и не допускать вредного воздействия отходов производства на окружающую среду.

Такие отходы производства, как отработанные растворы проявителей, образуются в медицинских учреждениях, диагностических отделениях при проявлении рентгеновской пленки. Наиболее широкое применение в данной области находят растворы не с одним, а с двумя проявляющими веществами, например с метолом и гидрохиноном. Гидрохинон представляет собой активное проявляющее вещество, создающее изображения с высокой оптической плотностью и контрастностью, тогда как метол относится к наиболее распространенным проявляющим веществам, используемым как отдельно, в метоловых проявителях, так и в сочетании с гидрохиноном в метолгидрохиноновых проявителях, применяемых в медицине.

Исследования образцов отходов производства по показателю «экотоксичность» предполагает оценку степени и класса опасности испытуемых образцов на основании регистрации отклика биологической тест-модели (нескольких тест-систем).

В частности, применение водных и почвенных беспозвоночных животных в практике биотестирования с целью получения информации о потенциальной угрозе отходов производства для среды обитания человека является весьма актуальным. Данный подход отличается методической простотой, экономической целесообразностью, небольшими сроками выполнения исследований, а также находится в согласии с требованиями минимизации применения млекопитающих благодаря расширению применения альтернативных тест-моделей в научных исследованиях, в том числе по направлениям токсикологии и экотоксикологии.

В данной работе изложены результаты испытаний образца отходов производства – растворов проявителей, образованных в результате проявления рентгеновской пленки в медицинских учреждениях г. Минска (Республика Беларусь) в тест-системах, представленных лабораторной популяцией дождевого червя *Eisenia foetida*, а также лабораторной популяцией вторичноводного брюхоногого моллюска *Lymnaea stagnalis* (большого прудовика).

Исследования данного образца отходов с целью определения степени и класса опасности по показателю «экотоксичность» проводили с использованием лабораторных тест-систем, поддерживаемых на базе республиканского унитарного предприятия «Научно-практический центр гигиены» (Республика Беларусь).

В исследованиях на *E. foetida* использовали 7 особей на 500 г модельной среды, состоящей из гомогенизированного образца отходов, тщательно перемешанного с грунтом. В контейнеры с субстратом вносили образец отходов, соблюдая соотношение массы образца отходов к массе субстрата: 20,0 г/кг, 40,0 г/кг, 70,0 г/кг, 100,0 г/кг. В качестве отрицательного контроля использовали субстрат без образцов отходов, в который помещали особей *E. foetida* при идентичных условиях.

Экспозиция составляла 7 суток при комнатной температуре. В ходе основного этапа эксперимента определяли такие оценочные показатели, как средняя летальная концентрация LC_{50} (расчет показателя проводится при наличии дозозависимого эффекта частичной гибели в 3-х концентрациях и более пробит-анализом по методу

Финни), патологические поведенческие реакции почвенных олигохет и видимые морфологические изменения организмов, а также гибель животных по окончании экспозиционного периода [4].

В исследованиях на тест-модели *L. stagnalis* оценивали эмбриотоксические свойства испытуемого образца отходов в концентрациях 0,1 мг/мл, 0,5 мг/мл, 1,0 мг/мл, 2,0 мг/мл. Для этого проводили синхронизацию предварительно собранных со стенок аквариумов кладок: отчещение с помощью скальпеля концевых участков длиной 2–3 мм. Далее каждую кладку, содержащую зародышевые капсулы с эмбрионами моллюска преимущественно на стадии гаструлы, делили на 5 частей, которые расформировывали на одну контрольную и 4 опытные группы. Подсчитывали изначальное количество зародышевых капсул, содержащих по одному эмбриону в каждой чашке. Чашки с фрагментами кладок заливали исследуемыми растворами. Инкубировали при комнатной температуре, до полного выклева (выхода молоди моллюска из кладок).

По окончании экспозиции подсчитывали в каждой экспериментальной чашке погибших эмбрионов и выклюнувшихся ювенильных особей. Оценивали эффект угнетения выклева путем подсчета выклюнувшихся особей с последующим расчетом доли выклюнувшихся особей относительно изначального количества зародышевых капсул для каждой повторности, определяли % успешного выклева. На основании усредненного по каждой повторности показателя % успешного выклева для каждой концентрации относительно контроля рассчитывали угнетение выклева (%) по формуле:

$$\text{угнетение выклева (\%)} = (K-O)/K * 100\%,$$

где К – % успешного выклева в контроле, О – % успешного выклева в опыте.

Рассчитывали зависимость величины угнетения выклева (%) от концентрации отходов в мг/мл. Линейная (полулогарифмическая) зависимость выражается уравнением прямой общего вида:

$$y = mx + b.$$

Регрессионный анализ экспериментальных данных проводится при условии наличия эффекта с частичной гибелью эмбрионов на 3-х и более концентрациях. Коэффициент корреляции $R^2 \geq 0,6$. При этом опасность тестируемых отходов на кладках *L. stagnalis* оценивали по таким показателям как средне-эффективная концентрация (EC_{50}), пороговая концентрация (EC_{15}), средне-эффективная концентрация (EC_{50}) / пороговая концентрация (EC_{15}) – показатель, характеризующий зону острого действия.

По итогам эксперимента с применением тест-системы *E. foetida* выявлен дозозависимый эффект снижения выживаемости в условиях влияния образца отходов в заданных концентрациях (табл. 1).

В результате 7-суточной экспозиции образца отходов (раствора проявителей) в тест-модели *Eisenia foetida* установлена величина среднелетальной концентрации $LC50 = 57,46$ (41,98 - 78,65) г/кг, что позволило отнести данные отходы к 4-му классу опасности согласно установленным критериям оценки (табл. 2) [5].

Таблица 1 – Летальность *E. foetida* в результате воздействия образца отходов

Концентрация образца отходов, г/кг	Гибель животных – количество погибших из 7 особей			
	Повторность 1	Повторность 2	Повторность 3	Среднее значение из 3-х повторностей
20	1	0	0	0,33
50	1	2	1	1,33
100	5	4	4	4,33
200	7	6	7	6,66
Контроль	0	0	1	0,33

Таблица 2 – Критерии отнесения отходов к классам опасности по показателю токсичности на *Eisenia foetida*

Показатель	Степень и классы опасности отходов				
	Опасные				Неопасные
	1-й класс	2-й класс	3-й класс	4-й класс	
Токсичность на <i>Eisenia foetida</i> , LC_{50}	$\leq 0,1$	$>0,1-1,0$	$1,1-50,0$	$\geq 50,0$	отсутствие

По итогам эксперимента с применением тест-системы *L. stagnalis* выявлен дозозависимый эмбриотоксический эффект (угнетения выклева) в условиях влияния образца отходов в заданных концентрациях (табл. 3).

Таблица 3 – Эмбриотоксическое влияние образца отходов на кладках *Lymnaea stagnalis*

Концентрация образца отходов, мг/мл	Успешный выклев, %	Угнетение выклева, %
Контроль	93,85	–
0,1 мг/мл	89,42	4,71
0,5 мг/мл	44,80	52,26
1,0 мг/мл	25,52	72,80
2,0 мг/мл	5,55	94,09

На основании полученных результатов рассчитаны значения показателей для ранжирования образца отходов по классам опасности (табл. 4). Полученные результаты по оценке эмбриотоксичности на кладках *L. stagnalis* согласно установленным критериям (табл. 5) позволяют отнести протестированный образец отходов производства ко 2-му классу опасности опасных отходов (очень опасным) [5].

Таблица 4 – Параметры эмбриотоксичности отходов на кладках *L. stagnalis*

Показатель	Результат	Класс опасности
EC ₅₀ , мг/мл	0,75±0,04	2 класс
Пороговая концентрация (EC ₁₅), мг/мл	0,23	3 класс

Таблица 5 – Критерии отнесения отходов к классам опасности по показателям эмбриотоксичности на кладках *L. stagnalis*

Показатель	Классы опасности отходов			
	1-й класс	2-й класс	3-й класс	4-й класс
EC ₅₀ , мг/мл	менее 0,1	0,1 – 1,0	1,1 – 20	более 20
Пороговая концентрация (EC ₁₅), мг/мл	менее 10 ⁻⁴	10 ⁻⁴ – <10 ⁻³	10 ⁻³ – 0,5	более 0,5
EC ₅₀ /EC ₁₅	более 10 ⁴	10 ⁴ – >10 ²	10 ² – 10	–

Таким образом, на основании проведенных исследований испытуемый образец отходов отнесен ко второму классу опасности, поскольку ранжирование отходов по классам опасности проводится по лимитирующему (наиболее жесткому) показателю – в данном случае по показателю эмбриотоксичности, определяемому с применением тест-системы *L. stagnalis*.

Следовательно, применение тест-систем, представленными батареями беспозвоночных животных, позволяет оценить степень опасности исследуемых образцов отходов для окружающей природной среды в ее основных и тесно взаимосвязанных составляющих – почвенной и водной компонентах. Кроме того, данный подход экономически целесообразен, не представляет существенных методических сложностей при его реализации, поэтому его применение при экотоксикологических исследованиях весьма актуально.

ЛИТЕРАТУРА

1. Волкович, А. И. Утилизируем ртутьсодержащие отходы правильно / А. И. Волкович // Экология на предприятии : производственно-практический журнал для экологов. – 2018. – № 10 (88). – С. 44–48.
2. Гринин, А. С., Новиков, В. Н. Промышленные и бытовые отходы. – М.: Фаир-Пресс, 2002. – 336 с.
3. Куксов, С. В. Полигоны твердых бытовых и промышленных отходов / С.В. Куксов [и др.] // Вестник АГТУ. – 2005. – № 3 (26). – С. 185–189.
4. Криштопенко, С. В. Доза-эффект / С. В. Криштопенко, М. С. Тихов, Е. Б. Попова. – М. : Медицина, 2008. – 288 с.
5. Метод экспериментального определения токсичности отходов производства : инструкция : утв. постановлением М-ва здравоохранения Респ. Беларусь 07.04.2016, № 044-1215. – Введ. 20.06.2016. – Минск, 2015. – 56 с.

ФИЗИОЛОГО-БИОХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОЦЕНКИ АДАПТАЦИИ АГРОЦЕНОЗОВ К ЗАГРЯЗНЕНИЮ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ И РАДИОНУКЛИДАМИ PHYSIOLOGICAL AND BIOCHEMICAL METHODS OF ASSESSMENT ADAPTATION OF AGROECOSYSTEM TO THE POLLUTION WITH HEAVY METALS AND RADIONUCLIDES

В. Ф. Ковалев, Е. В. Журавков, Н. В. Гончарова
V. Kavaliou, Y. Zhuravkov, N. Goncharova

Белорусский государственный университет, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ,
г. Минск, Республика Беларусь
goncharova@iseu.by
Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus

Выявлены наиболее чувствительные и информативные показатели, которые могут быть использованы для оценки техногенного загрязнения компонентов окружающей среды. Показано, что при действии низких доз поллютантов содержание фотосинтетических пигментов повышается, а при увеличении концентрации

поллютанта – снижается. Установлено, что возрастание антропогенной нагрузки приводит к усилению перекисного окисления липидов у изученных растений и формированию ответных реакций, связанных с возрастанием количества водорастворимых антиоксидантов. На основе теоретических и экспериментальных исследований, проведенных в рамках данного исследования, сформулированы основные научно-методологические подходы к разработке стратегии формирования агроценозов и прогнозирования их устойчивости.

The most sensitive and informative indicators that can be used to assess the anthropogenic pollution of environmental components are identified. It is shown that under the action of low doses of pollutants, the content of photosynthetic pigments may increase, and with an increase in the concentration of the pollutant – decreases. It was found that the increase in anthropogenic load leads to increased lipid peroxidation in the studied plants and the formation of responses associated with an increase in the amount of water-soluble antioxidants. On the basis of theoretical and experimental studies of this study, the main scientific and methodological approaches to the development of strategies for the formation of agroecosystems and forecasting their stability.

Ключевые слова: токсиканты, хлорофилл, каталаза, антропогенное воздействие, пероксидаза, агроэкосистема.

Keywords: toxicants, chlorophyll, catalase, anthropogenic impact, peroxidase, agroecosystem.

Среди химических веществ, загрязняющих различные объекты окружающей среды (воздух рабочей зоны, атмосферный воздух, водоемы, почву, пищевые продукты), тяжелые металлы (ТМ) и их соединения образуют значительную группу токсикантов, во многом определяющую антропогенное воздействие на экологическую структуру окружающей среды и на самого человека. Развитие атомной промышленности, испытание ядерного оружия, аварии на атомных реакторах различного происхождения приводят к локальным повышениям уровня воздействующих радиационных доз и к глобальному повышению радиационного фона, загрязнению окружающей среды радионуклидами.

Цель исследований – изучение действия загрязнения почвы радионуклидами (^{137}Cs и ^{90}Sr) и тяжелых металлов (кадмий) на изменения активности ферментов каталазы и пероксидазы, а также фотосинтетической активности озимой пшеницы. Проведено две серии лабораторных экспериментов на вегетирующих растениях озимой пшеницы сорта Этюд. Растения выращивали в сосудах (масса почвы – 5 кг), в контролируемых условиях, при температуре +24 °С, освещенности 18–20 кЛк, с соблюдением правил проведения вегетационного опыта. Повторность опыта четырехкратная. Почва – дерново-подзолистая супесчаная с агрохимическими: рН 5,03–5,08, содержание гумуса – 1,6, фосфора – 22,1–37,7 мг в 100 г почвы, калия – 21,0–27,3 мг в 100 г почвы. Удельная радиоактивность загрязненной радионуклидами почвы составляла: ^{137}Cs – 1920 Вк/кг и ^{90}Sr –182 Вк/кг. Контроль – почва, не загрязненная радионуклидами. Известно, что общая продуктивность растений связана с фотосинтезом – процессом, характеризующимся тонко слаженной работой ферментов и соединений, аккумулирующих и трансформирующих световую энергию, поглощенную хлорофиллом, в макроэргические соединения.

Анализ количественного содержания хлорофиллов а и b показал, что с ростом в удельной активности вегетативной массы растений содержание хлорофилла а+b увеличивается в вариантах выращивания их на почве, загрязненной радионуклидами, по сравнению с контрольными вариантами (табл. 1).

Таблица 1 – Влияние радионуклидов на биосинтез хлорофилла у растений озимой пшеницы

Вариант	Концентрация хлорофилла, [нмоль/г. сухой массы]			
	Хлорофилл а	Хлорофилл b	Хлорофилл а+b	Хлорофилл а/b
Озимая пшеница (сорт Этюд)				
Контроль (без РН)	78,6±0,02	30,9±0,03	108,9±0,04	2,6
Опыт (с РН)	92,2 ±0,01	34,3±0,03	126,5±0,04	2,7

Следует отметить, что обнаруженная стимуляция биосинтеза хлорофилла происходит на фоне снижения активности фермента каталазы (табл. 2).

Активность каталазы снижалась во всех 4-х повторностях опыта. Увеличение концентрации хлорофилла и снижение активности каталазы в листьях растений, содержащих радионуклиды, сопровождалось снижением количества растворимого белка.

Таблица 2 – Изменение биосинтеза белка и фотосинтетической активности листьев озимой пшеницы под влиянием инкорпорированных радионуклидов

Вариант	Белок (мкг/г сухой массы листа)	Активность каталазы (оносительные ед.)	Включение ^{14}C в ткань листа (относительные ед.)
Озимая пшеница (сорт Этюд)			
Опыт/контроль	0,72±0,04	0,87±0,07	1,48±0,05

Изучая суммарный процесс пероксидации липидов, было установлено, что содержаемое МДА в листьях опытных вариантов всех исследуемых растений превышает эту величину у контрольных растений (табл. 3).

Таблица 3 – Влияние инкорпорированных в листья радионуклидов на содержание малонового диальдегида (МДА) и активность пероксидазы у растений озимой пшеницы

Вариант	МДА (мкг/г сухой массы)		Пероксидаза (относит. единицы)	
		опыт/контроль		опыт/контроль
Озимая пшеница (сорт Этюд)				
Контроль (без РН)	0,67±0.3	1	98,5±1,1	1
Опыт (с РН)	0,76±0.2	1,13±0,02	122,4±1,4	1,24±0,03

Радионуклиды, поступившие из почвы в листья исследуемых растений, активируют пероксидацию липидов и активность пероксидазы в клеточных мембранах листьев, что позволяет предположить существование антиоксидантных систем защиты при действии стрессовой ситуации. С увеличением активности пероксидазы, активность фотосинтетических процессов возрастала.

Полученные данные свидетельствуют о выраженном эффекте стимуляции под воздействием инкорпорированных радионуклидов. На основании имеющихся представлений можно предположить, что радионуклиды, воздействуя на клеточные мембраны, способствуют развитию окислительных процессов, приводящих к изменению состояния и свойств мембран, вызывая активацию фотосинтетических реакций.

В результате исследований выявлены наиболее чувствительные и информативные показатели (активность фотосинтетических и антиоксидантных систем), которые могут быть использованы для оценки техногенного загрязнения компонентов окружающей среды.

Во второй серии модельных опытов исследовали действие хлористого кадмия (10^{-6} – 10^{-2} М) на озимую пшеницу сорта Этюд при добавлении в среду выращивания. Увеличение концентрации этой соли приводило к замедлению роста растений, уменьшению содержания белка и хлорофилла в листьях и снижению скорости синтеза АТФ в изолированных хлоропластах. При избытке аммония ($2,5 \times 10^{-2}$ М) и длительном действии меньших концентраций (10^{-6} – 10^{-4} М) увеличивалась активность ферментов супероксиддисмутазы, каталазы и пероксидазы в листьях и корнях. Сравнение растворимых (цитозольных) и труднорастворимых (мембранных) белковых фракций, а также субклеточных структур, выделенных из проростков, показало активирование ферментов хлористым аммонием преимущественно в мембранных структурах – ядрах, субчастицах, митохондриях и хлоропластах. Загрязнение окружающей среды делает необходимым изучение трансформации вредных соединений (тяжелых металлов и радионуклидов) в растениях, выявление первичных мишеней воздействия, метаболических и детоксикационных путей их в живой клетке.

К настоящему времени накоплен достаточно обширный материал, показывающий неспецифическое действие любых поллютантов на клетку, проявляющуюся в активировании перекисного окисления липидов (ПОЛ) в клеточных мембранах, образовании активных форм кислорода (АФК), индуцирующих свободно-радикальные механизмы и провоцирующих окислительные стрессы [1; 2]. К АФК относят: очень токсичные – гидроксильный радикал (ОН), гидроксид ион радикал (ОН⁻) и супероксидрадикал (O²⁻) и менее токсичные – гидроксид ион кислорода (НО²⁻) и перекись водорода (H₂O₂) [3]. В живых клетках, в том числе и растительных, существуют механизмы противостоящие окислительному стрессу, так называемые антиоксидантные системы, включающие ферменты и низкомолекулярные соединения. Ключевыми ферментами можно рассматривать супероксиддисмутазу, каталазу и пероксидазу, связанных последовательно механизмом каталитического действия. Супероксиддисмутаза (СОД), КФ 1.15.11 осуществляет дисмутацию супероксидного радикала до перекиси водорода и кислорода, каталаза (КАТ), КФ 1.11.1.6 разрушает перекись водорода на воду и кислород [4], а пероксидаза (ПО), КФ 1.11.1.7 окисляет широкий спектр восстановителей с участием H₂O₂ [5]. Совместное действие этих ферментов с низкомолекулярными антиоксидантами, такими как альфа – токоферол (витамин Е), восстановленный глутатион, аскорбат и др., обеспечивает защиту от АФК в живых организмах.

В литературе сообщается об активации ферментов – СОД и КАТ или ПО при увеличении адаптационных возможностей растений в различных неблагоприятных условиях, в том числе и при действии ксенобиотиков, однако не представлены данные об одновременной активации всех трех ферментов при действии токсичных концентраций загрязнителей. Сопоставление этих активностей в растениях в различных неблагоприятных условиях помогло бы разрешить вопрос об использовании их в биотестировании, который дискутируется в специальной литературе. С другой стороны, активация СОД и ПО может указывать на развитие окислительного процесса, особенно в случае фермента пероксидазы. Каталитический механизм действия этого фермента не является однозначно антиоксидативным. В последнее время ПО приписывают не только защитную роль от АФК, но и окислителя при детоксикации чужеродных соединений. Вопрос этот интересен в связи выявления первичных мишеней воздействия ксенобиотиков на растения и разработки биохимических тестов для обнаружения загрязнения окружающей среды. С этой целью в настоящей работе исследовали активность СОД, КАТ и ПО в озимой пшенице при добавлении в среду выращивания хлористого аммония в широком диапазоне концентраций, включая токсические. Проведен анализ изменения активности каждого фермента в разных частях растения – листьях и корнях, в субклеточных мембранных структурах и фракциях растворимых (цитозольных) и мембранных белков. Озимую пшеницу сорта Этюд выращивали в почвенной или водной культуре, при естественном освещении и температуре 22–27 °С. Полив и смену среды гидропоники проводили два раза в неделю. Хлористый кадмий (10^{-6} – 10^{-2} М) добавляли в среду (или в почву при поливе) в течение всей вегетации. Концентрация соли в каждом опыте различа-

лась десятикратно. Опыты с каждой концентрацией проводили в 2-х или 4-х кратной повторности. Растительный материал для выделения белков и субклеточных фракций отбирали через 12; 14; 27; 35 и 70 сут. Выращивание озимой пшеницы в присутствии хлористого кадмия в диапазоне испытанных концентраций 10^{-6} – 10^{-2} М показывало заметное влияние на рост и развитие растений в течение вегетационного периода. Действие меньших концентраций – 10^{-6} – 10^{-4} М, проявлялось в замедлении роста надземных частей и корней, которое отмечалось через 3–4 недели выращивания. По мере развития растений наблюдали разрастание мочковатой корневой системы пожелтение листьев. В водной культуре такие нарушения появлялись раньше, чем в почвенной. Высокие концентрации CdCl_2 – 10^{-3} – 10^{-2} М, оказывали губительное действие на озимую пшеницу в первые недели выращивания. Двухнедельные проростки озимой пшеницы, выращенные при указанных концентрациях кадмия в водной культуре, отставали в росте в 1,5–3 раза и содержали меньше белка и хлорофилла в листьях, по сравнению с контрольным вариантом. Надземная часть у таких растений желтела и погибала к концу третьей, а корни – к концу четвертой недели. В почвенной культуре растения гибли через 1,5–2 месяца. Как оказалось, морфометрические повреждения в озимой пшенице, вызванные высокими концентрациями кадмия, сопровождались усилением активностей антиоксидантных ферментов в листьях и корнях озимой пшеницы. Увеличение концентрации хлористого кадмия в среде выращивания озимой пшеницы сорта Этюд привело к замедлению роста растений, уменьшению содержания белка и хлорофилла в листьях и снижению скорости синтеза АТФ в изолированных хлоропластах. При избытке кадмия ($2,5 \times 10^{-2}$ М) и длительном действии меньших концентраций (10^{-6} – 10^{-4} М) увеличивалась активность ферментов супероксиддисмутазы, каталазы и пероксидазы в листьях и корнях.

Сравнение растворимых (цитозольных) и труднорастворимых (мембранных) белковых фракций, а также субклеточных структур, выделенных из проростков, показало активирование ферментов хлористым аммонием преимущественно в мембранных структурах – ядрах, субчастицах, митохондриях и хлоропластах. В хлоропластах ПОЛ в стрессовых условиях протекает весьма активно т.к. идет образование большого количества синглетного кислорода и пероксида водорода. Специфический липидный состав фотосинтетических мембран, включающий 75 % электронейтральных галактолипидов, 15 % фосфолипидов и 10 % сульфолипидов с большим содержанием ненасыщенных жирных кислот, обуславливает высокую скорость ПОЛ. Изменение конечных продуктов ПОЛ является одним из наиболее известных и доступных методов оценки структурных повреждений в растениях. Активные формы кислорода вызывают перекисное окисление ненасыщенных жирных кислот с образованием 4-гидроксинонена и малонового диальдегида (МДА). Эти продукты являются биотестами окислительного стресса. Предложен простой и дешевый способ тестирования устойчивости агроценоза к воздействию окислительного стресса путем колориметрической реакции МДА с тиобарбитуровой кислотой (ТБК) и спектрофотометрической оценкой уровня ПОЛ.

На основе проведенных исследований выявлены наиболее чувствительные и информативные показатели, которые могут быть использованы для оценки техногенного загрязнения компонентов окружающей среды. К таким показателям можно отнести: характеристики пигментного аппарата: в модельных условиях при действии низких доз поллютантов содержание фотосинтетических пигментов может повышаться, а при увеличении концентрации поллютанта – снижается. Показано, что возрастание антропогенной нагрузки приводит к усилению перекисного окисления липидов у изученных растений и формированию ответных реакций, связанных с возрастанием количества водорастворимых антиоксидантов. На основе теоретических и экспериментальных исследований, проведенных в рамках данного исследования, сформулированы основные научно-методологические подходы к разработке стратегии формирования агроценозов и прогнозирования их устойчивости.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Мальхотра, С. С., Хан, А. А.* Биохимическое и физиологическое действие приоритетных загрязняющих веществ // Загрязнение воздуха и жизнь растений / С. С. Мальхотра, А. А. Хан; под ред. Майкла Трешоу. – Л.: Гидрометеиздат, 1988. (Air Pollution and Plant Life / Edited by Michael Treshow. Utah, USA, Department of Biology, University of Utah, Salt Lake City. 1986).
2. *Дурмишидзе, С. В.* Биохимия растений и охрана окружающей среды / С. В. Дурмишидзе // Биотрансформация ксенобиотиков в растениях / Ред. О. Т. Хачидзе. – Тбилиси: Мецниере-ба, 1988.
3. *Скулачов, В. П.* Старение организма – особая биологическая функция, а не результат поломки сложной живой системы: биохимическое обоснование гипотезы Вейсмана / В. П. Скулачов // Биохимия. – 1997. – Т. 62. Вып. 11.
4. *Фридович, И.* Радикалы кислорода, пероксид водорода и токсичность кислорода / И. Фридович // Свободные радикалы в биологии / под ред. У. Прайер. – М.: Мир, 1979. – Т. 1. (Free Radicals in Biology / Edited by William A. Pryor. New York San Francisco. London: Acad. Press, 1976).
5. *Gaspar, T., Penel, C., Thorpe, T., Greppin, H.* Peroxides. 1970–1980: A Survey of Their Biochemical and Physiological Roles in Higher Plants. Geneve, Switzerland: Univ. De Geneve, Centre de Botanique. 1982.

**ЭКТОПАРАЗИТЫ ОХОТНИЧЬИХ ПТИЦ БЕЛАРУСИ
И ИХ ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ЗНАЧЕНИЕ**
**ECTOPARASITES OF HUNTING BIRDS OF BELARUS
AND THEIR ENVIRONMENTAL VALUE**

Ю. Г. Лях, М. А. Солодкий
Yu. Lyakh, M. Solodky

*Белорусский государственный университет, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ,
г. Минск, Республика Беларусь
yury_liakh.61@mail.ru
Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus*

Эктопаразиты имеют широкое распространение в мире и являются типичными представителями паразитофауны. Ареал их паразитирования распространен на все виды земной фауны. Не исключением являются и птицы. Изучению эктопаразитов пернатых и заболеваний, которые они вызывают, посвящено огромное количество работ как в Беларуси, так и за ее пределами. Особенно подробно изучены паразитозы домашней (сельскохозяйственной) и декоративной птицы. На основании таких исследований разработано большое количество эффективных антигельминтных препаратов и схем их применения. Дикие виды птиц, в том числе и охотничьи, долгое время оставались за пределами интересов паразитологов. Если исследования и проводились, то они имели эпизоотический характер и, как правило, не систематизировались. В Беларуси паразитоценозы охотничьих птиц практически не изучены. В стране, где охотой увлекается около 50 тыс. чел. и добывается достаточное количество пернатой дичи, благополучие по паразитарным заболеваниям среди охотничьих птиц должно быть гарантировано.

Ectoparasites are widespread in the world and are typical representatives of the parasitic fauna. The area of their parasitization is distributed to all types of terrestrial fauna. No exception are birds. A huge number of works both in Belarus and abroad are devoted to the study of ectoparasites of birds and the diseases they cause. The parasitosis of domestic (agricultural) and decorative poultry has been studied in detail. Based on such studies, a large number of effective anthelmintic drugs and schemes for their use have been developed. Wild bird species, including hunting birds, have long remained outside the interests of parasitologists. If research was carried out, they were epizootic in nature and, as a rule, were not systematized. In Belarus, the parasite cenoses of hunting birds are practically not studied. In a country where about 50,000 people are keen on hunting and a sufficient number of game birds are caught, the well-being of parasitic diseases among hunting birds should be guaranteed.

Ключевые слова: паразитоценозы, эктопаразиты, охотничьи водоплавающие птицы, паразитарные болезни, лабораторная диагностика, степень инвазии, профилактические мероприятия.

Keywords: parasitic, ectoparasites, hunting waterfowl, parasitic diseases, laboratory diagnostics, degree of invasion, preventive measures.

Вопросы изучения эктопаразитов птиц и паразитоценозов, их гнезд в крупных городах приобретают в последние годы все большее значение, привлекая внимание зоологов. Эктопаразиты и симбиотические микроартроподы, охватывая все больший круг видов птиц-хозяев, представляют собой, реальную угрозу человеку. В нашем случае под микроартроподами мы подразумеваем сборную группу мелких членистоногих, включающая клещей, коллембол, многоножек-симфил, мелких жуков-ощупников и их личинок, которые обитают в гнездах пернатых. Состав и характер распределения микроартроподов в гнездовых определяется их месторасположением.

Охота на птиц достаточно распространена, что правомерно обращает на себя внимание к их изучению. Они хорошо заметны, многочисленны и к тому же являются одним из древнейших резервуаров возбудителей болезней (вирусной, бактериальной или грибковой природы), опасных как для человека, так и животных.

Ряд видов птиц относится к числу синантропных, они тесно контактируют с жильем человека и домашними животными. Плотность популяций многих видов птиц очень высока, что создает благоприятные условия для развития эпидемий и эпизоотий в крупных населенных пунктах. В период сезонных миграций птицы миллионными стаями, дважды в год пересекают страны и континенты, перенося с собой адаптированных к их организмам возбудителей инфекционных и инвазионных болезней. В это время происходит распространение популяций возбудителей и среди самих птиц, относящихся к различным экосистемам. Перенос возбудителей реализуется за счет хронических и латентных форм инфекции.

Основной целью данной работы являлось изучение видового состава эктопаразитов, свободноживущих микроартропод и выявление биоценологических связей охотничьих птиц с ними.

Отдельным вопросом стояло определение эпидемиологического и эпизоотологического значения охотничьих водоплавающих птиц в качестве переносчиков эктопаразитов как одного из основных источников патогенных микроорганизмов.

Для достижения этой цели были поставлены следующие задачи:

- изучить состав эктопаразитов и микроартропод охотничьих водоплавающих птиц;
- изучить биоценотические связи охотничьих водоплавающих птиц с эктопаразитами;
- определить эпидемиологическое и эпизоотологическое значение водоплавающих птиц как переносчиков экто- и эндопаразитов.

Водоплавающими считаются птицы, которые умеют держаться на поверхности воды. Таким образом, далеко не все птицы, ведущие водный образ жизни и добывающие пропитание в водоемах, относятся к водоплавающим. Яркое подтверждение этому – журавли и аисты. Пищу они добывают преимущественно на мелководье – на болотах или в прибрежной полосе озер. Им нет необходимости держаться на воде, так как пищу они захватывают длинным клювом. Поэтому нет у них особенностей строения ног, характерных для водоплавающих птиц – перепонки между пальцами, которые играют роль ласт. Другая отличительная особенность, которую имеют водоплавающие птицы – плотное оперение и наличие особой сальной железы, секрет которой должен смазывать перья, предотвращая их от намокания.

Человечество, принимая соответствующие законы по сохранению видового разнообразия пернатых, не в состоянии предусмотреть все нюансы и численность птиц отдельных видов сокращается.

В качестве примера приведем некоторые регионы России, где водоплавающая птица всегда имела в огромных количествах. К таким регионам можно отнести Заполярье, Дальний Восток и прилегающие к ним территории. Придерживающиеся традиционного быта коренные народы севера в сезон охоты заготавливали таких птиц буквально тысячами. Потом их коптили, солили, замораживали на ледниках и питались их мясом в долгую полярную зиму. Современный север, по свидетельству северян, стал значительно беднее в этом отношении, причем положение изменилось примерно в последние 25–30 лет. Что тому виной – то ли неконтролируемая охота, то ли уничтожение мест гнездовий, то ли еще какой-то неучтенный фактор – орнитологи пока не выяснили [1].

Эта выдержка из электронного интернет-ресурса обращает на себя внимание тем, что в местах, где постоянно были огромные скопления водоплавающих птиц (некоторые регионы России) их стало значительно меньше. В этой связи орнитологи, пытаясь найти более-менее веское объяснение этому явлению, указывают на проведение неограниченных охот, уничтожение мест гнездования и т. д. Однако роль других факторов, к примеру, патогенное влияние экто-, эндопаразитов и других паразитических форм они не берут во внимание.

Включая механизмы активизации защитных реакций экто- и эндопаразиты, с целью сохранения себя как вида, становятся все более приспособленными и неуязвимыми. Поэтому на все паразитические организмы, особенно в последние два десятилетия, необходимо смотреть совершенно по-другому. Человечество разработало и применяет против них огромный арсенал химических, биологических антгельминтиков, в мире их производят и используют миллионами тонн. На генетическом уровне все паразитические организмы в течение всего периода своего существования доводили до совершенствования все свои системы жизнедеятельности. Этот процесс не останавливался ни на минуту. Продолжается он и сейчас. Применение ветеринарными специалистами в животноводстве, врачами в медицинской практике огромного арсенала противопаразитарных препаратов оставило паразитическим организмам один шанс – приспособляться. И они этим шансом воспользовались. То что это так, можно определить по снижению лечебного для организма животного или человека и губительного для экто- и эндопаразитов действия того или иного препарата.

По аналогии с некоторыми регионами России точно такая же проблема просматривается и среди водоплавающих птиц, обитающих в Беларуси. Несмотря на то что у нас в республике по-прежнему сохраняется тенденция нормализации мест обитания водоплавающих птиц в целом, а охотничьих водоплавающих в частности регистрируется характер снижения их популяций. Заметно это прежде всего по числу добытых птиц в период сезонных охот. Отсутствие постоянно возрастающей динамики добычи водоплавающей дичи не позволяет вести речь о росте их популяций.

Это нельзя отнести ко всем видам охотничьих водоплавающих птиц. Некоторые из них, такие как серая утка и кряква, обладая наибольшей пластичностью и устойчивостью к неблагоприятным факторам внешней среды, довольно комфортно себя чувствуют, что даже пытаются оставаться в Беларуси на зимовку.

Численность популяций этих видов по отношению к более уязвимым, находятся на относительно постоянном уровне. Тем не менее, плановые учеты водоплавающих птиц которые ежегодно проводятся в охотничьих хозяйствах Беларуси, увеличения их численности не фиксируют [2; 3].

В связи с этим мы имеем полное основание вести речь о присутствии определенного прессинга на водоплавающих птиц со стороны паразитоценозов.

Паразитарные заболевания всегда протекают в хронической форме. Эта одна из многочисленных особенностей паразитических организмов выжить, дать миллиардное потомство и тем самым сохранить себя как вид. При всем этом хозяин продолжает жить вместе с паразитическим организмом. В редком исключении, при обильной инвазии организм хозяина погибает, соответственно погибает и находящийся там паразитический объект.

Именно по этому присутствие инвазии у того или иного организма (водоплавающих птиц) установить сложно. В отличие от паразитарных, инфекционные болезни протекают в острой и подострой форме, вызывая при

этом поражение большого поголовья птицы. В зависимости от вида возбудителя (вирус, бактерия) и от его патогенности болезнь заканчивается гибелью большого числа птицы, а это в свою очередь не остается без внимания человека.

Перенос птицами эктопаразитов как составной части микроартропод важен для понимания процессов формирования фауны вообще, а изучение этой группы живых существ в гнездах водоплавающей птицы в частности. Важность изучения этих объектов состоит в установлении их видового состава, а это в свою очередь позволит оценить значение каждого вида для возможного возникновения эпизоотий. Давно известно, что вспышки эпизоотий среди живых существ, как правило, начинались незначительными и мало заметными для людей изменениями внутри популяций животных обитающих рядом с человеком.

Паразиты на теле у птиц достаточно частое явление. Некоторых можно увидеть невооруженным глазом, других надо рассматривать при помощи оптического оборудования. В основном эктопаразиты повреждают пух и перьевой покров птицы.

Пухоеды – мелкие наружные паразиты птиц (пухоеды и пероеды). В отличие от вшей, на которых пухоеды несколько похожи, не сосут кровь, а питаются перьями, чешуйками рогового слоя кожи и возникающими в местах расчесов струпьями. Некоторые заглатывают выступающие из расчесов капли крови. Это довольно подвижные, особенно в ранних возрастах, насекомые, отличающиеся плоским телом и огромной треугольной головой. Ротовые органы у пухоедов грызущие, смещенные на нижнюю поверхность головы. Покровы у большинства пухоедов плотные, желтоватые или темные.

Среди пухоедов, которых известно около 2500 видов, только около 60 паразитирует на млекопитающих (власоеды), но на человеке власоеды не паразитируют.

Для большинства пухоедов характерна строгая приуроченность к хозяину – птице определенного вида. Заражение происходит при контакте птицы-хозяина с другими особями того же вида.

Птенцы обычно заражаются пухоедами от родителей. Довольно часто ослабленные птенцы и молодые птицы бывают даже сильнее заражены, чем взрослые особи, которые тщательно чистят себе перья, выбирая из них пухоедов.

Когда птица погибает, погибают и находящиеся на ней пухоеды, приспособленные к паразитическому образу жизни только при той высокой температуре, которая создается под покровом перьев хозяина.

Пухопероеды, чаще всего, выглядят как маленькие, темные черточки, 1,5–2 мм длиной, они видны невооруженным взглядом. Некоторые из них довольно крупные. Так, например, на утках паразитирует *Trinotum luridum* – 4–5 мм длины, а на орлах встречается достигающий 1 см в длину *Laemobothrium titan* – гигант среди пухоедов.

Известно, что пухоеды в массе размножаются на ослабленных птицах, которые не в состоянии постоянно очищать себе перья. Размножение и паразитирование пухоедов на птице, в свою очередь, ведет к ее истощению. Такие птицы, теряя естественную резистентность, как правило, погибают от инфекционных заболеваний.

Признаком поражения птицы пухоедами являются характерные повреждения перьев (в виде отверстий, напоминающих прострочку), кончики опахала «изъедены».

Другие эктопаразиты (перьевые клещи) живут ближе к телу птицы и повреждают перо в области стержня. Они очень мелкие, медленно передвигаются.

Очинные клещи поражают новые перья, в основном рулевые и хвостовые. Перья часто ломаются, вплоть до кровотечения. Впоследствии перья неправильно формируются. Для постановки диагноза требуется микроскопия, так как клещей можно увидеть только под микроскопом [4; 5].

Наши исследования посвящены установлению видового разнообразия эктопаразитов, носителями которых являются виды птиц, обитающих в охотничьих хозяйствах. Не обойдены вниманием и те охотничьи птицы, миграционные пути которых пролегают через многие страны, в том числе и через Республику Беларусь.

Выбор изучения эктопаразитов в оперении и гнездах охотничьих птиц сделан по причине учащения случаев добычи пернатой дичи в период проведения сезонных охот. Эндopазиты регистрировались как у гнездящихся птиц, так и у птиц, добытых на пролете. Особое опасение вызывает снижение количество яиц в кладке утиных видов пернатых. Выводки у них, за малым исключением, немногочисленные. В данной ситуации ответственными за это могут быть и глистные инвазии. В этой связи, добытые экземпляры птиц нами подвергаются полному паразитологическому обследованию, а в некоторых случаях отбирается материал для бактериологического исследования в условиях профильных лабораторий.

Каждую добытую на охоте птицу сразу же помещали в отдельный полиэтиленовый пакет. Пакеты плотно завязывали, для препятствования переползания наружных паразитов с одной птицы на другую и ухода с тела добытой птицы. Особо это касается подвижных форм и видов паразитов (пухоедов, блох, кровососок). Все результаты обследования регистрировали в рабочем журнале. В журнал вносили дату и место добычи птицы. Затем определяли вид, пол, возраст добытого экземпляра, его вес и метрические характеристики. Эти данные также записывали в журнал.

Перед исследованием в пакеты с птицами, принесенными с охоты, помещали вату, смоченную хлороформом. Через несколько минут над белым листом плотной бумаги из пакетов достаем птиц, а пакеты вытряхиваем и собираем паразитов, разделяя их по систематике в подписанные пробирки. Пробирки заполняли фиксатором (70 % этиловый спирт). После этого приступали к тщательному осмотру оперения и кожных покровов тушки птицы.

Всего за 2018 г. нами было обследовано добытых на сезонных охотах 15 особей серой утки (*Anas strepera*), 18 – кряквы обыкновенной (*Anas platyrhynchos*), 3 чирка-свистунка (*Anas crecca*), 1 широконоска (*Anas clypeata*), 1 особь серого гуся (*Anser anser*) и 1 особь куропатки серой (*Perdix perdix*). Все птицы добыты в период сезонных охот.

В результате исследований на тушках серых уток, кряквы обыкновенной и серого гуся обнаружены эндопаразиты – маллофаги *Menacanthus stramineus* семейства *Menoponidae*.

В сентябре начинается отлет уток и гусей. Эти птицы в основной массе зимуют в Закавказье, на юге Каспия, на Азовском и Черном морях, а также других исторически сложившихся местах. Некоторые виды уток, гусей зимуют на территории бывших республик СССР, пути их миграции проходят через Черноморское побережье. Одни из них остаются на зимовку, а некоторые продолжают свой путь. Как раз в этом и состоит роль этих пернатых в качестве основных переносчиков паразитарных и инфекционных болезней.

ЛИТЕРАТУРА

1. Интернет источник. <http://fb.ru/article/64975/vodoplavayuschie-ptitsyi>.
2. Лях, Ю. Г. Животный мир и его сохранение / Ю. Г. Лях // Состояние природной среды Беларуси. Экологический бюллетень 2010. – Минск, 2011. – С. 272–276.
3. Лях, Ю. Г. Зараженность водоплавающих птиц озера Нарочь паразитами и возбудителями бактериальных инфекций / Ю. Г. Лях, Е. Э. Хейдорова // Актуальные проблемы интенсивного развития животноводства: сб. науч. тр. – Ч. Горки, 2011. – Вып. 14. – С. 127–132.
4. Акбаев, М. Ш. Паразитология и инвазионные болезни животных / М. Ш. Акбаев, А. А. Водянов, Н. Е. Косминков и др.; под ред. М. Ш. Акбаева. – М.: Колос, 1998. – 743 с.
5. Лях, Ю. Г. Влияние инвазий на сохранение популяций водоплавающих птиц в Республике Беларусь / Ю. Г. Лях, К. Д. Нападовская // Сахаровские чтения 2018 года: экологические проблемы XXI века: материалы 18-й междунар. науч. конф., 17–18 мая 2018 г., г. Минск, Республика Беларусь: в 3 ч. / МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ; под ред. С. А. Маскевича, С. С. Позняка. – Минск, 2018. – Ч. 2. – С. 151–152.

СЕРЫЙ ГУСЬ (*ANSER ANSER*) – ПРЕДСТАВИТЕЛЬ ОХОТНИЧЬИХ ПЕРЕЛЕТНЫХ ПТИЦ БЕЛАРУСИ И ЕГО ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ РОЛЬ В РАСПРОСТРАНЕНИИ ИНВАЗИОННЫХ БОЛЕЗНЕЙ

GRAY GOOSE (*ANSER ANSER*) – REPRESENTATIVE OF HUNTING MIGRATORY BIRDS OF BELARUS AND ITS ECOLOGICAL ROLE IN THE DISTRIBUTION OF INVASIVE DISEASES

Ю. Г. Лях, Е. А. Сухоцкая
Yu. Lyakh, E. Sukhotskaya

*Белорусский государственный университет, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ,
г. Минск, Республика Беларусь
yury_liakh.61@mail.ru*

Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus

В материалах приведено краткое описание видового разнообразия охотничьих птиц, обитающих на территории Беларуси. Отдельное внимание уделено перелетным охотничьим птицам, которые совершают ежегодные миграции. За этот период они преодолевают большие расстояния, и путь их лежит через многочисленные страны и континенты. Поскольку паразитарные заболевания регистрируются у всех видов пернатых, охотничьи перелетные птицы не являются исключением. Являясь основными и промежуточными хозяевами возбудителей паразитарных болезней, охотничьи, в том числе и водоплавающие, птицы учувствуют в переносе и распространении инвазий. В этой связи изучение носительства возбудителей паразитарных болезней охотничьими птицами, обитающих на территории Беларуси, в нашем случае на примере серого гуся (*Anser anser*), крайне актуально, поскольку позволит уточнить видовой состав паразитических организмов и степень заражения среди птицы. Кроме этого, мониторинг паразитоносительства дает возможность прогнозировать возникновение того или иного паразитоза и своевременно разработать профилактические мероприятия.

The materials provide a brief description of the species diversity of hunting birds living on the territory of Belarus. Special attention is paid to migratory hunting birds that make annual migrations. During this period, they travel long distances, and their path lies through numerous countries and continents. Since parasitic diseases are recorded in all species of birds, hunting migratory birds are no exception. Being the main and intermediate hosts of the parasitic diseases causative agents of hunting, including waterfowl, birds participate in the transfer and spread

of invasions. In this regard, the study of the carriage of pathogens of parasitic diseases by hunting birds living in the territory of Belarus in our case using the example of the gray goose (*Anser anser*) is extremely important, as it will allow to clarify the species composition of parasitic organisms and the extent of infection among birds. In addition, monitoring of the parasitic carrier makes it possible to predict the occurrence of one or another parasitosis and to develop preventive measures in a timely manner.

Ключевые слова: пути миграции, водоплавающие птицы, серый гусь, паразитарные болезни, лабораторная диагностика, степень инвазии, профилактические мероприятия.

Keywords: migration routes, waterfowl, gray goose, parasitic diseases, laboratory diagnostics, degree of invasion, preventive measures.

Исторически подтверждено, что изучение эпизоотической ситуации по инфекционной и инвазионной патологии среди сельскохозяйственных животных диких зверей и птиц в ряде случаев позволяло предотвратить возникновение эпизоотий и избежать огромных экономических потерь.

Таких примеров множество, но из последних – это угроза возникновения в Республике Беларусь птичьего гриппа и африканкой чумы свиней. В обоих случаях тщательный мониторинг эпизоотической ситуации, разработка мероприятий по профилактике и недопущению распространения этих болезней позволило избежать финансовых убытков для нашей страны.

Территория Беларуси покрыта многочисленными реками, озерами и водохранилищами. Широко развитая сеть мелиоративных каналов и наличие искусственно созданных водоемов позволяет вести речь о стране, где имеются идеальные возможности обитания многочисленных видов водоплавающих птиц. К настоящему времени на территории Республики Беларусь зарегистрировано 310 видов птиц, из которых 227 гнездятся, 42 относятся к видам периодически регистрируемым, 28 встречаются во время миграций, 9 зимующих видов. Благодаря теплым зимам, которые участились в Беларуси за последние годы, число зимующих видов, а скорее всего зимующих птиц увеличивается. В основном это птицы из семейства Утиных (*Anatidae*). Птицы этого семейства, отряда гусеобразных включают три подсемейства: полуплапчатые гуси, гуси и утки, всего 150 видов. Из них 25 охотничьих, с которыми наиболее часто контактирует человек. Добытые на охоте пернатые этих видов могут явиться причиной возникновения болезней у домашней птицы или человека.

Птицы в эволюционном отношении – один из древнейших резервуаров возбудителей болезней как инфекционной, так и паразитарной этиологии. Этому способствуют особенности их жизнедеятельности и, в первую очередь, колониальность. Благодаря такому образу обитания достигается высокая численность особей на ограниченной территории и на длительный период. Проблемой переноса возбудителей болезней, равно как и инвазивных видов животных, семян растений, люди интересовались постоянно и по многим причинам. Именно перелетным птицам во многом обязаны своим существованием некоторые природные очаги болезней и генетическая изменчивость возбудителя [1; 2].

Для птиц, в том числе и водоплавающих, вообще не существует границ. В короткий промежуток времени они могут перенести инфекционного агента в любой уголок страны [3].

Миграция пернатых в определенной степени несет угрозу в плане переноса возбудителей заболеваний.

Активно действующая структура охотничьих хозяйств Беларуси позволяет достаточно продуктивно использовать ресурс водоплавающей птицы. В Беларуси их около 17 видов. В основном это кряковые утки, которых в республике насчитывается около 650–680 тыс. и ежегодно добывается более 110 тыс. особей.

Одновременно, по данным Национального статистического комитета Республики Беларусь, поголовье домашней птицы в крупных сельскохозяйственных организациях республики в 2018 г. составило 50,7 млн. голов. В Беларуси наблюдается тенденция увеличения численности птицы как в общественном секторе хозяйствования, так и в личном пользовании граждан. Только за последний год это увеличение составило 12,5 %.

Естественно, возникновение инфекционных болезней среди такого поголовья птицы может нанести огромный экономический ущерб сельскому хозяйству и стране в целом. В связи с этим мониторинг паразитоносительства среди птиц, в том числе и диких водоплавающих как потенциальных источников болезней в нашей республике, является актуальным и должен носить постоянный характер.

Особенно это касается водоплавающих птиц, которые в основном ведут колониальный, как мы приводили ранее, образ жизни. Скопление большого количества особей на определенной площади водоема создает оптимальные условия перезаражения. Водная среда и береговая линия водоема с прилегающими пойменными лугами в летний период года является идеальной средой обитания промежуточных хозяев большинства паразитических червей.

Семейство утиных (*Anatidae*) обладает теми признаками, которые придают им особую привлекательность в плане хозяйственного использования. Ряд биологических особенностей, в отличие от других представителей данного класса – скороспелость, небольшие затраты корма на единицу прироста живой массы, высокая жизнеспособность, неприхотливость, способность к быстрому поглощению и перевариванию растительности и кормов с высоким содержанием клетчатки. Совокупность этих отличительных показателей дает возможность их выращивания, как на крупных специализированных фермах, так и в личных приусадебных хозяйствах. Разведение

представителей из данного семейства достаточно выгодно за счет возможности производства и реализации различных видов продукции в сравнительно короткий срок.

В Беларуси гусе- и утководство стали традиционными за счет благоприятных для семейства утиных климатогеографических условий, наличия большого количества водоемов и пойменных лугов. Эти места обитания регулярно посещают и их дикие сородичи. Перезаражение может наступить от домашних водоплавающих к диким и наоборот.

В течение последних лет произошли коренные изменения в разведении утиных: крупных хозяйств практически не осталось, а главенствующими стали фермерские и индивидуальные хозяйства. Данный факт делает проблему распространения болезней водоплавающих птиц, особенно гельминтозов, наносящих огромный ущерб птицеводству крайне важной для ветеринарной службы. Как правило, в схемах противопаразитарных обработок указаны все половозрастные группы домашней водоплавающей птицы, особенно маточное поголовье и молодняк, который идет на комплектацию птицеводческих хозяйств и групп воспроизводства птицы. Молодняк, по причине крайне быстрого достижения ими технологического веса (утята – 2,5 мес.) достаточно редко, особенно на частных подворьях, подвергаются дегельминтизации, в результате чего иногда массово заболевает и погибает.

Паразитофауна водоплавающих птиц состоит из более чем 100 видов гельминтов. По данной проблеме в Беларуси имеется незначительный разрозненный материал касающийся вопросу паразитарных болезней домашних водоплавающих птиц.

Научные работы по изучению видового разнообразия паразитофауны диких водоплавающих птиц, обитающих в Беларуси, определению цикла их развития и других особенностей велись крайне ограниченно и не постоянно.

Комплексные научные работы в области изучения паразитоценозов практически отсутствуют. **Паразитоценоз** – совокупность всех паразитов, населяющих организм хозяина, его различные органы и части тела. В состав паразитоценоза могут входить грибы, бактерии, простейшие, гельминты, клещи, насекомые. Эти организмы, являясь сочленами паразитоценоза, находятся в постоянном взаимодействии между собой и оказывают комплексное влияние на организм хозяина. Одновременно организм хозяина, своими защитными реакциями на патогенное влияние отдельных паразитов, так же оказывает специфическое воздействие. Оно проявляется формированием видового состава представителей и течением паразитоценоза [4; 5].

Таким образом, изучение взаимоотношений между паразитом и хозяином позволит разработать специфические мероприятия по лечению и профилактике паразитарных заболеваний.

В целом, между отдельными представителями паразитоценоза складываются различные взаимоотношения: антагонистические, когда одни паразиты угнетают развитие других и снижают их патогенное влияние на организм хозяина; взаимовыгодные, синергические, когда при совместном паразитировании ускоряется развитие каждого паразита и усиливается их патогенное влияние на организм хозяина. В случае антагонистических взаимоотношений выключение одного из сочленов паразитоценоза может способствовать усилению патогенного влияния на организм хозяина его антагониста; при синергическом взаимоотношениях сочленов паразитоценоза выключение одного из них может способствовать уменьшению патогенного влияния на организм хозяина другого сочлена паразитоценоза.

Таким образом, изучение этого явления в целом открывает возможность активно и целенаправленно изменять представителей составляющих паразитоценоз и находить рациональные приемы профилактики и лечения паразитарных болезней. Такие приемы при глубоком изучении паразитоценоза могли бы в дальнейшем избежать применения антгельминтиков, а они далеко не безвредны для макроорганизма.

Если по вопросу распространения ассоциативных болезней (бактерии+вирусы+гельминты) домашними водоплавающими птицами достаточно много сделано в плане научных исследований, в том числе и в Беларуси, то дикие водоплавающие птицы как объекты исследований остались без внимания паразитологов. Методом аналогов экстраполировать эти результаты на диких водоплавающих птиц и применить их на практике не представляется возможным.

Остались не изученными и основные клинико-морфологические характеристики некоторых ассоциативных (гельминтозных, бактериально-гельминтозных) болезней, которые имеют место у диких водоплавающих птиц. Появление большого количества диких водоплавающих с признаками патологии, особенно в период зимовок, дают основание вести речь о присутствии многочисленных патогенных факторов в организме пернатых.

Изучение эффективности разработанных и применяемых в птицеводстве антгельминтиков на динамику естественного энтеробиоценоза и болезней бактериально-гельминтозной этиологии позволило бы оздоровить птиц, которые предпочли остаться зимовать на незамерзающих водоемах Беларуси.

Практически не изучены вопросы эпизоотологии гельминтозов и не разработаны методы лечения смешанных инвазий.

Актуальной проблемой современной паразитологии является изучение условий формирования, устойчивости и динамики зоонозов, связанных с миграцией птиц.

Научный интерес представляет выяснение конкретных причин и механизмов поддержания природных очагов гельминтозов, путей глобального распространения инвазии и освоение ими новых территорий. Эти проблемы становятся важнейшими долгосрочными задачами современной паразитологии.

Из предложенной выше информации следует, что диагностические и лечебно-профилактические мероприятия должны основываться на результатах научных исследований, поэтому изучение и установление роли охотничьих перелетных птиц в переносе возбудителей паразитарных болезней крайне актуальна.

Объектом исследований мы выбрали охотничий вид водоплавающей птицы – серого гуся (*Anser anser*), добываемого в Беларуси в период массовых весенней и осенней миграций. Серый гусь – крупная птица, с плотным телосложением, относительно длинной шеей, небольшой головой, толстым клювом и умеренной длины ногами, снабженными плавательными перепонками. Встречается только в Восточном полушарии. Отличается от других гусей серой окраски более светлым оперением и очень узкой белой полоской у основания светлого клюва (иногда она вовсе отсутствует). Масса – до 6,6 кг. Обитает на юге Сибири, в лесных районах севера Европы, Прикаспии и Причерноморье.

Период миграции (перелета) у них достаточно долог и зависит от множества факторов. Основным из них является климатический. Не последнее место имеет фактор беспокойства и выбор места для периодических кормежек. Иногда остановки могут длиться до двух недель.

Территория Беларуси расположена на пути миграции этого вида пернатых, как и многих других. Временные остановки позволяют им подкрепиться, восстановить силы после тяжелого изнурительного полета. В пути гуси находятся около трех месяцев. Сначала они перелетают в южные области Восточной Европы (Украина, юг Беларуси, центральные и южные области России), затем постепенно смещаются в северо-восточном направлении. Гусиный рацион состоит в основном из растительной пищи.

Гуси наиболее подвержены различным заболеваниям по сравнению с другими водоплавающими птицами.

Для установления роли охотничьих перелетных птиц в переносе возбудителей паразитарных заболеваний и установления видового разнообразия паразитофауны нами был проведен сбор материала (помет гусей на местах кормежки) с последующим лабораторным исследованием.

Для нахождения гельминтов в экскрементах мы использовали классические методы (метод последовательных промываний, флотационные методы). После этого полученный материал микроскопировали.

Половозрелые гельминты очень плодовиты и выделяют потомство в виде яиц, личинок и члеников во внешнюю среду с пометом. Их обнаруживают в крови, коже, мышцах, сухожилиях, истечениях из глаз. Поэтому для диагностических лабораторных исследований животных нельзя предложить универсальный метод, необходимо выбирать его в зависимости от локализации гельминтов, биологического цикла развития и принадлежности их к тому или иному классу, подотряду, семейству. Диагноз на гельминтозы ставят комплексно по клиническим признакам, эпизоотологическим данным, гельминтологическим вскрытиям и лабораторным методам исследований животных.

Как правило, присутствие в организме животного паразитарных болезней при определенных навыках можно установить по их внешнему виду. В основном сильная степень инвазивности организма животного ведет к снижению защитных его сил, исхуданию, теряется блеск оперения, оно взъерошено. Животное имеет неестественный вид. Однако видовую принадлежность паразита и степень поражения организма животного можно определить исключительно лабораторными методами.

Лабораторные методы исследования наиболее эффективны и достоверны. Прижизненная диагностика гельминтозов лабораторными методами исследования проводится методами гельминтоскопии обнаружением гельминтов или их фрагментов в фекалиях, выделениях из глаз, носовых истечениях. Яйца гельминтов обнаруживают методами гельминтоооскопии, а личинки гельминтов методами гельминтоларвоскопии.

В результате наших исследований в помете серых гусей, которые останавливались для кормежки и отдыха на полях озимых злаковых, обнаружены яйца нематод *Amidostomum anseris*.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лях, Ю. Г. Носительство возбудителей бактериальных инфекций среди водоплавающих птиц в Беларуси / Ю. Г. Лях, А. Н. Гринек, С. Г. Нестерович, А. В. Морозов // 16-я Междунар. науч. конф. «Сахаровские чтения 2016 года: экологические проблемы XXI-го века», 19–20 мая 2016. – Минск, 2016. – С. 178.
2. Лях, Ю. Г. Экологическое значение водоплавающих птиц в эпизоотическом благополучии Республики Беларусь / Ю. Г. Лях, А. Н. Гринек // 17-я Междунар. науч. конф. «Сахаровские чтения 2017 года: экологические проблемы XXI века», 18–19 мая 2017. – Минск, 2017. – С. 33–34.
3. Лях, Ю. Г. Особо охраняемые природные территории Беларуси и роль водоплавающих птиц в сохранении эпизоотического благополучия / Ю. Г. Лях // Материалы II-й Междунар. науч.-практ. конф. «Безопасность природопользования в условиях устойчивого развития». г. Иркутск, 19–21 ноября 2018. – Иркутск, 2018. – С. 157–162.
4. Лях, Ю. Г. Инфекционная патология среди охотничьих животных и водоплавающих птиц в Беларуси и ее профилактика / Ю. Г. Лях, А. В. Морозов, С. А. Иванов, Д. Л. Белянко // Междунар. науч.-практ. конф. «Актуальные проблемы экологии – 2010». – Гродно, 2010. – С. 119–121.
5. Литвинов, В. Ф. Паразитоценозы диких животных / В. Ф. Литвинов. – Минск, 2007. – 581 с.

**ОБЩЕОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ ПРЕДМЕТ «БИОЛОГИЯ»
И ЕГО ЗНАЧЕНИЕ В ВЫБОРЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ
GENERAL SUBJECT OF «BIOLOGY» AND ITS IMPORTANCE
IN THE CHOICE OF PROFESSIONAL ACTIVITY**

**Я. А. Марченко, Ю. Г. Лях
Ya. Marchenko, Yu. Lyakh**

*Белорусский государственный университет, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ,
г. Минск, Республика Беларусь
Yury_Liakh.61@mail.ru
Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus*

Профессиональное самоопределение является составной частью общего процесса самоопределения и характеризует личностную, профессиональную и социальную зрелость человека. Рассмотрены значимость биологии как общеобразовательного предмета, ключевые факторы профессионального самоопределения учащихся и роль профессионального просвещения на занятиях биологии. В своем большинстве установлено, что биологическое образование, а именно знания в области биологии (в рамках учебных программ), полученные человеком в раннем возрасте, закрепляются у него на всю жизнь. Чего нельзя сказать о некоторых других общеобразовательных предметах. Причина этого кроется в том, что человек сам является объектом природы, и все процессы, протекающие вокруг него, ему не чужды. Глубже познать природные явления и биологические процессы для человека является естественным продолжением получения знаний. В этой связи выбор профессии, которая косвенно или напрямую связана с биологией, является закономерным процессом развития человека как личности.

Professional self-determination is an integral part of the overall process of self-determination and characterizes a person's personal, professional and social maturity. This article examines the importance of biology as a general educational subject, the key factors of students' professional self-determination and the role of professional education in biology classes. For the most part, it has been established that biological education, namely, knowledge in the field of biology (as part of educational programs), obtained by a person at an early age is fixed on him for life. What can not be said about some other general subjects. The reason for this lies in the fact that man himself is an object of nature, and all the processes taking place around him are not alien. A deeper knowledge of natural phenomena and biological processes for a person is a natural continuation of the acquisition of knowledge. In this regard, the choice of profession, which is directly or indirectly related to biology, is a natural process of human development as a person.

Ключевые слова: биология, биологические процессы, выбор профессии, профессиональное самоопределение, гармоничное развитие личности, природные явления.

Keywords: biology, biological processes, choice of profession, professional self-determination, harmonious development of an individual, natural phenomena.

Биология занимает одно из ведущих мест в системе школьного образования как важное средство формирования биологических знаний в прикладных направлениях развития общества и духовно-мировоззренческой сфере людей. Она занимает особое место в системе естественно-научных дисциплин. Именно биология призвана формировать у подрастающих поколений понимание жизни как величайшей ценности – основу гуманистического мировоззрения. Изучение биологии способствует осознанию того, что сохранность биосферы – неперемное условие не только существования, но и развития человечества. При изучении данной дисциплины закладываются основы экологической культуры, формируется экологический стиль мышления, обеспечивается понимание научных принципов хозяйственной деятельности человека. Знание природных процессов и явлений, различных уровней организации материи, многообразия взаимодействий природных объектов и систем формирует в сознании учащихся единую научную картину окружающего мира [1].

Исключительно биология дает четкое понимание жизни как единственному процессу, к которому человек, на любом этапе своего развития должен относиться крайне бережно, поскольку биологические процессы на настоящем этапе развития науки и техники не обратимы. Необходимо понимание и принятие человеком жизни не в плане выживания, а исключительно в целях гуманного и цивилизованного прогрессирующего по всем жизненно важным направлениям.

В соответствии с этим преподавание биологии в общеобразовательных учреждениях должно быть направлено на овладение учащимися как умениями и практическими навыками, необходимыми для подготовки к жизни, продолжению образования, так и на овладение системой знаний о живой природе. В основном на биологическом образовании, которое более понятно растущему молодому человеку, базируются все остальные общеобразова-

тельные предметы. К примеру, первоначальные простейшие математические задачи основаны на биологически понятных предметах.

Возникновение интереса к биологии у значительного числа учащихся зависит в большей степени от того, насколько умело будет построена учебная работа. Педагогические навыки учителей, в данном случае, имеют главенствующую роль. Надо позаботиться, чтобы каждый ученик работал активно и увлеченно, и использовать это как отправную точку для возникновения и развития любознательности, глубокого познавательного интереса. Следует согласиться, что качество преподавания всех без исключения общеобразовательных дисциплин имеет прямую связь с качеством полученных учениками знаний и их закреплением.

Основная идея изучения биологии, которая доводится до сведения учащихся, заключается в следующем: «Заканчивая учебное заведение, Вы вступаете в самостоятельную жизнь, выбираете профессию, каждая из них в той или иной степени связана с природой, мы обязаны охранять природу, так как от каждого из нас зависит красота и благополучие Земли, на которой мы живем».

Выбор профессии – один из главных жизненных выборов, совершаемых человеком в юном возрасте, так как, выбирая профессию, он выбирает и образ жизни. Количество профессий в наши дни измеряется пятизначным числом, а их мир представляет собой подвижную картину. Выбирая будущую профессию, учащийся, как правило, делает упор на свои интересы, склонности, не учитывая при этом собственной адекватности требованиям той или иной сферы профессиональной деятельности.

Одна из важнейших целей работы преподавателя состоит в оказании помощи учащимся в определении своих жизненных планов, в создании условий для личностного развития учащегося и его самоопределения в выборе профессии в процессе обучения биологии. Опытный педагог в состоянии определить склонность того или иного ученика к выбору даже не профессии, это крайне многогранный спектр, а направления его интересов. Данная цель достигается через личностно-ориентированный подход к ученику. Не последняя, если не наоборот, задача в этом стоит перед родителями.

Главная цель такого обучения – развитие интеллектуальных и творческих способностей учащихся, нравственных ценностей с тем, чтобы выпускник был способен к самореализации, самостоятельному мышлению, принятию важных для себя решений. Задача преподавателя в этом контексте – воспитать активную, творческую личность, способную вести самостоятельный поиск, делать собственные открытия, решать возникающие проблемы, принимать решения и нести за них ответственность [2].

Данная задача решается на занятиях по биологии через получение учащимися знаний о живой природе; осознание учениками жизни как наивысшей ценности; овладение выпускниками знаниями в области практического применения биологических закономерностей; развитие личности учащихся, стремление к самообразованию.

В преподавании биологии следует придерживаться теорий развивающего и проблемного обучения, соединять проблемы биологии с другими науками естественного цикла, применять знания, умения и навыки, полученные на других занятиях для формирования профессиональной мотивации ученика.

Один из самых главных содержательных компонентов профессионально-ориентационной работы на занятиях по биологии – профессиональное просвещение. Оно подразумевает сообщение учащимся сведений о различных профессиях в области биологии, их отличительных особенностях, значении для общества, о потребностях в кадрах, условиях профессиональной деятельности, требованиях, предъявляемых профессией к психофизиологическим качествам личности, способах и путях приобретения профессии. К данному направлению также относится работа по вооружению школьников элементарными профессиональными умениями и навыками. Профессиональное просвещение можно проводить с применением рассказа или беседы о профессиях, связанных с биологией; использованием практических работ, демонстрацией предметов труда и профессиональных операций. Выполнение школьниками творческих работ, затрагивающих прикладные аспекты биологических наук, способствует развитию интереса к биологии как области практической деятельности и влияет на процесс профессионального самоопределения. Большое значение имеют игровые методы – профориентационные ролевые игры и упражнения [3].

Вся биологическая промышленность, сельское и лесное хозяйство, пищевая промышленность находятся на таком активном пике развития, что появление совершенно новых биологических специальностей стала нормой жизни. Как раз о таких специальностях, в особенности которые находятся на стыке двух и более наук, и следует вести повествование. Именно на таких специальностях человек способен более полно раскрыть свой творческий и промышленный потенциал.

Для обеспечения помощи учащимся в сознательном выборе профессии на уроках биологии целесообразно знакомить их с различными видами труда и профессиями, изучать склонности, особенности и профессиональные интересы учащихся, формировать у них общественно значимые мотивы выбора профессии, консультировать учащихся по вопросам, связанным с продолжением образования и трудоустройством.

Таким образом, в работе преподавателя биологии можно выделить следующие направления:

- профессиональное просвещение – ознакомление учащихся с областями трудовой деятельности в области биологии, профессиями и специальностями;
- профессиональное воспитание – формирование у школьников устойчивых профессиональных интересов к той или иной профессии;
- профессиональная активация – создание условий для практической пробы сил в различных сферах деятельности;

- профессиональная диагностика школьника – изучение личности ученика в целях профессиональной ориентации, формирования трудовых и профессиональных интересов;
- педагогическая профконсультация – рассказ ученику о видах трудовой деятельности, профессиях и специальностях, наиболее соответствующих его качествам, знаниям и склонностям.

Успех профессиональной ориентации на уроке биологии во многом зависит от умения преподавателя связать профориентационный материал с программным материалом, сформировать положительное отношение у школьников к труду, от его знаний и владений методами обучения. Вместе с тем эффективность профориентационной работы в преподавании зависит и от содержания профориентационного материала и особенности его включения в предмет.

Развить профессиональную мотивацию школьников в процессе обучения биологии можно, если использовать уроки следующих типов: «путешествие», «суд», игра, «круглый стол», диспут, конференция, размышление, исследование, экскурсия.

Знания элементарных основ биологии необходимы каждому ученику, так как они являются одним из показателей общей культуры человека. На занятиях повторения, систематизации и обобщения изученного материала можно знакомить учащихся со специальностями биологического профиля, которых на рынке труда сейчас очень много, с индивидуально-психологическими качествами и способностями, необходимыми для овладения этими профессиями [4].

Профориентационная работа при обучении биологии должна быть направлена на осуществление учащимися первичного элементарного анализа профессии. Она должна четко определить два основных момента: содержание профессии и необходимые для нее способности и умения.

В заключение, своевременно оказанная выпускникам профориентационная помощь выступает залогом гармоничного развития личности и является естественным завершением всего учебно-воспитательного процесса. Анализируя профориентационную работу в процессе обучения биологии можно выявить, что она направлена на становление профессионального самоопределения учащихся, формирование их профессиональной мотивации, развитие умений учениками осуществлять выбор и нести за него ответственность. Ведущим фактором в решении вопросов профессионального самоопределения учащихся выступают самостоятельные и индивидуальные творческие задания по биологии, выполняемые на занятиях и во внеурочной деятельности по предмету. А также большую роль оказывает обучение биологии, особенности преподавания которой позволяют реализовать идею связи обучения с жизнью, подготовки учащихся к сознательному выбору профессии.

Отдельным пунктом перед воспитательными и педагогическими коллективами стоят задачи не только наделить своих учеников набором определенных знаний, но и навыками их использования в жизни.

Особенно важно научить молодых людей реально оценивать сложившуюся экологическую ситуацию, и не в плане уже произошедшей катастрофы, а именно прогнозировать и предупреждать их возникновение.

Моделирование краткосрочных и долгосрочных рисков экологических нарушений с высокой степенью вероятности под силу людям, имеющим в данной области опыт и определенный багаж знаний. В жизни, как показывает практика, человеку достаточно знаний, полученных в процессе изучения биологии. А идеальный вариант, как и во всем – постоянное совершенствование.

Современный человек обязан не только знать, но и постоянно чувствовать личную ответственность за состояние окружающей среды. В связи с этим в Беларуси, с учетом мирового опыта, была разработана и внедряется Концепция образования в области окружающей среды. Она опирается на ведущие международные и отечественные документы и, соответственно, основой этого является биология.

Не лишено оснований осторожное заявление, которое можно сформировать по результатам анализа знаний студентов, зачисленных на первый курс институтов и университетов. Нельзя категорично заявлять обо всех выпускниках средних школ, однако можно констатировать то, что их знания в области глобальных, в том числе экологических, проблем в области сохранения здоровья человека и биосферы желали быть более существенными. В данном вопросе мы солидарны с рядом авторов [5; 6].

Как отмечают наши коллеги, у современной молодежи преобладают потребительские взгляды на природу, низок уровень восприятия экологических проблем как лично значимых, недостаточно развита потребность фактически участвовать в природо-охранной работе. Многие отождествляют охрану окружающей среды и рациональное природопользование с охранением отдельных природных комплексов и редких видов растений и животных [7].

К сожалению, приходится констатировать факты, когда человек, в силу своей невежественности, зачастую не по своей вине, а по причине того, что в период своего становления окружающие его члены общества не привили элементарных знаний биологии, а именно биологии жизни в гармонии с окружающей средой. Такие люди заметно выделяются из среды общества. Как правило, своим неадекватным отношением к окружающей среде. Такие члены общества в дальнейшем, при условии достижения им определенных должностных и карьерных вершин, становятся особенно нежелательными для гармонично развивающегося общества.

Иной раз последствия от их деятельности становятся крайне нежелательными и переходят в разряд экологических катастроф. Таких примеров, к сожалению, предостаточно. С этой целью таким людям, чтобы оградить свое общество от членов, которые по причине своей невежественности и безграмотности в плане непонимания простейших биологических процессов, уделяют большое внимание. На всех уровнях учебы и обучения человека в Беларуси используют постепенный – «от простого к сложному» метод преподавания биологии. Биология включает формирование современной естественнонаучной картины мира в совокупности с практической дея-

тельностью людей. В данном случае современные методы изучения живых объектов гармонично согласуются с классическими биологическими экспериментами.

Современный человек обязан не только знать, но и постоянно чувствовать личную ответственность за состояние окружающей среды. В связи с этим в Беларуси с учетом мирового опыта была разработана и внедряется Концепция образования в области окружающей среды. Она опирается на ведущие международные и отечественные документы и, соответственно, основой этого является биология.

Для обеспечения реализации на практике основных положений Концепции образования в области окружающей среды разработана Республиканская программа совершенствования в области окружающей среды, в которой сформулированы требования к содержанию образования, намечены основные пути достижения целей, стоящих перед системой образования в области окружающей среды.

ЛИТЕРАТУРА

1. Крылова, Н. Б. Культурология образования / Н. Б. Крылова. – М. : Народное образование, 2000.
2. Левиева, С. Н. Мир профессий / С. Н. Левиева. – М. : Молодая гвардия, 1985.
3. Леонтьев, Д. Е. Профессиональное самоопределение как построение образов возможного будущего / Д. Е. Леонтьев. – М. : 2001.
4. Утешкалиева, А. М. Проблемы развития экологического образования в современной средней школе / А. М. Утешкалиева, Р. Х. Джамалетдинов // Вестник «Хабаршы» АГУ им Х. Досмухамедова. – 2009. – № 3 (14). – С. 88–91.
5. Еремина, О.А. Информационные технологии в экологическом образовании школьников / О. А. Еремина // Дополнительное образование. – 2006. – № 6. – С. 43–46.
6. Рахматуллаева, М. Д. Научные основы формирования экологического воспитания на основе метапредметного подхода в общеобразовательных учреждениях / М. Д. Рахматуллаева, Р. Кадырова // Молодой ученый. – 2010. – № 10. – С. 302–305.
7. Лях, Ю. Г. Роль биологии как общеобразовательного предмета в формировании экологического восприятия окружающей среды / Ю. Г. Лях, Я. А. Марченко // V Междунар. науч.-практ. конф. «Зоологические чтения – 2019» г. Гродно, 20–22 марта 2019. – Гродно, 2019. – С. 175–177.

СОДЕРЖАНИЕ В ВЕГЕТАТИВНЫХ И ГЕНЕРАТИВНЫХ ОРГАНАХ МАЛИНЫ (*RUBUS IDAEUS L*) ⁹⁰Sr ПРИ ПОВЕРХНОСТНОМ ЕГО РАСПОЛОЖЕНИИ НА ПОЧВЕ

THE CONTENT IN VEGETATIVE AND GENERATIVE ORGANS OF RASPBERRY (*RUBUS IDAEUS L*) OF ⁹⁰Sr AT ITS SURFACE LOCATION ON THE SOIL

А. И. Мельченко, Т. Г. Гераськина, Е. А. Мельченко, М. А. Мазиров
A. Melchenko, T. Geras'kina, E. Melchenko, M. Mazirov

*Кубанский государственный аграрный университет, им. И. Т. Трубилина,
г. Краснодар, Российская Федерация
mail@kubsau.ru*

*Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilin,
Krasnodar, Russian Federation*

В связи с увеличением численности населения на планете и ростом его благосостояния требуется производить все больше энергии. Существует довольно много различных источников ее получения, один из них – атомная энергетика. Реакторы, используемые на АЭС, модернизируются, однако аварийные ситуации были в прошлом, они возможны и в будущем. Актуальность научной работы – полученный в полевых условиях экспериментальный материал позволит принять решение об использовании радиоактивно загрязненных сельхозугодий для производства продукции. Установлено, что листва малины отличается наибольшим накоплением ⁹⁰Sr, ягоды – наименьшим, наблюдается тенденция к постепенному увеличению содержания ⁹⁰Sr в вегетативных и генеративных органах малины. На основе экспериментальных данных, после расчета коэффициентов перехода, появится возможность составить прогноз о накоплении ⁹⁰Sr в различных органах растений и дать рекомендации о дальнейшем использовании сельскохозяйственных площадей.

Due to the increase in the number of people on the planet and the growth of its well-being, it is necessary to produce more energy. There are quite a few different sources of its production, one of them – nuclear power. The reactors used at nuclear power plants modernize, however, an emergency situation was in the past, they are possible in the future. Relevance of scientific work-the experimental material obtained in the field will allow to make

a decision on the use of radioactive contaminated farmland for production. It was found that raspberry leaves have the highest accumulation of ^{90}Sr , berries—the lowest, there is a tendency to a gradual increase in the content of ^{90}Sr in the vegetative and generative organs of raspberry. On the basis of experimental data, after calculating the transition coefficients, it will be possible to predict the accumulation of ^{90}Sr in various plant organs and make recommendations on the further use of agricultural land

Ключевые слова: радионуклид, почва, растения, миграция, накопление.

Keywords: radionuclide, soil, plants, migration, accumulation.

Растущее благосостояние человечества требует увеличения производимой энергии. Одним из источников энергии, к которому сформировалось довольно противоречивое отношение, является атомная энергетика. Аварийные ситуации, случившиеся на Чернобыльской АЭС и Фукусима 1, у некоторой категории людей усилили негативное к ней отношение. Однако другая часть человечества склонна к утверждению, что атомная энергетика, энергетика будущего и ее надо развивать, строить новые АЭС, разрабатывать более совершенные и безопасные реакторы. Тем более, что атомные электростанции, в оптимальном режиме работы, не влияют на современные экологические глобальные проблемы человечества, такие как «парниковый эффект», «кислотные дожди» [1]. Одной из главных причин возникновения «парникового эффекта» считается выделение в атмосферу большого количества углекислого газа. Основным его источником при производстве электроэнергии на тепловых электростанциях является сгорание мазута, каменного угля, природного газа, которые не применяются в виде топлива для АЭС. То есть при работе АЭС эти выбросы в атмосферу отсутствуют. Так же при сжигании ископаемого топлива образуются оксиды серы и азота, которые при взаимодействии с влагой атмосферы выпадают в виде «кислотных дождей». Отрицательные последствия для гидросферы и литосферы от этих осадков огромны [2].

Эксплуатация атомной электростанции также таит в себе угрозы для окружающей среды. В случае аварийных ситуаций на предприятиях атомной энергетики последствия для окружающей среды могут быть трагичными. Возможно масштабное радиоактивное загрязнение различных территорий, в том числе и сельскохозяйственных угодий. При этом возникает много вопросов, касающихся дальнейшего использования этих площадей в сфере сельского хозяйства. Научные исследования, направленные на решение этих задач, актуальны в настоящее время и в дальнейшем их значимость будет увеличиваться [3].

Цель научной работы: определить накопление в вегетативных и генеративных органах малины ^{90}Sr при его расположении на поверхности почвы.

Малина является одной из ведущих ягодных культур. В России площадь под этой культурой постепенно увеличивается, так как плоды ее являются ценнейшим продуктом питания. Ягоды этого растения всегда пользуются спросом у населения. Кроме того, что плоды малины привлекательны по внешним признакам, так они еще обладают и приятным вкусом, тонким неповторимым ароматом, тонизирующим действием на организм.

Ягоды малины содержат в среднем 0,8 % белков, 8–10 % сахаров, 5,5 % клетчатки, 1,7 % органических кислот. Из минеральных веществ в них присутствуют калий, кальций, фосфор, железо, из витаминов – А, С, В₁, В₂, РР. Малина содержит салициловую кислоту и антибиотики, которые благоприятно действуют при простудных заболеваниях.

Опыты проводились в Краснодарском крае на почве – чернозем выщелоченный малогумусный, сверхмощный [4].

Все работы по подготовке территории проводились очень тщательно с соблюдением однородности условий [5]. С обеих сторон опытного участка расположены защитные растения. С учетом сказанного, полевые опыты заложены стандартным методом размещения вариантов.

Экспериментальный участок был заложен в полевых условиях в 2016 г. На опытных делянках проведена посадка саженцев малины. Радионуклид ($^{90}\text{SrCl}_2$) расположен на поверхности почвы. Площадь питания малины 2,0×0,5 м. Уровень загрязнения составил 500 МБк/м². Повторность опыта 6-кратная. После отбора проб растения разделяли на органы и части, высушивали при температуре 105 °С, взвешивали и измельчали на мельницах МРП-1 или ЭМ-3А.

Испытания продукции по признаку радиоактивного загрязнения выполнен на приборе УСК «Гамма Плюс» по методике измерения активности бета-излучающих радионуклидов в счетных образцах с применением программного обеспечения «Прогресс». Методика разработана ГП ВНИИФТРИ и утверждена Госстандартом России 05.05.1996 г. Настоящая методика является основной в определении значений активности бета-излучающих радионуклидов в счетном образце и позволяет выполнить расчет погрешности каждого измерения. Для регистрации бета-излучения от счетного образца используется бета-спектрометрический тракт со сцинтилляционным блоком детектирования (СБД). Для экспонирования счетных образцов применяются специальные алюминиевые кюветы (Комплекс универсальный спектрометрический «Гамма Плюс», 1995).

При контроле содержания стронция-90 в почвах и растениях, применяли методические указания (Методические указания по определению содержания стронция-90 и цезия-137 в почвах и растениях, ЦИНАО, 1985), ГОСТ Р 50801-95, а также ОСТ Р 10070-95 Почвы. Методика определения стронция-90 в почвах сельхозугодий (ОСТ Р 10070-95). Полученные результаты обрабатывали методами математической статистики по Б. А. Доспехову [5].

Малина (*Rubus idaeus* L.) является ценнейшим продуктом питания человека, кроме того она используется в пищу птицами и животными. То есть это растение активно участвует в трофических цепях природных и агроэкосистем. Однако до настоящего времени исследований о накоплении ^{90}Sr в вегетативных и генеративных органах этого растения не выполнялись. Содержание ^{90}Sr в коре и древесине малины приведено на рис. 1.

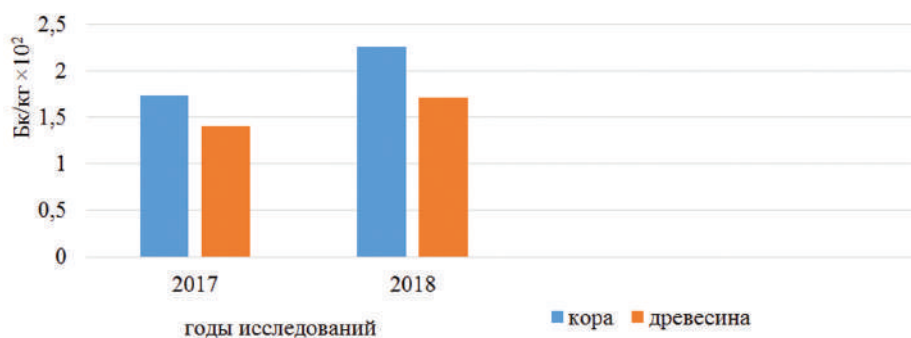


Рисунок 1 – Содержание ^{90}Sr в коре и древесине малины

В результате проведенных исследований (2016–2017 гг.) определено различие в накоплении изучаемого радионуклида в коре и древесине малины (*Rubus idaeus* L.), которое составило соответственно в 1,2 и 1,3 раза.

При расположении нуклида на поверхности почвы загрязнение коры изучаемого растения может происходить различными вариантами: один из них – через корневую систему вместе с питательными веществами, второй – за счет сорванной порывами ветра радиоактивно загрязненной пылевой фракции почвы. Возможен вариант загрязнения коры растения и в случае выпадения дождевых осадков. Падающие капли дождя подбрасывают мелкие фракции почвы, по этой причине она может оказаться на нижней или даже средней части коры растения.

В результате выполненной экспериментальной работы нами обнаружена тенденция постепенного увеличения содержания ^{90}Sr в коре и древесине малины. Различие в накоплении нуклида в коре между 2016 г. и 2017 г. исследований составило в 1,3 раза, в древесине за этот же временной период различие составило в 1,2 раза. Объяснение установленной тенденции заключается в следующем. Корневая система малины в основном расположена в верхнем слое почвы до 40 см. При расположении радионуклида на поверхности почвы происходит тесный контакт нуклида и корневой системы изучаемого растения, что способствует накоплению его как в коре, так и в древесине. При увеличении массы корней малины соответственно увеличивается количество поступающих в растение питательных веществ и изучаемого нуклида. В дальнейшем процессе роста и развития изучаемого растения будет происходить наращивание наземной и подземной частей растения, что скажется на накоплении ^{90}Sr в коре и древесине. Поэтому исследования должны быть продолжены для уточнения динамики накопления радионуклида.

Одним из важнейших органов для жизни растений является лист. Функции, которые он выполняет, известны: в нем происходят процессы фотосинтеза, транспирации и газообмена. Продуктивность и интенсивность фотосинтеза изменяются в зависимости от площади листовой поверхности, освещенности, обуславливающей количество поглощенной ими солнечной энергии. Радиоактивное загрязнение малины, как и многих других растений, может происходить, как корневым путем, так и через лист.

В садоводстве малину выращивают для получения ягод, которые используются в пищу как в свежем виде, так и в виде варенья, сиропов, джемов, соков. В связи с возможным выращиванием этого ягодного растения на радиоактивно загрязненной территории возникает вопрос о содержании радиоактивных веществ в плодах. При расположении ^{90}Sr на поверхности почвы следует учитывать различные варианты загрязнения ягод: через корневую систему и внешнее загрязнение путем попадания радиоактивной пыли с поверхности почвы на ягоды. Если ягоды выращены на загрязненной территории, то содержание в них радиоактивных веществ регламентируется нормативными документами и обязательно проводится радиационный контроль. После выполненного алгоритма мониторинговых работ принимается решение о дальнейшем использовании ягод.

Исследований по накоплению ^{90}Sr в листьях и ягодах малины в условиях Краснодарского края до настоящего времени не выполнялись. Экспериментальные данные о содержании изучаемого радионуклида в листьях и плодах малины приведены на рис. 2.

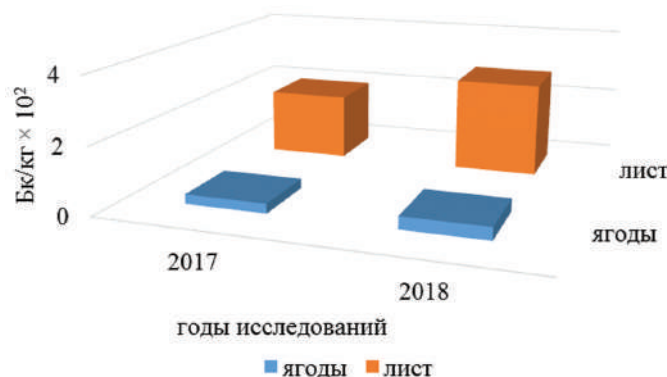


Рисунок 2 – Содержание ^{90}Sr в листьях и ягодах малины

За период исследований (2016–2017 гг.) определено различие в накоплении изучаемого радионуклида в листьях и ягодах малины (*Rubus idaeus* L.), которое составило в 6,9 и 7,5 раза соответственно. В результате эксперимента, выполненного в полевых условиях, было установлено, что интенсивность накопления радионуклида в листьях изучаемого растений была выше, чем в ягодах. Объяснить этот факт можно, во-первых, большей продолжительностью нахождения на растении листы, чем ягод. То есть по этой причине продолжительность накопления загрязняющих веществ в листьях выше, чем у ягод. Во-вторых, за счет большей общей поверхности листья могут больше загрязняться радиоактивной почвенной пылью. В-третьих, ягоды малины находятся под листвой, что также способствует меньшему их внешнему загрязнению.

В результате выполненной экспериментальной работы нами обнаружена тенденция постепенного накопления ^{90}Sr в листьях и ягодах малины. В 2016 г. содержание изучаемого радионуклида в листьях малины составляло $2,01 \times 10^2$ Бк/кг, в 2017 г. оно увеличилось на $0,83 \times 10^2$ Бк/кг и составило в итоге $2,84 \times 10^2$ Бк/кг. В ягодах малины (*Rubus idaeus* L.) так же отмечается тенденция некоторого увеличения содержания нуклида в ягодах. Интенсивность накопления ^{90}Sr в генеративных органах ниже. В 2016 г. содержание изучаемого радионуклида составило $0,29 \times 10^2$ Бк/кг, в 2017 г. – $0,38 \times 10^2$ Бк/кг. Объяснение установленной тенденции заключается в следующем. Корневая система малины в основном расположена в верхнем слое почвы – до 40 см. При расположении радионуклида на поверхности почвы происходит тесный контакт нуклида и корневой системы изучаемого растения, что способствует накоплению его как в листьях, так и в ягодах. При увеличении массы корней малины соответственно увеличивается количество поступающих в растение питательных веществ и изучаемого нуклида. В первый год нахождения малины на радиоактивно загрязненной территории произошло загрязнение за счет поступления нуклида из почвы через корневую систему и за счет почвенной пыли. На второй год по тем же причинам загрязнение коры и древесины растения продолжается, что в конечном итоге приводит к большему загрязнению листы и ягод малины. В дальнейшем процессе роста и развития изучаемого растения будет происходить наращивание наземной и подземной части, что также скажется на накоплении ^{90}Sr в листьях и ягодах.

При выращивании малины на одной и той же территории в течение нескольких лет следует учитывать новый источник радиоактивного загрязнения биоты – растительный опад. Загрязненный опад служит питательным субстратом для многих почвенных беспозвоночных, то есть из этой среды радионуклид непосредственно включается в пищевые цепи экосистем. Образующийся опад разлагается, поэтому связанные в нем радионуклиды имеют возможность переходить в легкодоступную для растений форму. В дальнейшем через корневую систему они опять имеют возможность аккумулироваться в растении. Кроме того, в растительном опаде находятся микро- и макроорганизмы, участвующие во многих трофических цепях экосистем, они также могут быть радиоактивно загрязнены. Для полноты исследований перераспределения радионуклида, находящегося на поверхности почвы, обязательно следует провести анализ содержания нуклида в растительном опаде. В дальнейшем эта работа также будет выполнена.

В результате выполненных в полевых условиях исследований были сделаны следующие выводы:

– установлено, что листва малины отличается наибольшим накоплением радионуклида. Различие в содержании ^{90}Sr между листьями и корой, древесиной и плодами ягодного растения составило в 1,2; 1,4 и 6,9 раз в 2016 г., в 2017 г. различие было в 1,3; 1,7 и 7,5 раз;

– накопление изучаемого радионуклида в ягодах малины оказалось минимальным в сравнении с другими органами растения;

– исследованиями установлена тенденция к постепенному увеличению содержания ^{90}Sr в вегетативных и генеративных органах малины. Причем накопление радионуклида в листьях происходит более интенсивно, чем в других органах изучаемого растения.

Исследования в данном направлении следует продолжать для уточнения динамики накопления радионуклида в вегетативных и генеративных органах растения. Итак, собранный экспериментальный материал позволит сделать расчеты коэффициентов перехода радионуклида из почвы в растение. На основании этих расчетов можно будет составить прогноз о накоплении нуклида в вегетативных и генеративных органах растения, что позволит дать рекомендации о возможном выращивании этого растения на загрязненных почвах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Стерман, Л. С. Тепловые и атомные электрические станции: учебник для вузов / Л. С. Стерман, В. М. Ладьгин, С. Г. Тишин. – М.: Энергоатомиздат, 1995. – 416 с.
2. Современные глобальные изменения природной среды: в 2 т. / Т. А. Акименко; МГУ им. М. В. Ломоносова, Российская акад. естественных наук. Т. 4: Факторы глобальных изменений. – М.: Научный мир, 2012. – 539 с.
3. Алексахин, Р. М. Проблемы радиоэкологии / Р. М. Алексахин. – М.: РАСХН-ГМУ ВНИИСХРАЭ, 2006. – 880 с.
4. Симакин, А. И. Агрехимическая характеристика кубанских черноземов и удобрения / А. И. Симакин. – Краснодар, 1969. – С. 16.
5. Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта / Б. А. Доспехов. – М.: Колос, 1968. – 336 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ТОКСИЧЕСКОГО И ГЕНОТОКСИЧЕСКИХ ЭФФЕКТОВ СИНТЕТИЧЕСКИХ ПИЩЕВЫХ КРАСИТЕЛЕЙ МЕТОДОМ ALLIUM TEST

INVESTIGATION OF TOXIC AND GENOTOXIC EFFECTS OF SYNTHETIC FOOD DYES BY THE ALLIUM TEST METHOD

О. В. Новик, О. В. Лозинская

A. Novik, O. Lozinskaya

*Белорусский государственный университет, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ,
г. Минск, Республика Беларусь
oksana-97@tut.by*

Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus

Исследовано влияние пищевых красителей с помощью метода Allium test. Произведена оценка токсического, митозмодифицирующего и мутагенного действия факторов. Обнаружено, что различные пищевые красители ингибируют рост корешков, угнетают митоз, индуцируют хромосомные аберрации и отставания хромосом.

The effect of food dyes was investigated using the Allium test method. The toxic, mitosis-modifying and mutagenic action of the factor was assessed. It was also found that various food dyes inhibit root growth, inhibit mitosis, induce chromosomal aberrations and chromosome lagging.

Ключевые слова: Allium-test, ана-телофазный метод, пищевые красители, митотический индекс, профазный индекс, метафазный индекс, анафазный индекс, телофазный индекс, мутагены.

Keywords: Allium-test, ana-telophasic method, food dyes, mitotic index, prophase index, metaphase index, anaphase index, telophase index, mutagens.

Проблемы, связанные со здоровьем человека, в наши дни не всегда зависят от генетической наследственности или предрасположенности к тому или иному виду заболевания. В последнее время всё большее воздействие на состояние организма и его работоспособность оказывают продукты питания, а если быть точнее – их состав.

Рацион человека постоянно изменялся. От натурального хозяйства и продуктов, выращенных своими руками и сохранивших полезные свойства, мы перешли к продуктам, изготовляемым в промышленных масштабах. Для увеличения сроков хранения, улучшения их вкусовых качеств и внешнего вида (запаха и цвета) в большую часть этих продуктов добавляют красители, консерванты, антиокислители, эмульгаторы, стабилизаторы и загустители.

В настоящее время большое распространение получили искусственные пищевые красители, представляющие собой водорастворимые органические соединения, не существующие в природе. Пищевой ценности они не имеют, а вот вред красителей для организма человека весьма возможен.

Актуальность изучения пищевых добавок как одного из факторов, воздействующих на человека, обусловлена распространённостью злокачественных заболеваний, аллергозов и других патологий.

Цель работы: исследование токсического, митозмодифицирующего и мутагенного действия различных синтетических пищевых красителей методом Allium-test.

К задачам, которые необходимо решить, относятся:

- изучить спонтанный уровень MI и ХА в клетках корневой меристеме Allium сера;
- выявить митозмодифицирующий эффект пищевых красителей;
- оценить мутагенный эффект пищевых красителей.

Материалом исследования являлись пищевые красители: оранжевый (Желтый «Солнечный закат» – E110), желтый (Тартразин – E102), зеленый (Зеленый S – E142), синий (Бриллиантовый Голубой FCF – E133).

Объектом исследования в данном тесте является меристема проростков корешков лука посевного – Allium сера сорта Штутгартен–Ризен. Выбранная растительная тест-система регистрирует все типы генетических повреждений: геномные, хромосомные, генные. Она позволяет выявлять как мутагены, непосредственно повреждающие ДНК, так и промутагены, то есть факторы генетически безопасные, но приобретающие мутагенную активность в процессе метаболизма в организме.

Для проведения опыта использовали одинаковые по размеру луковицы сорта Штутгартен–Ризен около 3,5 г, предварительно удалив внешние чешуи.

Проращивание луковиц проводилось в растворах пищевых красителей 3-х концентраций 1 % p-p, 0,25 %, 0,5 %) в 3 повторностях, контролем являлась водопроводная вода. В условиях опыта луковицы помещались в стеклянные пробирки так, чтобы донце луковиц соприкасалось с водой. Луковицы проращивали при комнатной температуре и естественном освещении в течение 4–5 дней.

По завершении эксперимента срезанные корешки помещали в фиксатор (96 % этиловый спирт и ледяная уксусная кислота в соотношении 3:1).

Для обнаружения хромосомных aberrаций (одиночные, множественные фрагменты, хроматидные, хромосомные мосты, микроядра) готовили временные давленные препараты корневых меристем, используя зону активно делящихся клеток, расположенную на 2–4 мм выше корневого чехлика. После удаления корневого чехлика, первый мм – меристематический район, где идет митоз, 2-й мм – первое дочернее поколение меристематических клеток. Окрашивание проводили красителем ацеткармином.

Микроскопирование проводилось при увеличении 10×40. Подсчитывали количество клеток на различных стадиях митоза. Учет aberrаций хромосом в апикальной меристеме корешков лука проводили на стадии ана-телофаз. Ана-телофазный анализ позволяет изучать частоту мутаций путем учета суммы хромосомных aberrаций (ХА) и отставаний (отс.) на стадиях анафазы и телофазы к общей сумме ана-телофаз на препарате.

Были подсчитаны фазные индексы (ПИ, % – профазный индекс; МИ, % – метафазный индекс; АИ и ТИ, % – анафазный и телофазный индексы) – процент клеток в различных стадиях митоза от общего количества делящихся клеток.

Для интегральной оценки мутагенной активности использовался показатель ВМЭ (выраженности мутагенного эффекта). ВМЭ определялась в тесте *A. seara* как кратность превышения процента индуцированных мутаций над контрольным значением.

Показателем уровня митотической активности является митотический индекс (МИ, %), показывающий соотношение числа клеток, находящихся в митозе, к общему числу проанализированных клеток, исследованных на препарате изучаемой. На основании эксперимента было показано, что преобладает митотоксическое действие изучаемого фактора. Уменьшение МИ может быть обусловлено как уменьшением пролиферации клеток, так и изменением продолжительности различных фаз, то есть задержкой клеток на определенных фазах митоза.

Анализ митотоксического эффекта показал, что максимальные значения были показаны в варианте с добавлением красителей E133 (синий) и E102 (желтый) (рис. 1).

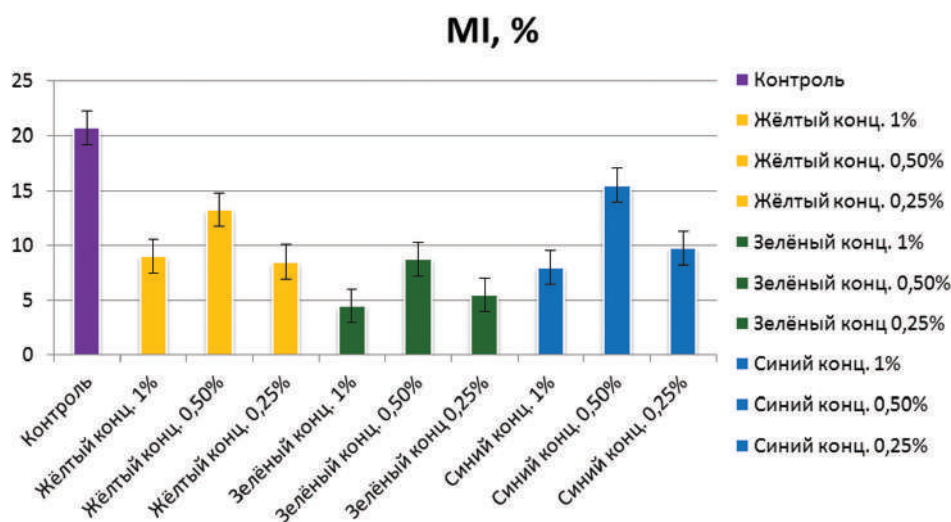


Рисунок 1 – Значения митотического индекса для различных красителей

Так, краситель Зеленый проявил митотоксический эффект при концентрации 1 %, где митотический индекс составил – 4,5 %, для Бриллиантового Голубого наименьший индекс – (8 %) проявился также при концентрации 1 %.

Чтобы понять причины изменения митотического индекса были рассмотрены фазные индексы. На рисунке 2 видно, что ПИ большинства клеток, выросших на красителях, не отличается от контроля. Тем не менее, минимальные значения ПИ, % наблюдаются после воздействия растворов концентрацией 0,25 %, содержащих синий (E133) и зеленый (E142) красители (рис. 2). Профазный индекс при концентрации 0,25 % с использованием синего красителя составил 33,33 % и 36,36 % – зеленого красителя. Можно предположить, что снижение ПИ при достаточно высоком митотическом индексе связан с репарационными процессами в клетках, либо запрограммированной гибелью клеток.

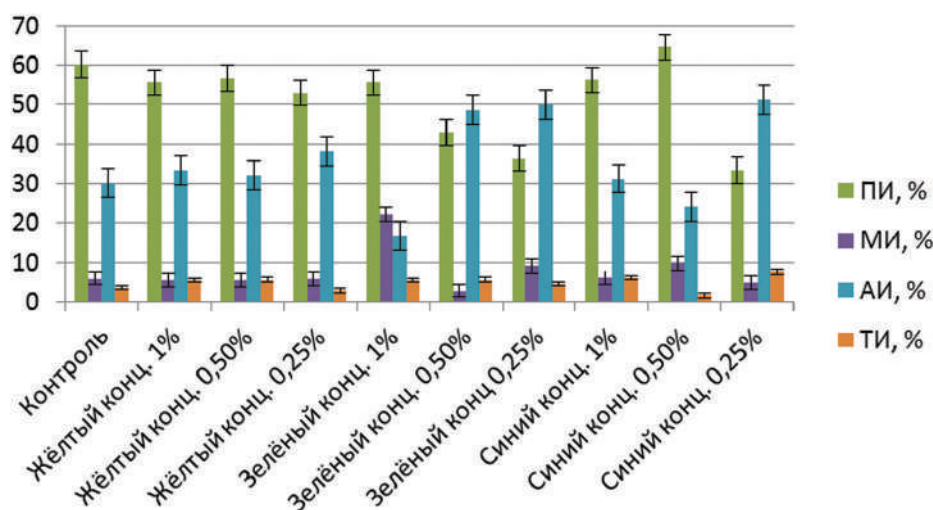


Рисунок 2 – Значения фазных индексов для различных красителей

Как следует из рис. 2 увеличение метафазного индекса до 22,2 % показано в варианте концентрацией 1 % с добавлением E142 по сравнению с контрольным вариантом, хотя митотический индекс здесь был самым низким.

Применение ана-телофазного метода позволило выявить значительное повышение частоты хромосомных aberrаций в корневой меристеме *A. sepa*.

При концентрации пищевых красителей 0,5 % во всех опытных вариантах зарегистрировано увеличение частоты хромосомных aberrаций и отставаний по сравнению с контрольным уровнем (табл. 1).

Среди всех 3 опытных вариантов с красителями наиболее резко выделялись мутагенной активностью при концентрациях 0,50 % два варианта, в которых использовались пищевые красители зеленого (Зеленый S, E142), желтого (Тартразин, E102) и один вариант синего цвета концентрацией 0,25 % (Бриллиантовый Голубой FCF, E133).

Как видно из таблицы, наибольшее количество aberrаций по сравнению с контролем встречается в варианте опыта с E142 при концентрации 0,5. Здесь выявлено всего 11 aberrаций; из них 4 отставаний хромосом, 5 опережений и 2 моста.

Таблица 1 – Частота хромосомных aberrаций и их разнообразие для каждого красителя

Вариант	Всего aberrаций	Отставания	Опережения	Мосты
Тартразин 1 %	5	1	2	2
Тартразин 0,5 %	8	2	6	
Тартразин 0,25 %	4	1		3
Зелёный 1 %	2	1		1
Зелёный 0,5 %	11	4	5	2
Зелёный конц. 0,25 %	5	1	2	2
Бриллиантовый голубой 1 %	3		3	
Бриллиантовый голубой 0,5 %	5	1		4
Бриллиантовый голубой. 0,2 %	7	2	4	1
Контроль	2	1		1

Среди хромосомных нарушений преобладают опережения. Так, для тартразина 0,5 % – 6, зеленый – 5. Значительное количество мостов показано для бриллиантового голубого 0,5 % – 4. При этом в контроле этой патологии не обнаружено.

Появление значительного количества aberrаций может свидетельствовать о том, что синтетические пищевые красители нарушают сборку микротрубочек цитоскелета клетки и мешают формированию веретена деления, что в результате выразилось в появлении патологических митозов.

В результате проведенного исследования на митозмодифицирующее и мутагенное действие пищевых красителей (Тартразин (E102), Зеленый S (E142), Бриллиантовый Голубой FCF (E133)) были сделаны следующие выводы:

Спонтанный уровень MI в меристеме *Allium sepa* составляет 20,75 %, а частота ХА – 1,03 %. Все изученные виды синтетических пищевых красителей угнетают прирост корешков у *A. sepa*, что свидетельствует о токсической активности всех исследованных красителей.

Пищевые красители влияют на пролиферативную активность *A. sepa*, оказывая в основном митотоксическое воздействие.

Все исследованные виды синтетических пищевых красителей вызывают хромосомные мутации или обладают мутагенной активностью: увеличивают частоту хромосомных аберраций и отставаний до 7,2 %, что превышает контрольный уровень (1,03 %) в 7 раз. Уровень мутагенного эффекта классифицируется как средний.

Таким образом, показано, что все исследованные красители обладают мито- и генотоксической активностью, а, следовательно, продукты с такой добавкой могут представлять опасность для здоровья человека.

ЛИТЕРАТУРА

1. Булдаков, А. С. Пищевые добавки / А. С. Булдаков. – СПб.: «Ут», 1996. – 240 с.
2. Справочник оз. Неро / И. М. Прохорова. – М.: Наука, 2008. – 59 с.
3. Чупис, В. Н. Система биотестов для экологического мониторинга / В. Н. Чупис [и др.] // Экология и промышленность России. – 2008. – № 1. – С. 44–45.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ СИСТЕМАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ДИАТОМОВЫХ КОМПЛЕКСОВ ФИТОПЛАНКТОНА И КАЧЕСТВО ВОДЫ РЕК НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКА «ПРИПЯТСКИЙ»

COMPARATIVE SYSTEMATIC ANALYSIS OF THE DIATOM COMPLEXES OF PHYTOPLANKTON AND WATER QUALITY OF THE RIVERS OF NATIONAL PARK “PRIPYATSKI”

И. В. Рышкель, О. С. Рышкель, И. М. Назаров
I. Ryshkel, O. Ryshkel, I. Nazarov

*Белорусский государственный университет, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ,
г. Минск, Республика Беларусь
ryshkel@yandex.ru*

Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus

Реализация Конвенции о сохранении биологического разнообразия предусматривает инвентаризацию флоры особо охраняемых территорий. К их числу относится Национальный парк «Припятский», расположенный на юге Беларуси. В рамках инвентаризации альгофлоры заповедной территории особое место занимает отдел Bacillariophyta (диатомовые водоросли). Актуальность и необходимость изучения диатомовых водорослей определяется уникальным строением их оболочек в виде кремнеземных панцирей. Они хорошо сохраняются в донных осадках, а при изменении параметров водной среды, комплекс видов диатомовых водорослей соответствующим образом изменяется, выполняя индикаторную роль. Целью исследования являлся анализ систематического комплекса диатомовых водорослей и качества вод рек Национального парка «Припятский».

The implementation of the Convention on the conservation of biological diversity requires the flora inventory of specially protected areas. They include the national Park “Pripyat”, which is located in the south of Belarus. In the framework of algal flora inventory of the protected area, a special place belongs to Bacillariophyta (diatoms). The relevance and necessity of studying diatom algae is determined by the unique structure of their shells in the form of silica frustules. They are well preserved in bottom sediments, and when changing the parameters of the aquatic environment, the complex of diatom algae species changes performing an indicator role. The aim of the study was to analyze the systematic complex of diatoms and the water quality of the rivers of the national Park “Pripyatski”.

Ключевые слова: диатомовые водоросли, фитопланктон, таксономический состав, экологические группы, виды, реки, Национальный парк «Припятский».

Keywords: diatoms, phytoplankton, taxonomic composition, ecological groups, species, rivers, national Park “Pripyat”.

В связи с реализацией Конвенции о сохранении биологического разнообразия, инвентаризация флор особо охраняемых территорий, к которым относится Национальный парк (НП) «Припятский», расположенный в междуречье Припяти, Ствиги и Уборти на юге Беларуси, сохраняет и сегодня свою актуальность [1].

С 2010 г. проводятся исследования по выявлению видового богатства водорослей разнотипных водных объектов в рамках выполнения работ по проблеме инвентаризации альгофлоры заповедной территории, но пока они далеки от завершения [2]. Среди водорослей особое место занимает отдел *Bacillariophyta* (диатомовые водоросли).

Актуальность и необходимость изучения диатомовых водорослей определяется уникальным строением их оболочек в виде кремнеземных панцирей, четкими экологическими предпочтениями и специфическими требованиями к условиям среды, широким и массовым распространением. Кремнистые створки хорошо сохраняются в донных осадках, при изменении параметров водной среды комплекс видов соответствующим образом изменяется, выполняя индикаторную роль.

В качестве исходного материала для выполнения настоящей работы послужили пять альгологических проб фитопланктона, собранных в августе 2018 г. из рек Уборть, Белянка, Снядинка и Ствига Национального парка «Припятский». Сводный систематический список диатомовых водорослей изученных рек Национального парка «Припятский» включает 194 вида и внутривидовых таксона. Они принадлежат к 3 классам, 14 порядкам, 26 семействам, 53 родам (табл.).

Таблица – Соотношение числа таксонов различных рангов диатомовых водорослей, выявленных в летнем фитопланктонереках Ствига, Белянка, Снядинка и Уборть

Классы	<i>Coscinodiscophyceae</i>	<i>Fragilariophyceae</i>	<i>Bacillariophyceae</i>	Всего
Количество порядков	3	2	9	14
Количество семейств	3	3	20	26
Количество родов	6	11	36	53
Количество таксонов	17	33	144	194

Класс *Coscinodiscophyceae* представлен тремя порядками (*Stephanodiscales*, *Melosirales*, *Aulacoseirales*), тремя одноименными семействами и шестью родами, включающими 17 видов и внутривидовых таксонов. Класс *Fragilariophyceae* – более разнообразен и содержит 33 таксона, 11 родов, 3 семейства, относящиеся к 2 порядкам (*Fragilariales* и *Tabellariales*). Наиболее представительным является класс *Bacillariophyceae*, который включает 9 порядков, 20 семейств, 36 родов, 144 вида и внутривидовых таксона, объединяя до 74,2 % общего числа встречаемых диатомей.

В составе фитопланктона р. Ствига (август 2017 и 2018 гг.) выявлено 86, р. Белянка (август 2018 г.) – 50, р. Снядинка (август 2018 г.) – 46, р. Уборть (август 2018 г.) – 114, Науть (август 2018 г.) – 30, Скрипица (август 2018 г.) – 24, Свиновод (август 2018 г.) – 11, видов и внутривидовых таксонов диатомей.

Общими для летнего фитопланктона всех упомянутых выше рек является только 1 вид: *Aulacoseira granulata*.

Количество видов и внутривидовых таксонов, идентифицированных только в пробах летнего фитопланктона р. Ствига, составляет 12. Это *Stephanodiscus medius*, *Melosira varians*, *Fragilaria capucina* var. *capucina*, *F. Capucina* var. *gracilis*, *Fragilariforma virescens* var. *virescens*, *Paraplaconeis subplacentula*, *Placoneis clementis*, *Cymbella folgediana*, *Psammothidium* aff. *bioretii*, *Lacustriella lacustris*, *Stauroneis kriegeri*, *Amphorapediculus* var. *exilis*. Кроме того, 3 таксона выделены со знаком открытой номенклатуры: *Placoneissp.*, *Gomphonemasp.*, *Naviculasp.*

К представителям диатомовых водорослей, которые были определены только в пробах летнего фитопланктона р. Белянка, принадлежат 5 видов и 1 разновидность: *Placoneis. subgastriformis*, *Frustuliasaxonica* var. *capitata*, *Neidiumaffine*, *N. productum*, *Sellaphora bacilliformis*, *Naviculacari*. Один таксон – *Cavinulasp.* обнаружен со знаком открытой номенклатуры.

Только для летнего фитопланктона р. Снядинка характерны следующие 12 видов и 3 разновидности: *Stenophora pulchella* var. *lanceolata*, *Eunotia arcus* var. *arcus*, *Rhoicosphenia abbreviata*, *Paraplaconeis placentula*, *Cymbella cymbiformis*, *Pinnularia amphicephala*, *P. Microstauron* var. *biundulata*, *P. parva*, *P. perspicua*, *P. subcapitata*, *Navicula capitatoradiata*, *Geissleria decussis*, *Epithemia sorex*, *Surirella linearis* var. *constricta*, *Cymatopleura soleavar. solea*. Кроме того, 2 таксона установлены со знаком открытой номенклатуры: *Diatomasp.*, *Stauroneissp.*

В летнем фитопланктоне р. Уборть идентифицировано наибольшее количество диатомовых водорослей (47 видов и 8 внутривидовых таксонов), характерных только для этой реки: *Stephanodiscus alpines*, *Cyclostephanos dubius*, *Discostella pseudostelligera*, *Fragilaria fasciculata*, *F. rumpens*, *Asterionella formosa*, *Staurosirella leptostauron*, *S. martyi*, *Ulnaria biceps*, *Meridion circulare* var. *circulare*, *M. Circulare* var. *constrictum*, *Eunotia incisadistans*, *E. faba*, *E. Pectinalis* var. *undulata*, *E. praeruptavar. curta*, *Aneumastus tusculus*, *Placoneis dicephala*, *P. rostrata*, *Gomphonema parvulum* var. *exilissimum*, *G. pumilum*, *Cocconeis placentulavar. intermedia*, *Achnanthidium. minutissimavar. scotica*, *A. saprophilum*, *Planothidium abbreviatum*, *P. frequentissimum*, *P. peragallii*, *Platessa conspicua*, *Cavinula scutelloides*, *Frustulia vulgaris*, *Neidium ampliatum*, *N. apiculatum*, *Sellaphora americana*, *S. rectangularis*, *Pinnularia angusta*, *P. borealis*, *P. ivaloensis*, *P. mesoleptaf.angustata*, *P. nobilis* var. *nobilis*, *P. nobilis* var. *regularis*, *P. viridis* var. *viridis*, *Caloneis schumanniana*, *Diploneis ovalis*, *D. parma*, *Hippodonta costulata*, *H. lueneburgensis*, *Nupela tenuicephala*, *Gyrosigma spencerii*, *Stauroneis amphicephala*, *S. anceps*, *S. smithii* var. *smithii*, *Amphora pediculus*, *Epithemia adnata*, *Surirella angusta*, *S. biseriata*, *S. tenera*.

Количество видов и внутривидовых таксонов, идентифицированных только в пробах летнего фитопланктона р. Науть, составляет 8: *Cyclotella atomus*, *Staurosira triangoexigua*, *Eunotia incisa*, *E. mucophila*, *E. paludosa*, *Encyonema silesiacum*, *Pinnularia parvulissima*, *Navicula trivialis*.

Только для летнего фитопланктона р. Скрипица характерны следующие 4 вида и 1 разновидность: *Aulacoseira muzzanensis*, *A. subarctica*, *Fragilaria pinnata* var. *trigona*, *Cymbella aspera*, *Amphora libyca*.

Для летнего фитопланктона р. Свиновод характерна одна разновидность: *Fragilaria virescens* var. *Virescens*.

Для оценки общности (или сходства) таксономического состава диатомовых водорослей летнего фитопланктона рек Ствига и Уборть, Белянка и Снядинка, Снядинка и Ствига использовали коэффициент Жаккара (обладающий наибольшей дифференцирующей способностью).

Коэффициент Жаккара для рек Ствига и Уборть равен 24 %. Число общих видов диатомовых водорослей, встреченных в летнем фитопланктоне двух указанных выше рек, составляет 33; количество видов, идентифицированных только в фитопланктоне р. Ствига, – 24, только в фитопланктоне р. Уборть – 78.

Коэффициент Жаккара для рек Белянка и Снядинка равен 35 %. Число общих видов диатомей, обнаруженных как в фитопланктоне р. Белянка, так и р. Снядинка, – 34; количество видов, идентифицированных только в фитопланктоне р. Белянка – 15, только в фитопланктоне р. Снядинка – 47.

Коэффициент Жаккара для рек Снядинка и Ствига равен 28 %. Число общих видов диатомовых водорослей, встреченных в летнем фитопланктоне двух упомянутых выше рек, составляет 31; количество видов, которые определены только в фитопланктоне р. Снядинка – 50, только в фитопланктоне р. Ствига – 28.

Коэффициент Жаккара для рек Скрипица и Свиновод равен 2 %. Число общих видов диатомовых водорослей, встреченных в летнем фитопланктоне двух указанных выше рек, составляет 1; количество видов, идентифицированных только в фитопланктоне р. Скрипица, – 23, только в фитопланктоне р. Свиновод – 10.

Коэффициент Жаккара для рек Свиновод и Науть равен 8 %. Число общих видов диатомовых водорослей, встреченных в летнем фитопланктоне двух упомянутых выше рек, составляет 3; количество видов, которые определены только в фитопланктоне р. Свиновод – 8, только в фитопланктоне р. Науть – 27.

Коэффициент Жаккара для рек Свиновод и Ствига равен 13 %. Число общих видов диатомовых водорослей, встреченных в летнем фитопланктоне двух упомянутых выше рек, составляет 8; количество видов, которые определены только в фитопланктоне р. Свиновод – 3, только в фитопланктоне р. Ствига – 51.

Коэффициент Жаккара для рек Белянка и Скрипица равен 11 %. Число общих видов диатомовых водорослей, встреченных в летнем фитопланктоне двух упомянутых выше рек, составляет 7; количество видов, которые определены только в фитопланктоне р. Белянка – 41, только в фитопланктоне р. Скрипица – 16.

Коэффициент Жаккара для рек Снядинка и Науть равен 17 %. Число общих видов диатомовых водорослей, встреченных в летнем фитопланктоне двух упомянутых выше рек, составляет 16; количество видов, которые определены только в фитопланктоне р. Снядинка – 62, только в фитопланктоне р. Науть – 14.

Коэффициент Жаккара для рек Снядинка и Уборть равен 30 %. Число общих видов диатомовых водорослей, встреченных в летнем фитопланктоне двух упомянутых выше рек, составляет 46; количество видов, которые определены только в фитопланктоне р. Снядинка – 35, только в фитопланктоне р. Уборть – 70.

Коэффициент Жаккара для рек Уборть и Науть равен 13%. Число общих видов диатомовых водорослей, встреченных в летнем фитопланктоне двух упомянутых выше рек, составляет 17; количество видов, которые определены только в фитопланктоне р. Уборть – 97, только в фитопланктоне р. Науть – 13.

Приведенные данные свидетельствуют о том, что таксономический состав диатомовых водорослей летнего фитопланктона сравниваемых рек имеет небольшое сходство между собой, и это подтверждает коэффициент Жаккара, который не превышает 35 %.

Для оценки степени органического загрязнения рек Ствига, Белянка, Снядинка и Уборть произведена количественная оценка диатомовых комплексов по показателям сапробности. Рассчитаны индексы сапробности по методу Пантле–Бука. Частота встречаемости сапробионта в пробе (h) учитывалась нами по относительной численности створок в препарате в переводе данных в шести ступенчатую шкалу значений частоты [3].

Из выявленного богатства диатомовых комплексов в летнем фитопланктоне рек Белянка, Снядинка, Ствига, Уборть, Науть, Скрипица и Свиновод, которое составляет соответственно 50, 46, 55, 67, 30, 24 и 11 видов и внутривидовых таксонов, к индикаторам органического загрязнения принадлежат 37, 39, 42, 33, 22, 19 и 9 таксонов. Анализ обнаруженных видов диатомовых водорослей показывает сходное распределение видов-индикаторов в изученных реках.

Высокие доли индикаторов чистой зоны – разных групп ксено- (в сумме от 30,7 до 40, 55 %) и олигосапробионтов (от 33,4 до 40,55) отражают естественную органическую нагрузку на водоемы. Высокой численности в комплексах достигают ксеносапробионт *Gomphonema parvulum* var. *parvulum* (7 % численности в р. Белянка и 4,7 % в р. Снядинка), ксено-олигосапробионт *Pseudostaurosira brevistriata* (33,2 % численности в р. Ствига и 11,9 % в р. Белянка), олигосапробионт *Staurosira construens* var. *construes* (8,7 % в р. Ствига) и олиго-бетамезосапробионт *Cocconeis placentula* var. *Placentula* (5,1 % в р. Белянка) [4].

Значительные доли бета-сапробов (в сумме от 13,5 до 28,3 %) и присутствие альфа-бета мезосапробионтов (от 4,8 до 5,8 %) показывают нагрузку на водоемы, привнесенную человеком, возможно как результат сельскохозяйственного производства на водосборной территории. В состав доминирующей группы диатомовых комплексов входят бета-олигосапробионт *Aulacoseira italica* var. *italica* (7,0 % численности в р. Белянка), олиго-альфамезосапробионт *Ulnaria ulna* var. *ulna* (4,7 % в р. Снядинка), бета-альфа-мезосапробионт *Staurosirella pinnata* (14,0 % численности в р. Снядинка), и альфа-бета мезосапробионт *Melosira varians* (4,7 % в р. Ствига) [4].

Сапробиологический индекс рек Белянка, Снядинка, Ствига, Уборть, Науть, Скрипица и Свиновод составляет 1,07; 1,15, 1,14, 1,86, 1,37, 1,73 и 1,01, что соответствует альфа- олигосапробной зоне самоочищения второго класса качества вод, а для Уборти и Скрипицы альфа- мезосапробной зоне самоочищения третьего класса качества вод. Эти показатели имеют незначительные отличия и характеризуют благополучное состояние планктонных сообществ и среды их обитания, определяя состояние экосистем как «природно-чистые воды» [3]. На стабильность экологической ситуации в водных объектах данного региона указывают и другие исследователи [4].

ЛИТЕРАТУРА

1. Конвенция о биологическом разнообразии. – Июнь 1992 г. ЮНЕП: Центр программной деятельности по праву окружающей среды и природоохранным механизмам. – 59 с.
2. Рыбоводно-биологическое обоснование использования водоемов Национального парка «Припятский»: отчет о НИР / НИЛ Озероведения БГУ, лаборатория РУП «БЕЛНИИРХ»; рук. темы: Б. П. Власов и В. Г. Костоусов, 2002 г.
3. *Баринова, С. С.* Биоразнообразии водорослей – индикаторов окружающей среды / С. С. Баринова, Л. А. Медведева, О. В. Анисимова. – Тель-Авив, 2006. – 498 с.
4. *Углынец, А. В.* Водные ресурсы Национального парка «Припятский» и их влияние на состояние лесных экосистем: монография / А. В. Углынец, [и др.]. – Минск: БГПУ, 2006. – 200 с.

ЭКОЛОГО-БИОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПТИЦ ПАРКОВЫХ КОМПЛЕКСОВ ГОРОДА МИНСКА ECOLOGICAL AND BIOLOGICAL CHARACTERISTICS OF BIRDS PARK COMPLEXES OF MINSK

Е. К. Свистун, М. Г. Ясовеев
E. Svistun, M. Yasoveev

*Белорусский государственный университет, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ,
г. Минск, Республика Беларусь
svistyn.alena@yandex.by
Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus*

Представлены данные об экологических особенностях орнитофауны парковых комплексов города Минска. Выявлены экологические группы, экологический статус, биоразнообразие, доминирование определенных видов. Произведен расчет плотности населения птиц, индексов Шеннона, Симпсона, Бергера–Паркера. Наибольшим разнообразием отличается отряд Воробьинообразные. Доминирующими являются лесные птицы, установлено, что большинство птиц являются гнездящимися перелетными и гнездящимися оседлыми.

The article presents data on the environmental features of the avifauna of park complexes in Minsk. Ecological groups, ecological status, biodiversity, dominance of certain species are revealed. The calculation of bird population density, Shannon, Simpson, Berger–Parker indices was made. The greatest variety of different squad Sparrow. Dominant are forest birds, found that most birds are breeding and nesting of migratory sedentary.

Ключевые слова: биоразнообразие, доминирование, экологические группы, экологический статус, плотность орнитофауны.

Keywords: biodiversity, dominance, ecological groups, ecological status, density of avifauna.

Процесс урбанизации нашей планеты идет стремительными темпами. Увеличивается количество городов, растут их размеры, появляются огромные мегаполисы, растет численность городского населения. В недалеком будущем урбанизированные территории станут преобладающими биотопами.

Птицы, наряду с другими дикими животными, в городах издавна соседствуют с человеком, являются неотъемлемой частью городских биогеоценозов. Многие из них смогли успешно приспособиться к жизни в городских условиях и выработали целый ряд адаптивных черт экологии. Некоторые виды только начинают осваивать город, другие прежде многочисленные – постепенно исчезают. Численность городских популяций отдельных видов птиц увеличилась настолько, что возникает необходимость в ее регуляции. Поэтому изучать городских птиц необходимо, прежде всего, с практической точки зрения [1].

Цель работы – изучение экологических особенностей орнитофауны парковых комплексов города Минска.

Орнитологические исследования проводились на территории 6 парков города Минска: парк им. «Челюскинцев» совместно с Ботаническим садом; парк культуры и отдыха им. 50-летия Великого Октября; Лошицкий усадебно-парковый комплекс; памятник природы республиканского значения «Дубрава»; лесопарк «Медвежино»; парк «Дрозды».

Учет численности птиц проводился маршрутным методом. Для обработки собранных данных использовались такие показатели, как плотность населения птиц, индекс биоразнообразия Шеннона, индекс видового богатства Маргалёфа, индекс доминирования Симпсона и Бергера–Паркера [2].

В ходе орнитологических исследований парковых комплексов города Минска был выявлен 61 вид птиц, относящихся к 8 отрядам. На территории парка Дрозды зафиксировано 42 вида птиц, в парке Челюскинцев и Ботаническом саду – 36 видов, в Лошицком усадебно-парковом комплексе – 36 видов, в памятнике природы Дубрава –

34 вида, в лесопарке Медвежино – 24 вида и в парке имени 50-летия Великого Октября – 20 видов птиц. Из рис. 1 видно, что доминирующими во всех парках являются представители отряда Воробьинообразные (*Passeriformes*) – 48 видов. Также во всех парках зафиксированы представители отрядов Дятлообразные (*Piciformes*) 3 вида и Голубеобразные (*Columbiformes*) 2 вида. Кроме того, в трех парках выявлены виды, относящиеся к отрядам Гусеобразные (*Anseriformes*), Ржанкообразные (*Charadriiformes*) и Соколообразные (*Falconiformes*) по 2 вида, Стрижеобразные (*Apodiformes*) и Кукушкообразные (*Cuculiformes*) по 1 виду.

По экологическому статусу выделяют: гнездящиеся, зимующие и мигрирующие виды птиц [3]. В свою очередь гнездящиеся виды подразделяются на гнездящиеся оседлые, гнездящиеся перелетные и гнездящиеся перелетные и в ограниченном количестве зимующие виды птиц. К мигрирующим также относятся мигрирующим и в ограниченном количестве зимующие виды. Из рис. 2 следует, что на территории городских парков преобладают гнездящиеся оседлые (23 вида) и гнездящиеся перелетные (27 видов) виды птиц. Кроме того, выявлены единичные виды, относящиеся к мигрирующим и мигрирующим и в ограниченном количестве зимующим видам. Такое распределение свидетельствует о благоприятных условиях для гнездования птиц.

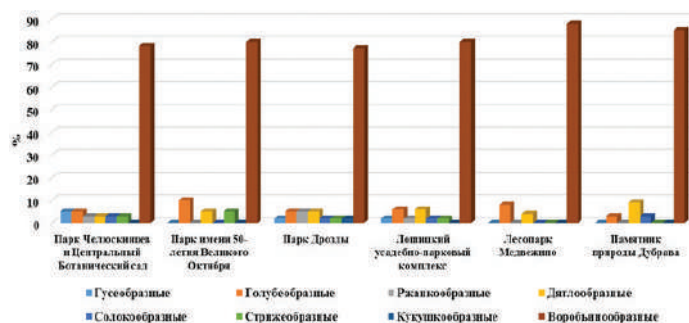


Рисунок 1 – Соотношение отрядов птиц парков г. Минска

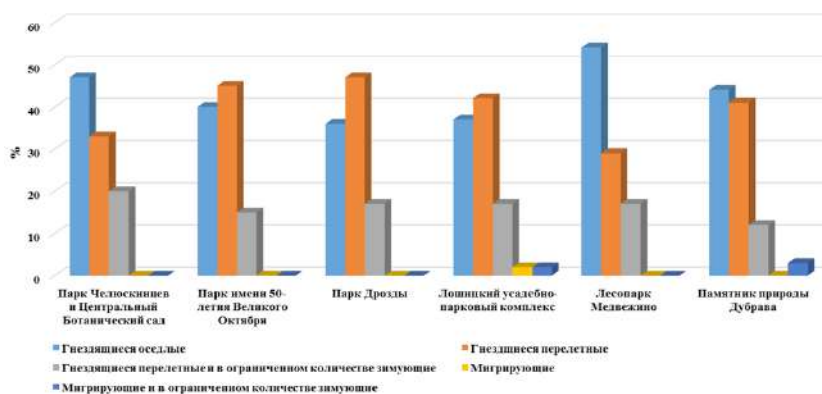


Рисунок 2 – Экологические статусы птиц парков г. Минска

На территории изучаемых парков сообщество птиц разделяется на 5 экологических групп: лесные, синантропные, птицы открытых ландшафтов, водно-болотные и околотовдные птицы [1]. Доминирующими видами на всех исследуемых территориях являются лесные птицы (40 видов), далее идут синантропные (11 видов) (рис. 3).

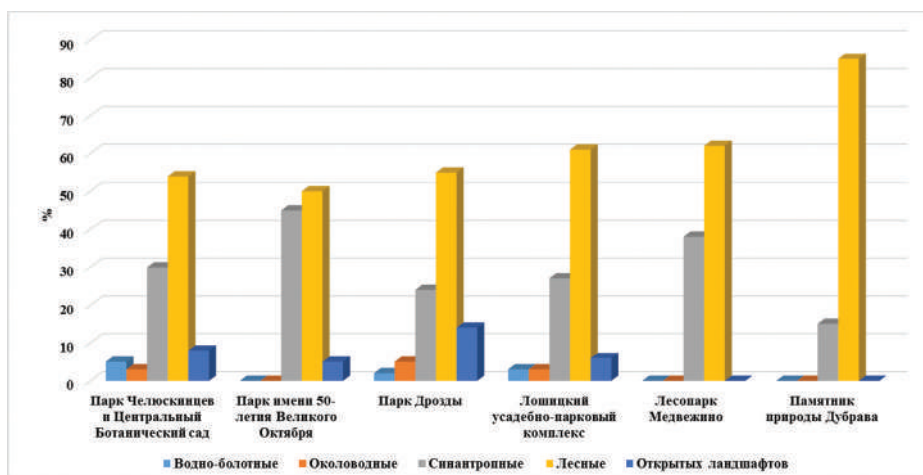


Рисунок 3 – Экологические группы птиц городских парков

Для анализа орнитофауны городских парков использовались следующие показатели: плотность населения птиц, индекс биоразнообразия, индекс видового богатства, индексы доминирования.

Суммарная плотность населения орнитофауны показывает наличие или же отсутствие в парковых зонах благоприятных условий для обитания птиц. Чем больше плотность населения птиц, тем более подходящие условия обитания в парке. Из рис. 4 следует, что в парке Дрозды плотность равна 443,94 ос/км² это больше, чем в других парках, следовательно, на данной территории птицы нашли наиболее комфортное место обитания. Напротив, в парке 50-летия имени Великого Октября плотность составила 83,02 ос/км², что указывает на отсутствие условий окружающей среды для гнездования и поиска пищи птиц.

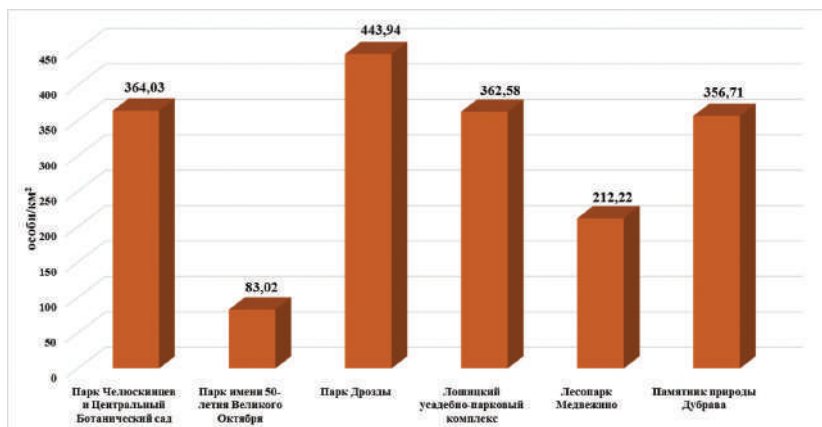


Рисунок 4 – Суммарная плотность населения птиц городских парков

При анализе сообщества птиц для характеристики разнообразия и выравненности сообщества использовали индекс Шеннона. Чем больше в сообществе видов и чем меньше отличаются их численности, тем выше значения индекса Шеннона. Наибольшим значением индекса Шеннона характеризуется Лошицкий усадебно-парковый комплекс, который составляет 3,27. Это значит, что в данном парке сообщество орнитофауны более разнообразно и численность разных видов птиц не отличается в существенных пределах. Поэтому данная территория является наиболее благоприятной для обитания птиц. Наименьшее значение индекса в парке имени 50-летия Великого Октября – 2,49. Следовательно, видовое разнообразие имеет не большое значение. В остальных парках индекс колеблется от 2,75 до 3,16.

Для получения полной картины изучаемого сообщества необходимо иметь представление не только о видовом разнообразии, но и о степени доминирования. Для этого рассчитывался индекс Симпсона. Он очень чувствителен к присутствию в выборке наиболее обильных видов, но слабо зависит от видового богатства. При расчете выявлено, что значение индекса во всех парках колеблется от 0 до 0,096. Это значит, что уровень доминирования отдельных видов не очень высокий. Но в парке имени 50-летия Великого Октября индекс Симпсона равен 0,096, что близко к высокому уровню доминирования и, следовательно, видовое разнообразие в этом парке минимальное, в сравнении с другими парковыми зонами.

Определение возможных изменений в доминировании и отражение относительной значимости наиболее обильного вида птиц проводилось с помощью индекса Бергера–Паркера. Доминирование одного наиболее обильного вида наблюдается в парке Челюскинцев и Ботаническом саду (зяблик), а также в парке имени 50-летия Великого Октября (большая синица). Индекс равен соответственно 7,24 и 7,35. В памятнике природы Дубрава индекс составил 9,65, в лесопарке Медвежино 10,25. Это означает, что на данных территориях также присутствует доминирование одного вида, но оно выражено слабее, чем в парке Челюскинцев и Ботаническом саду.

Таким образом, установлено, что на территории парков города Минска обитает 61 вид птиц, относящихся к 8 отрядам. Большинство выявленных птиц относится к гнездящимся видам, что указывает на благоприятные условия для гнездования в парковых комплексах города. Доминирующими видами по экологическим группам являются лесные птицы, что также указывает на благоприятные условия для обитания птиц в парках. Также установлено, что биоразнообразие птиц зависит от экологических условий их места обитания. Так, наиболее благоприятными территориями для обитания птиц являются парк Дрозды и Лошицкий усадебно-парковый комплекс. Этот факт доказывается высокой суммарной плотностью населения орнитофауны данных парков и высоким показателями индексов Шеннона и Маргалефа, степенью видового разнообразия и достаточно однородной численностью, что, в свою очередь подтверждается индексом Симпсона и Бергера–Паркера. Данные парки в минимальной степени подвержены антропогенной и техногенной нагрузке. Менее привлекательным местом для жизни птиц служит парк имени 50-летия Великого Октября. Это подтверждается показателями рассчитанных индексов, а также малым видовым разнообразием и выраженным доминированием одного вида (большая синица). Данная территория подвержена интенсивной техногенной нагрузке, так как находится в промышленном районе города.

ЛИТЕРАТУРА

1. Хандогий, Д. А. Особенности пространственной структуры птиц при русловых биотопах реки Свислочь и парковых зон Минского Мегаполиса / Д. А. Хандогий // Вопросы естествознания. – Минск: БГПУ, 2010. – С. 3–11.
2. Лебедева, Н. В. География и мониторинг биоразнообразия / Н. В. Лебедева. – М: Издательство Научного и учебно-методического центра, 2002. – 256 с.
3. Дорофеев, С. А. Закономерности пространственного распределения и формирования орнитокомплексов сосновых лесов белорусского поозерья / С. А. Дорофеев // Актуальные проблемы зоологической науки в Беларуси. – 2017. – № 1. – С. 119–128.

БОГОМОЛ *MANTIS RELIGIOSA* В БЕЛАРУСИ: РАСПРОСТРАНЕНИЕ И ОСОБЕННОСТИ РАЗВИТИЯ В НЕВОЛЕ *MANTIS RELIGIOSA* IN BELARUS: DISTRIBUTION AND CHARACTERISTICS OF THE DEVELOPMENT IN CAPTIVITY

***E. B. Serzhantova*¹, *E. T. Titova*², *T. P. Sergeeva*³
*E. Serzhantova*¹, *E. Titova*², *T. Sergeeva*¹**

¹Гимназия № 43 г. Минска, г. Минск, Республика Беларусь

²Белорусский республиканский фонд фундаментальных исследований, г. Минск, Республика Беларусь

³Белорусский государственный университет, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ,
г. Минск, Республика Беларусь
sergeeva.t57@gmail.com

¹Gymnasium № 43 of Minsk, Minsk, Republic of Belarus

²Belarusian Republican Foundation for Fundamental Research, Minsk, Republic of Belarus

³Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus

Приводятся сведения о появлении инвазивного вида – богомола обыкновенного (*Mantis religiosa*) в Беларуси и результатах наблюдения за ним как в естественной среде, так и в условиях лабораторного эксперимента. Проведено анкетирование о местах его находок в различных районах Беларуси, а также получены данные об особенностях его поведения и трофических характеристиках. Анализируется роль *Mantis religiosa* в биогеоценозах с точки зрения возможного вреда или пользы.

Information on the appearance of invasive species – common praying mantis (*Mantis Religiosa*) in Belarus and the stages of observing it both in the natural environment and in a laboratory experiment has been given. The results of the survey on its detection in different parts of the Republic, the peculiarities of its behavior and trophic characteristics have been presented in the form of tables. The role of *Mantis Religiosa* in biogeocenoses has been analyzed from the point of view of possible harm or benefit.

Ключевые слова: богомол обыкновенный, инвазивный вид, территория Беларуси, фенетический полиморфизм, трофическая характеристика, поведенческие реакции.

Keywords: common praying mantis, territory of Belarus, phonetic polymorphism, trophic characteristic, possible harm, possible benefit.

В настоящее время инвазии чужеродных видов признаны серьезной экологической проблемой, которая включает целый ряд негативных последствий экологического, экономического и социального характера. Этот процесс заметно интенсифицируется в связи с глобальным потеплением климата, разнообразием товарных и иных отношений, а также ростом транспортных потоков, что сопровождается увеличением числа видов, вытесняющих аборигенные и представляющих опасность для экосистем.

Роль чужеродных видов приобретает особую значимость, так как они способны конкурировать с аборигенами, а в отдельных случаях – размножаться в массе, принося ощутимый вред сельскохозяйственным угодьям. К настоящему времени территория Беларуси также не является исключением из процесса появления и заселения новых территорий чужеродными видами из разных систематических групп [1].

Так, за два с небольшим десятилетия по всей территории Беларуси расселился представитель отряда богомоловых (Mantoidea) – обыкновенный богомол *Mantis religiosa* (Linnaeus, 1758), обычно ассоциирующийся с южными субтропическими и тропическими регионами. Первая находка богомола на территории Беларуси зафиксирована кандидатом биологических наук В. Н. Евдокимовым в окрестностях поселка Бабчин, расположенного на территории Полесского радиационно-экологического заповедника Хойникского р-на Гомельской обл. Позднее (2003 г.), богомол обыкновенный был найден Т. П. Смирновой (Сергеевой) [2] также в окрестностях п. Бабчин и в 2008 г. – на территории Березинского биосферного заповедника – А. О. Лукашук [3]. Появление этого вида

в умеренных условиях обусловлено несколькими факторами: осушением низинных болот в 60–70 гг. прошлого столетия, ранее служивших барьером для элементов степной и пустынной фауны [2], изменением климата в сторону потепления [4], а также иными путями миграции.

В настоящее время встречается повсеместно единичными экземплярами на территории Беларуси. Крайняя точка обнаружения богомола зарегистрирована на севере Беларуси (окрестности д. Барковичи). Наибольшее же количество находок приходится на 2015–2017 гг. – наблюдается тенденция возрастания скорости его расселения. Данные о распространении богомола обыкновенного и местах его обнаружения на территории Беларуси (по результатам проведенного анкетирования) представлены на рис. 1.

Место обнаружения богомола	Конец 90-х прошлого столетия	2008 год	2010 год	2015 год	2016 год
Хойницкий р-н, д. Бабчин	август- сентябрь				
Березинский биосферный заповедник		август- сентябрь			
г. Марьина Горка			9 августа		
г. Витебск			16 августа		
г. Осиповичи				2 августа	
г. Борисов				7 августа	
г. Барановичи				7 августа	
г. Слуцк				8 августа	
г. Гродно				14 августа	
г. Брест				15 августа	
Пуховичский р-н, д. Задоценье				14 октября	
Верхнедвинский р-н, д. Борковичи					10 августа
г. Солнгорск					11 августа
г. Барановичи					17 августа
г. Минск					22 августа
Молодеченский р-н, д. Пралески					26 августа
Ляховичский р-н, д. Миничи					20 августа
Пуховичский р-н, д. Турин					10 августа
г. Заславль					16 октября



Рисунок 1 – Места обнаружения богомола обыкновенного на территории Беларуси

Появление и довольно быстрое распространение *Mantis religiosa* по всей территории Беларуси, а также отсутствие сведений о пищевых предпочтениях и экологических характеристиках в новых условиях, явилось основанием для начала изучения структурно-функциональной организации и особенностей его развития в онтогенезе.

Богомол, в отличие от большинства инвазивных видов-фитофагов, относится к хищникам, что, с одной стороны, позволяет не опасаться угрозы с его стороны для растительных сообществ, а с другой – из-за отсутствия сведений о его трофических связях в иных климатических условиях – возникает сложность оценки его роли как одного из звеньев пищевой цепи.

Наблюдения в природе, проведенные учащимися гимназии № 43 г. Минска, позволили выявить наличие особей богомола, отличающихся по цвету тела. Отмечено, что в новых микрорайонах: «Сухарево» и «Каменная горка», наряду с особями зеленой окраски, встречаются и бурые, а в условиях, приближенных к естественным – микрорайон «Уручье» – преобладает зеленый окрас (рис. 2 – в (2, 2 и 3) соответственно. Так, фенотипические различия по окраске тела отражают широту нормы реакции на среду обитания: зеленые особи обычно встречаются на вегетирующей растительности, а бурые – на выгоревшей на солнце. Бурые особи в пределах Минска были приурочены к урбанизированным условиям, а особи зеленого цвета – в условиях, приближенных к естественной среде (рис. 2).



Рисунок 2 – Фенотипическая структура популяций *Mantis religiosa* в разных районах г. Минска

Данные, полученные в результате проведенного эксперимента по изучению рациона богомола как на стадии имаго, так и личинки, позволили установить некоторые особенности его трофических взаимоотношений. Так, было выявлено, что при наличии разнообразия кормовых объектов, представленных членистоногими, самки богомола предпочитают медоносных пчёл, самцы же их избегают, что свидетельствует о потенциальной опасности для опылителей, исходящей от богомола. Саранчовые же, которые являются любимым лакомством в естественной среде обитания, были вторыми в условиях эксперимента по пищевым предпочтениям, что дает основание говорить о возможной пользе, приносимой богомолем путем снижения численности саранчовых – опасных вредителей сельхозугодий. Также отмечено, что богомолы в условиях неволи могут питаться личинками двукрылых (мух и комаров), что характеризует их как полифагов, однако проявляющих пищевые предпочтения.

Важность качественного состава пищи становится очевидной, если учесть, что она оказывает непосредственное влияние на развитие, подвижность и продолжительность жизни имаго (рис. 3). Трофические связи имаго *Mantis religiosa* на всех питающихся стадиях представлены в табл. 1.

Таблица 1 – Спектр питания *Mantis religiosa* в онтогенезе в экспериментальных условиях

Кормовые объекты	Стадия развития		
	Нимфа	Личинка	Имаго
Комнатная муха (<i>Musca domestica</i>)			+
Тля (<i>Aphidoidea</i>)	+	+	
Дрозофила обыкновенная (<i>Drosophila melanogaster</i>)	+	+	
Личинка мухи		+	+
Личинки комара		+	+
Конек обыкновенный (<i>Chorthippus brunneus</i>)			+
Капустница (<i>Pieris brassicae</i>)			+
Личинки бабочки			+
Бумажная оса (<i>Dolichovespula saxonica</i>)			+
Медоносная пчела (<i>Apis mellifera</i>)			+
Стрекоза (<i>Odonata sp.</i>)			
Домовой паук (<i>Tegenaria domestica</i>)			+
Сверчок домашний (<i>Acheta domesticus</i>)			+
Шершень обыкновенный (<i>Vespa crabro</i>)			+
Муха журчалка (<i>Syrphidae</i>)			+
Рогачик жужелицевидный (<i>Platycerus caraboides</i>)			

Богомолы проявляют склонность к каннибализму, который наблюдается даже у молодых личинок при совместном их воспитании [6]. В природе самец, съеденный самкой после спаривания, приносится в жертву будущему потомству, за счет белка, способствующего образованию большего количества жизнеспособных оотек для продолжения рода. Это в естественной среде, а что – в неволе? Наблюдения за брачным поведением богомолов в лабораторных условиях позволяют судить о заораживающем и весьма сложном и характере этого процесса. В условиях эксперимента, имитирующих естественную среду, когда пищевой ресурс ограничен, а самец был спаривания устранен, потомство не появилось. Однако при избытке корма в условиях неволи самцы не всегда во время бывают съеденными.

Отмечено также, что откладка яиц происходит на верхней и внутренней поверхности листа, внутри сухих листьев, а также на крышке террариума, что является адаптивным механизмом в условиях колебания температуры и влажности [5], служащим для сохранения потомства. Развитие личинок в лабораторных условиях происходило в течение чуть более или менее месяца при заданной температуре 25 °С, близкой к естественной среде обитания, а при температуре ниже 20 °С – личинки не вылупляются.



Рисунок 3 – Зависимость продолжительности жизни имаго *Mantis religiosa* от разнообразия корма

В результате проведенных лабораторных исследований установлено, что, находясь в условиях эксперимента, богомол на разных стадиях развития проявляет разные пищевые предпочтения, что соответствует литературным данным [6]. Также выявлено, что недостаток пищи вызывает замедление развития и уменьшение репродуктивного потенциала. По результатам эксперимента, соответствующим литературным данным, личинки и нимфы богомола питаются тлей, что может быть использовано в качестве биологического метода борьбы с этим вредителем в теплицах.

Относительно путей распространения этого вида в условиях Беларуси представляет интерес информация из интернет-источников [1; 4]. Так, приводятся примеры появления личинок в домашних условиях в апреле 2018 г., что объяснимо поступлением к празднику 8 Марта больших партий акации серебристой (*Acacia dealbata*). Букеты зачастую хранятся при комнатной температуре в течение месяца и этого времени достаточно (при наличии кладки) для появления нимф. Таким образом, естественно предположить, что кладки, сохранившиеся на растениях акации, попав в благоприятные условия, не погибают, а отродившиеся личинки попадают в окружающую среду, что является одним из путей распространения богомола обыкновенного в условиях умеренного климата.

Доказательством возможности богомола размножаться в условиях Беларуси служат данные о находке личинки богомола орнитологами в период учета водоплавающих птиц на территории заказника «Гродненская Свислочь» <https://news.tut.by/culture/552730.html>. Кроме того, находки взрослых особей богомолов разного пола и окраса три года подряд учащимися биологического кружка гимназии № 43 г. Минска в ее окрестностях свидетельствуют о соответствии экологических условий данной местности требованиям богомола к условиям среды.

В связи с вышесказанным, особую значимость приобретают сведения о роли богомола в борьбе с вредителями-фитофагами садовых, парковых и тепличных комплексов, что требует продолжения исследований в данном направлении. Однако вызывает опасение тот факт, что кормовыми объектами богомола обыкновенного являются опылители, в частности пчелы, что обуславливает необходимость также дальнейшего исследования трофических связей богомола. Все это может быть осуществимо в рамках одной из основных задач современной энтомологической науки – проведение мониторинга природных популяций насекомых с целью регуляции их численности для сохранения естественного равновесия [7].

ЛИТЕРАТУРА

1. Семенченко, В. Проблема чужеродных видов в фауне и флоре Беларуси / В. Семенченко // Наука и инновации. – 2006. – № 10 (44). – С. 15–20.
2. Сергеева, Т. П. Фаунистический анализ прямокрылых (Orthoptera) в Беларуси / Т. П. Сергеева // Фундаментальные проблемы энтомологии в 21 веке: материалы международной научной конференции, С-Петербург, 16–20 мая 2011 г. – СПб: Изд-во С.-Петербургского ун-та, 2011. – С. 150–152.
3. Особо охраняемые природные территории Беларуси. Исследования. Вып. 3. – Минск: Белорусский дом печати, 2008. – 152 с.
4. Богомолы в Минске [Электронный ресурс]. – URL: <https://news.tut.by/society/589533.html> (дата обращения: 27.08.2018).
5. Чернышев, В. Б. Экология насекомых / В. Б. Чернышев. – М.: Изд-во МГУ, 1996. – 304 с.
6. Жизнь животных. – М.: «Просвещение», 1969. – Т. 3. – С. 211–215.
7. Опыт оценки таксономического разнообразия животного мира Беларуси // Вестник БГУ. – 2001. – № 1. – С. 40–42.

РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ КОПЫТНЫХ ЖИВОТНЫХ НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКА «ПРИПЯТСКИЙ» И ИХ СРЕДЫ ОБИТАНИЯ

RADIOECOLOGICAL MONITORING OF THE UNGULATE ANIMALS OF THE PRIPYAT NATIONAL PARK AND THEIR HABITANTS

А. А. Сулковская¹, М. В. Пашук², Е. Г. Бусько¹

A. Sulkovskaya¹, M. Pashuk², Eu. Buśko¹

¹Белорусский государственный университет, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ,
г. Минск, Республика Беларусь

²ГПУ «Национальный парк «Припятский», Петриковский район, Гомельская область,
Республика Беларусь
anastasiasulkovskaya@mail.ru

¹Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus

²GPU "Pripyat National Park", Petrikov district, Gomel region, Republic of Belarus

Представлены материалы по уровню загрязнения ¹³⁷Cs органов и тканей копытных животных Национального парка «Припятский» и травянистой растительности – важнейшего их кормового ресурса. Согласно проведенным исследованиям установлено: средняя удельная активность ¹³⁷Cs в отдельных органах и тканях

дикого кабана варьировала в пределах от 32,3 до 219,1 Бк/кг, минимальная – от 0 до 7,2 Бк/кг, максимальная – от 243,1 до 789,3 Бк/кг. Подчеркнута роль гидрологического режима почв в поступлении радиоизотопов в растения. Диапазон изменения коэффициентов перехода ^{137}Cs по исследуемым видам довольно широк: для корней – от 1,8 до 18,7, для надземной части – от 1,5 до 7,7. При этом в корнях отдельных видов растений он варьировал в корнях от 0 до 71,9.

Here are the materials about the level of ^{137}Cs contamination of organs and tissues of ungulates of the Pripyat National Park and grassy vegetation – it's the most important food resource. According to the conducted research, it was found that the average specific activity of ^{137}Cs in individual organs and tissues of wild boar varied from 32.3 to 219.1 Bq / kg, the minimum – from 0 to 7.2 Bq / kg, and the maximum – from 243.1 to 789.3 Bq / kg. The role of the soil hydrological regime in the entry of radioisotopes into plants is emphasized. The range of change of ^{137}Cs transition coefficients for the studied species is quite wide: for the roots – from 1.8 to 18.7, for the aerial part - from 1.5 to 7.7. At the same time, in the roots of individual plant species, it varied in the roots from 0 to 71.9.

Ключевые слова: Припятское Полесье, национальный парк «Припятский», дикие копытные, внутренние органы и ткани, травянистые растения, желуди дуба, удельная активность ^{137}Cs .

Keywords: Pripyat Polesie, Pripyat National Park, wild ungulates, internal organs and tissues, herbaceous plants, acorns, ^{137}Cs specific activity.

В настоящее время Припятское Полесье характеризуется исключительными ресурсами биологического и ландшафтного разнообразия общеевропейского значения, несмотря на значительную трансформацию природных комплексов, связанную прежде всего, с широкомасштабной гидротехнической мелиорацией [1]. Авария на Чернобыльской АЭС также имеет глобальный характер не только по своим масштабам, но и по широте воздействия на различные структурные составляющие биогеоценозов, среди которых фауна является наиболее радиочувствительной из компонентов биологического разнообразия, данного региона Республики Беларусь. Радиационный фактор в определенной степени повлиял на окружающую среду, в условиях которой обитают дикие животные.

До настоящего времени остаются мало изученными закономерности миграции радионуклидов в трофической цепи диких животных. Мало данных по показателям уровня накопления и распределения ^{137}Cs по органам и тканям диких копытных животных, уровням дозовых нагрузок на их организм от внешнего и внутреннего облучения [2; 3]. Таким образом, проведение постоянных наблюдений за уровнем загрязнения ^{137}Cs органов и тканей копытных животных и среды их обитания, в частности травянистой растительности – важнейшего их кормового ресурса, является весьма актуальным. Объектом настоящих исследований является дикий кабан – один из самых распространенных в Полесском регионе видов диких промысловых копытных. Также были проведены исследования уровня загрязнения ^{137}Cs растительных кормов (травянистые растения и желуди дуба), составляющих его пищевой рацион, изучен уровень накопления ^{137}Cs 10 видами высших растений, произрастающих в различных лесных биотопах.

Радиоэкологический мониторинг, который является наиболее эффективным методом, соответствующим для решения данного вопроса и представляет собой систему наблюдений за радиационной ситуацией окружающей среды, изменением ее объектов под действием радиационного фактора, а также уровнем аккумуляции радионуклидов в природных объектах.

От выбора приемов отбора образцов и первичной их подготовки в значительной мере зависят объективность и точность результатов последующего исследования и заключения о радиационном благополучии исследуемого объекта. При отборе образцов необходимо соблюдать определенные правила:

– берется усредненная проба. С этой целью отбирают несколько небольших объемов материала на различных участках или местах, которые затем объединяют и готовят единую среднюю пробу;

– масса и объем образца должны быть достаточными для обеспечения оптимальных условий измерения удельной активности;

– каждый отдельный образец должен иметь отдельную упаковку с соответствующей маркировкой.

Отобранные средние образцы взвешивают, упаковывают в чистую сухую тару (бумажные пакеты), соответствующую виду продукта, снабжают этикеткой с указанием названия продукта (сырья), его массы, мощности дозы гамма-излучения от него, даты и места отбора.

Для исследований животного отбираются следующие его органы и ткани: сердце, легкое, селезенка, почки, печень, мышца, шерсть, толстый кишечник, а также репродуктивные органы (семенники, яичники).

Отбор образцов травянистых растений проводится на элементарных участках путем сбора растений или их частей в 5–10 местах обследуемого участка. В пределах квартала по возможности устанавливается 8–10 постоянных учетных площадок размером 1×1 м. Травянистые растения срезаются на высоте 3–5 см от поверхности почвы, либо у самой земли (в зависимости от вида и высоты растения).

Отбор образцов желудей проводится аналогично отбору проб травянистых растений.

Кроме этого, отбираются образцы почвы в точках отбора проб травянистой растительности по почвенному профилю. Перед отбором проб проводится измерение мощности экспозиционной дозы гамма-излучения (мкЗв/ч) в 5 пунктах проведения исследований, соответствующим местам отбора почвенных образцов.

Измерение удельной активности исследуемых проб проводится на гамма-радиометре спектрометрического типа РКГ-АТ1320. Спектрометрический метод измерения используется в случае, когда радиоактивные образцы содержат комплекс радионуклидов различных видов. При этом требуется определение активности каждого нуклида или его относительного содержания. Все перечисленные выше задачи, несмотря на их специфику и разнообразие, сводятся фактически к идентификации радионуклидов в исследуемом объекте и установлению их активности в долевого содержания.

Таким образом, измерение удельной активности исследуемых объектов выполняют методом регистрации гамма-излучения спектрометрическим сцинтилляционным блоком детектирования с последующим преобразованием полученных данных. Результатом регистрации гамма-излучения от исследуемой пробы являются аппаратные спектры импульсов от детектора.

1. Согласно данным исследований 2013 г., средняя удельная активность ^{137}Cs в отдельных органах и тканях дикого кабана варьировала в пределах от 32,3 до 219,1 Бк/кг, минимальная – от 0 (ниже предела обнаружения) до 7,2 Бк/кг, максимальная – от 243,1 до 789,3 Бк/кг. В 2013 г. эти показатели составили: средняя удельная активность – 27,8–187,2 Бк/кг, минимальная – 0–19,8 Бк/кг, максимальная – 100,7–1041,0 Бк/кг [4].

За время исследований установлено, что в 2013 году максимальным уровнем загрязнения ^{137}Cs всех органов и тканей дикого кабана характеризовался молодняк, минимальной – взрослые особи. Уровень загрязнения сеголеток и подсвинков оказались весьма близки. У особой кабана всех изученных групп возраста максимальная средняя удельная активность отмечена в мышечной ткани; несколько ниже (до 1,2 раза) – в сердце; в легких средняя удельная активность радионуклида оказалась гораздо ниже – до 3,9 раз. В каждом покрове исследуемого вида средний показатель уровня загрязнения радионуклидом оказался минимальным. При изучении половых различий дикого кабана установлено, что удельная активность ^{137}Cs в органах и тканях самцов в 2013 г. оказалась несколько выше, чем у самок.

В порядке снижения уровня текущего загрязнения радионуклидом ^{137}Cs органов и тканей дикого кабана в 2013 г. установлен следующий ряд: мышцы (максимальная удельная активность радионуклида) > сердце > легкое > шерсть с кожей. Максимальная средняя удельная активность ^{137}Cs во всех органах и тканях зафиксирована у молодняка, минимальная – у взрослых особей. Уровни загрязнения сеголеток и подсвинков оказались весьма близки. Существенных различий радиоактивного загрязнения самок и самцов не выявлено. В 2011–2013 гг. прослеживается флуктуация уровня загрязнения ^{137}Cs органов и тканей кабана с небольшим увеличением исследуемых показателей в 2012 г. и некоторым снижением их в 2013 г.

2. Основным путем поступления радионуклидов в организм дикого кабана является пероральный путь, то есть поступление радиоактивных изотопов с пищей. В 2013 г. нами были проведены исследования уровня загрязнения радионуклидом 10 видов травянистых растений, входящих в состав пищевого рациона диких копытных животных. Важную роль в аккумуляции ^{137}Cs высшими растениями играют условия их местопроизрастания, поскольку основным источником его поступления в растения является почва. Усвоение радионуклидов корневыми системами растений является главным фактором, определяющим радиационную опасность на загрязненной территории. Экспериментальные исследования по уровню накопления радионуклидов ^{137}Cs высшими растениями показали, что их содержание в растениях могут значительно превышать содержание радионуклидов в почве. Следовательно, на процесс перехода радионуклидов из почвы в растения оказывают воздействие и другие факторы. Значительную роль в поступлении радионуклидов в растения играет гидрологический режим почв.

Результаты исследований (рис. 1), свидетельствуют о значительной вариабельности средней удельной активности в наземных и подземных органах исследуемых травянистых растений. Все изученные виды условно можно разделить на группы по величине удельной активности ^{137}Cs в подземной их части. К первой группе относятся виды, в корнях которых зафиксирована относительно высокая средняя удельная активность радионуклида: майник двулистный (352,8 Бк/кг), марьянник луговой (311,5 Бк/кг) и ландыш майский (301,8 Бк/кг). Ко второй группе – черника обыкновенная, в корнях которой также был установлен значительный уровень накопления ^{137}Cs (175,7 Бк/кг). В третью группу вошли следующие виды: чистец болотный (115,2 Бк/кг), череда трехраздельная (114,9 Бк/кг), земляника лесная (100,3 Бк/кг) и горец шероховатый (94,4 Бк/кг). Далее в порядке снижения уровней загрязнения радионуклидом следует ежа сборная (65,0 Бк/кг) и замыкает ряд мятлик однолетний (27,7 Бк/кг).

Для надземной части растений установлена несколько иная последовательность видов в порядке убывания величины их средней удельной активности ^{137}Cs : черника (137,0 Бк/кг) > майник двулистный (126,1 Бк/кг) > земляника лесная (117,9 Бк/кг) > ландыш майский (102,5 Бк/кг) > марьянник луговой (74,2 Бк/кг) > чистец болотный (41,4 Бк/кг) > горец шероховатый (40,6 Бк/кг) > мятлик однолетний (30,9 Бк/кг) > череда трехраздельная (23,2 Бк/кг) > ежа сборная (22,3 Бк/кг). Установленный диапазон изменения коэффициентов перехода ^{137}Cs по видам довольно широк. Так, для корней он варьирует от 1,8 до 18,7, для надземной части – от 1,5 до 7,7. При этом в отдельных видах растений он варьировал в корнях от 0 до 71,9.

Сравнительный анализ диаграмм средней удельной активности (рис. 1) и средних коэффициентов перехода (рис. 2) ^{137}Cs в исследованных видах растений, позволил установить последовательность видов растений в рядах снижения указанных показателей.

В пределах одного типа условий произрастания величина коэффициентов перехода зависит от древесного состава лесных насаждений. В смешанных древостоях коэффициенты перехода у всех видов на 30–40 % выше, чем в чистых насаждениях. Меньше накапливают растения, произрастающие на песчаных и подзолистых почвах.

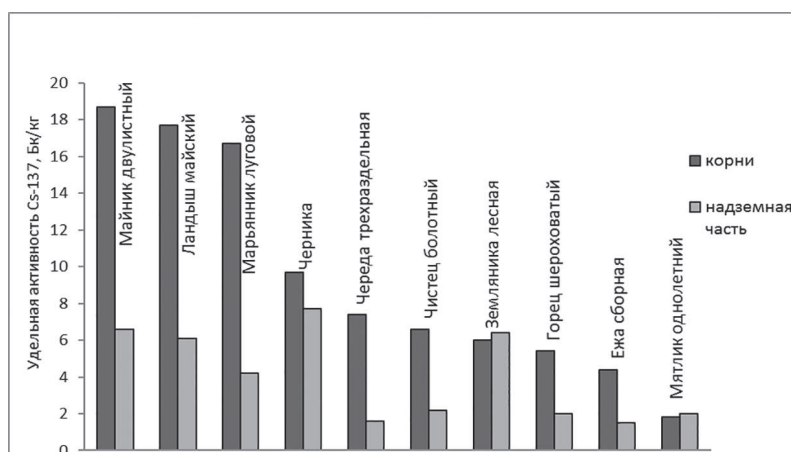


Рисунок 1 – Средняя удельная активность ¹³⁷Cs в травянистых растениях

На долю дубрав в Национальном парке «Припятский» приходится 12,2 % лесопокрытой площади [4]. С конца лета и до поздней осени дикие копытные, и прежде всего дикий кабан, активно включают желуди дуба в свой кормовой рацион.

Проведенными исследованиями установлено, что удельная активность ¹³⁷Cs в желудях дуба в 2013 г. изменялась в широком диапазоне – от 18,6 до 665,0 Бк/кг и в среднем для 56 проб составила 169,0±16,0 Бк/кг при коэффициенте вариации 71 % и показателе точности 95 %. Если сравнивать полученные результаты с данными 2007 г., то очевидно, что с течением времени показатели средней удельной активности ¹³⁷Cs в желудях постепенно снижаются [5].

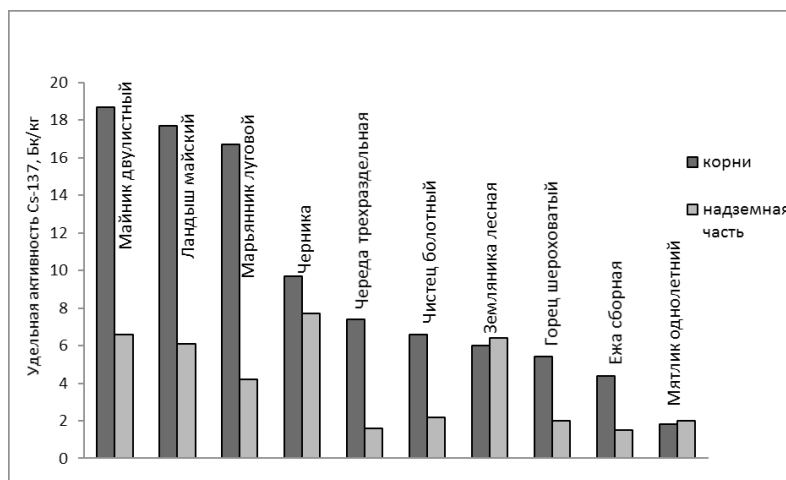


Рисунок 2 – Средние коэффициенты перехода ¹³⁷Cs из почвы в травянистые растения

Средняя удельная активность ¹³⁷Cs в желудях дубрав, произрастающих в зоне периодического радиационного контроля незначительно выше, чем на «чистой» территории. Максимальный уровень загрязнения ¹³⁷Cs желудей установлен в злаково-пойменной и черничной дубравах, минимальный – в снытевого и кисличного типа. В эдафотобах, схожих по трофности, но различных по условиям влагообеспеченности средняя удельная активность ¹³⁷Cs в желудях от свежих гигротопов к влажным существенно возрастает. В эдафотобах, схожих по влагообеспеченности, но различных по уровню плодородия с увеличением трофности почв уровень загрязнения желудей снижается. С увеличением возраста дубрав средняя удельная активность ¹³⁷Cs в желудях возрастает, достигая максимума в группе возраста 100–110 лет, после которого наблюдается ее снижение.

Исследования показали, что самой высокой удельной активностью характеризуются желуди дубрав злаково-пойменной и черничной. Далее по убывающей следуют дубрава орляковая, луговая и папоротниковая. Самыми «чистыми» оказались желуди, пробы которых отобраны в дубравах снытевой и кисличной.

Максимальная средняя удельная активность ¹³⁷Cs в желудях отмечена в Житковичском лесничестве, земли которого в большинстве своем относятся к зоне периодического радиационного контроля (табл. 1). Несколько ниже этот показатель установлен в Найдянском лесохозяйственном участке. Минимальная средняя удельная активность зафиксирована в желудях Озеранского лесничества. Однако статистически достоверные различия между средними показателями удельной активности ¹³⁷Cs в желудях в сравнении по лесничествам на 95 % доверительном уровне отмечены лишь в 53 % случаях.

Таблица 1 – Статистические показатели удельной активности ^{137}Cs в желудях дуба по лесничествам национального парка «Припятский»

Стат. показатели	Лесничества					
	Найдянский л/х участок	Ричевское	Житковичское	Переровское	Снядинское	Озеранское
n	19	2	4	14	10	7
min	57,0	162,0	68,9	45,6	18,6	42,1
max	665,0	184,5	486,9	231,5	213,3	149,2
M	228,8	173,3	296,8	128,7	122,3	79,7
±m	32,6	11,3	101,1	14,2	17,5	12,6
σ	142,2	15,9	202,1	53,2	55,3	33,4
V	62,1	9,2	68,1	41,3	45,2	41,9
P	14,3	6,5	34,1	11,0	14,3	15,8

Таким образом, установлено, что в 2013 г. максимальным уровнем загрязнения ^{137}Cs всех органов и тканей дикого кабана характеризовался молодежь (именно в этой возрастной категории зафиксирован самый высокий абсолютный показатель удельной активности исследуемого изотопа), минимальной – взрослые особи. Уровни загрязнения сеголеток и подсвинок оказались весьма близки. У исследованных особей всех групп возраста максимальная средняя удельная активность отмечена в мышечной ткани; несколько ниже (до 1,2 раза) – в сердце; в легких средняя удельная активность радиоиотопа оказалась меньше до 3,9 раз. В кожном покрове средний показатель уровня радиоактивного загрязнения оказался минимальным. Существенных различий между уровнем загрязнения радионуклидами самок и самцов дикого кабана не выявлено.

Основным путем поступления радионуклидов в живой организм является пероральный путь, то есть поступление радиоактивных изотопов с пищей. Важную роль в аккумуляции ^{137}Cs растениями играют условия их местообитания. Основным источником поступления радионуклидов в растения является почва, в которой содержится весь запас выпавших радионуклидов. Значимую роль в поступлении радиоиотопов в растения также играет гидрологический режим почв. Диапазон изменения коэффициентов перехода ^{137}Cs по видам довольно широк: для корней – от 1,8 до 18,7, для надземной части – от 1,5 до 7,7. При этом в корнях отдельных видов растений он варьировал в корнях от 0 до 71,9.

Средняя удельная активность ^{137}Cs в желудях дубовых древостоев, произрастающих в зоне периодического радиационного контроля незначительно выше, чем на «чистой» территории. Максимальный уровень накопления ^{137}Cs желудями установлен в злаково-пойменной и черничной типах дубрав, минимальный – в снытевом и кисличном типе. В эдафотопях, схожих по трофности, но различных по условиям влагообеспеченности средняя удельная активность ^{137}Cs в желудях от свежих гиргтопов к влажным возрастает. В эдафотопях, схожих по влагообеспеченности, но различных по плодородию с увеличением трофности почв уровень загрязнения желудей снижается. С увеличением возраста дубрав средняя удельная активность ^{137}Cs в желудях возрастает, достигая максимума в группе возраста 100–110 лет, после которого наблюдается ее снижение.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бусько, Е. Г. Экологическая ценность природных комплексов национального парка «Припятский» / Е. Г. Бусько // Современное состояние, тенденции развития, рациональное использование и сохранение биологического разнообразия растительного мира: материалы Междунар. науч. конф. (Сарны, 14–15 июня 2014 г.) / ред. кол. И. Н. Голубец (гл. ред.) [и др.]. – Ровно: Экоперспектива, 2014. – С. 132–140.
2. Горбунова, М. В. Особенности накопления радиоцезия в мясе диких животных в условиях Национального парка Республики Беларусь «Припятский» / М. В. Горбунова // Актуальные и новые направления сельскохозяйственной науки: материалы VI Междунар. конф. молодых ученых, аспирантов и студентов. – Владикавказ: Изд-во «Горский госагроуниверситет», 2010. – 180 с.
3. Гулаков, А. В. Радиоэкологический мониторинг диких промысловых копытных юго-востока Беларуси в постчернобыльский период: автореф. на дис. ... канд. биол. наук А. В. Гулаков. – Гомель, 2001. – 28 с.
4. Горбунова, М. В. Загрязненность Cs-137 побегов крушины ломкой в раннезимний период в Национальном парке «Припятский» / М. В. Горбунова // Мониторинг окружающей среды: сб. материалов II Междунар. науч.-практ. конф., Брест, 25–27 сент. 2013 г.: в 2 ч. / Брест. гос. ун-т им. А. С. Пушкина; ред. кол.: И. В. Абрамова [и др.]. – Брест: БрГУ, 2013. – Ч. 2. – С. 99–100.
5. Углынец, А. В. Загрязненность желудей ^{137}Cs в Национальном парке «Припятский» / А. В. Углынец // Наука о лесе XXI века: материалы междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 80-летию Института леса НАН Беларуси, Гомель, 17–19 нояб. 2010 г. / Институт леса НАН Беларуси; редкол.: А. И. Ковалевич [и др.]. – Гомель: Институт леса НАН Беларуси, 2010. – С. 497–499.

ОСОБЕННОСТИ ЭКОЛОГИИ ОРНИТОЛОГИЧЕСКОГО НАСЕЛЕНИЯ РЕКИ СВИСЛОЧЬ

ECOLOGICAL FEATURES OF THE ORNITHOLOGICAL POPULATION OF THE SVISLOCH RIVER

А. В. Хандогий, А. В. Жилкевич

A. Handogy, A. Zhilkevich

Белорусский государственный университет, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ,

г. Минск, Республика Беларусь

alenazhilkevich@mail.ru

Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus

Представлены данные об экологических особенностях орнитофауны р. Свислочь. Выявлены экологические группы, экологический статус, биоразнообразие, доминирование определённых видов. Произведен расчет плотности и индексов Маргалефа и Бергера–Паркера. Наибольшим разнообразием отличается отряд Воробьинообразные. Доминирующими являются синантропные птицы, установлено, что большинство птиц являются гнездящимися перелетными и гнездящимися оседлыми.

The article presents data on the ecological features of the avifauna of the Svisloch river. Ecological groups, ecological status, biodiversity, dominance of certain species are revealed. Density and indices of Margalef and Berger–Parker were calculated. The greatest variety of different squad Sparrow. Synanthropic birds are dominant, it is established that the majority of birds are breeding migratory and nesting sedentary.

Ключевые слова: птицы, экологические группы, экологический статус, биоразнообразие, доминирование.

Keywords: birds, ecological groups, ecological status, biodiversity, dominance.

В связи с активным ростом городского населения планеты особо остро встает вопрос сохранения биологического разнообразия на урбанизированных территориях. Антропогенная нагрузка сильно сказывается на состоянии природных мест обитания птиц. Особенно четко это заметно на территории крупных городов.

Местом проведения исследований являлась река Свислочь, протяженность которой на территории Минска – 22 км. В центре города берега Свислочи забетонированы и благоустроены. Природный режим реки зарегулирован многочисленными водохранилищами. Для удобства проведения исследований, река была условно поделена на 9 участков: от вдхр. Дрозды и до Чижовского вдхр.

Результаты исследования показали, что на территории реки Свислочь в летний период обитает 36 видов птиц. Самое большое количество видов обнаружено на первом участке – 20 видов. Затем идут участки 3, 8, 9, 6, 2, где зафиксировано 19, 16, 15, 13 и 11 видов соответственно. Наименьшим видовым разнообразием отличаются участки 4 и 5 (4 и 5 видов соответственно). Все зафиксированные птицы относятся к 11 отрядам (рис. 1). Наибольшим видовым разнообразием представлен отряд воробьинообразные, за ним идут отряды ржанкообразные, гусеобразные, аистообразные, голубеобразные и дятлообразные. Единичными видами представлены отряды поганкообразные, пеликанообразные, журавлеобразные, ястребообразные и стрижеобразные [1].

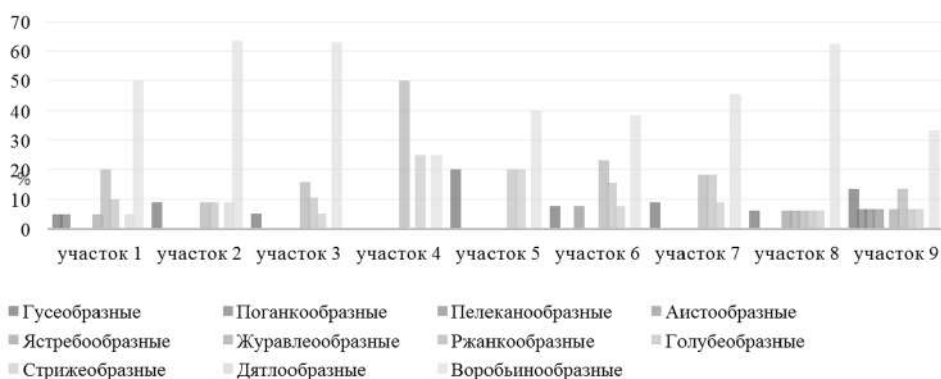


Рисунок 1 – Структура населения реки Свислочь

Всех выявленных птиц можно распределить по следующим экологическим группам: водно-болотные, околородные, синантропные, лесные и обитатели открытых ландшафтов (рис. 2). Выявлено четкое пространственное распространение ВВП на разных участках Свислочи – от периферии к центру снижение количества водно-болотных и околородных птиц и повышение числа лесных и синантропных видов, что согласуется с данными других

авторов [2]. По-видимому, эту закономерность можно объяснить сильной антропогенной нагрузкой на реку в центральных районах Минска и неблагоприятной экологической обстановкой.

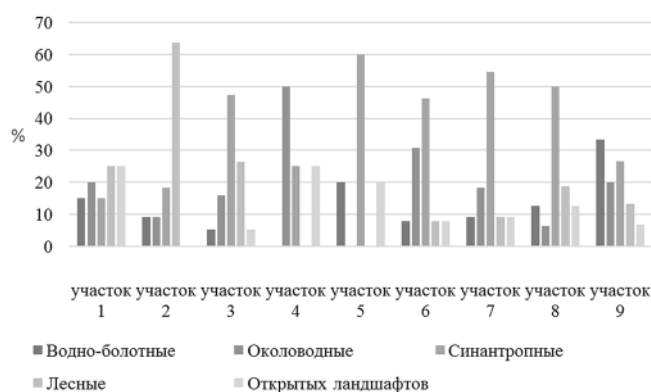


Рисунок 2 – Экологические группы птиц реки Свислочь

По экологическому статусу на изученной территории были выделены следующие группы птиц: гнездящиеся оседлые, гнездящиеся перелетные, гнездящиеся перелетные и в ограниченном количестве зимующие виды, мигрирующие (через рассматриваемую территорию) (рис. 3) [3]. Наибольшее количество видов птиц относится к статусу гнездящиеся перелетные и в ограниченном количестве зимующие и гнездящиеся перелетные виды. Единичные виды относятся к мигрирующим птицам.

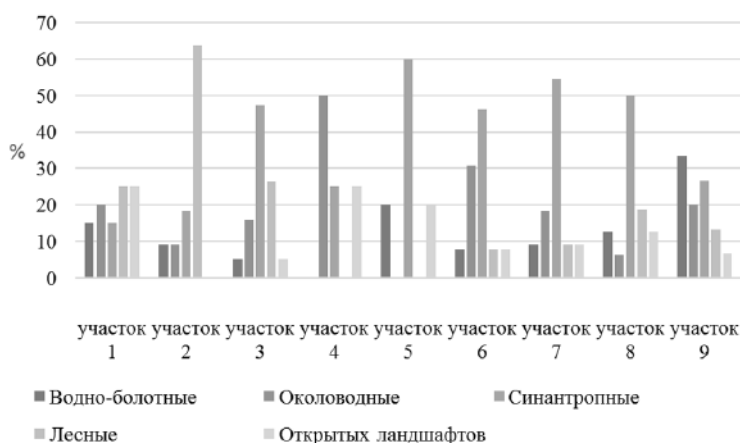


Рисунок 3 – Экологический статус птиц реки Свислочь

Общая плотность птиц равна 3,16 ос/га. Наибольшая плотность населения (рис. 4) наблюдается в участке 5–9 ос/га. Затем идет участок 6–7,68 ос/га. Плотность участков 3, 7, 8 критически не отличается. Наименьшая плотность наблюдается на участках 1 и 9 – 1,74 и 1,12 ос/га соответственно. Это связано с тем, что эти участки имеют наибольшую площадь и птицы расселяются свободно. Участки 5 и 6 имеют маленькую площадь и большое количество обитающих там птиц. Участки 7 и 8 имеют примерно одинаковую площадь и количество обитающих там особей. Участок 3 отличается большим обилием населения и площадью территории.

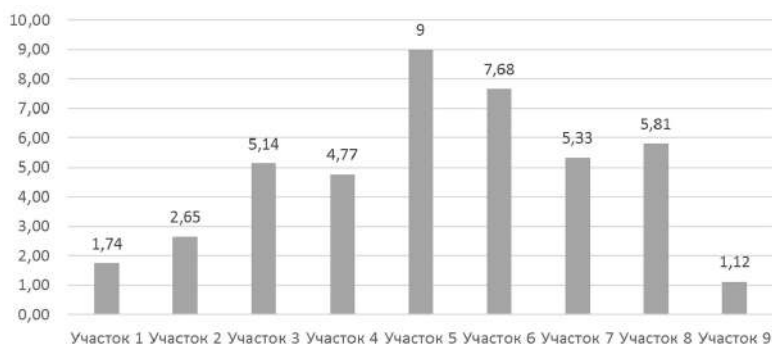


Рисунок 4 – Плотность населения птиц разных участков реки Свислочь

Для определения видового богатства на исследуемой территории был рассчитан индекс видового разнообразия Маргалефа [4]. Чем выше его показатель, тем выше разнообразие в выборке. Из рис. 5 следует, что наибольшим видовым разнообразием отличается участок 1. На его территории было зафиксировано 20 видов птиц. Затем

идут участки 3, 8, 9 с 19, 16 и 15 видами соответственно. Участки 2, 6 и 7 имеют примерно одинаковое количество видов – 11, 13, 11. Наименьшее видовое разнообразие отмечено на участках 4 и 5. Данные территории располагаются в центре города, где на реку приходится сильная антропогенная нагрузка, большое количество автотранспорта и изменены естественные берега, поэтому количество обитающих там видов не велико – 4 и 5 соответственно.

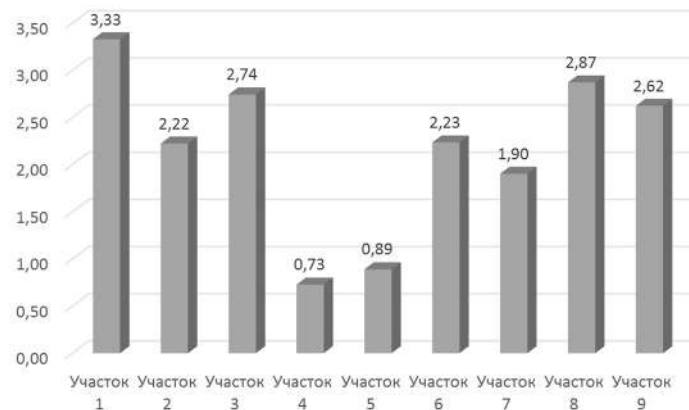


Рисунок 5 – Индекс видового разнообразия исследуемых участков реки Свислочь

Индекс Бергера–Паркера выражает относительную значимость наиболее обильного вида (рис. 6) [4]. Самый высокий показатель индекса на участке 9, наименьший на участке 4. Схожие показатели наблюдаются на территориях 1, 2, 5, 6 и 8. Увеличение индекса Бергера–Паркера означает уменьшение разнообразия и увеличение степени доминирования одного вида. Таким образом на участках 1, 2, 5, 6 и 8 все виды имеют равную значимость в структуре сообщества.

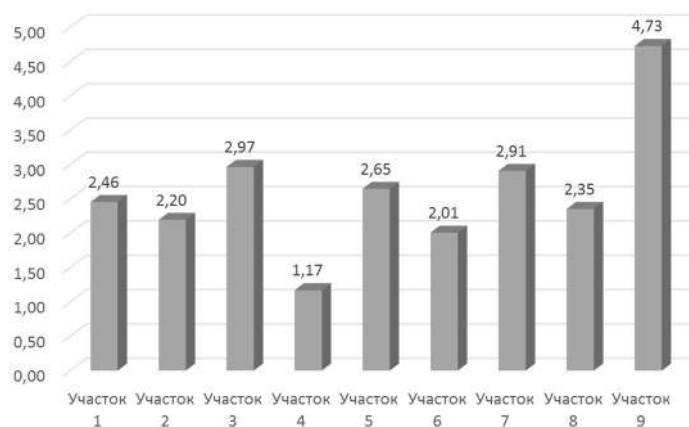


Рисунок 6 – Индекс Бергера–Паркера

Таким образом, установлено, что на территории р. Свислочь обитает 36 видов птиц, относящихся к 11 отрядам. Большинство выявленных птиц относится к гнездящимся видам, что указывает на благоприятные условия для гнездования на данной территории. Доминирующими видами по экологическим группам являются синантропные птицы, что также указывает на сильную антропогенную нагрузку на реку в пределах Минска и неблагоприятную экологическую обстановку для представителей других групп. Наименьшая плотность населения наблюдается на окраинных участках, что указывает на большую площадь и свободное расселение птиц. По рассчитанным индексам также можно отметить, что наиболее благоприятными территориями для обитания птиц являются периферийные участки р. Свислочь. Этот факт показателями индексов Маргалефа и Бергера–Паркера.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гомель, К. В. Особенности распределения сообществ водноболотных птиц на территории города Минска в летний период с помощью дискриминантного анализа / К. В. Гомель // Весці БДПУ. – 2014. – № 1. С. 39–43.
2. Хандогий, А. В. структура сообщества водно-болотных птиц р. Свислочь / А. В. Хандогий, К. В. Гомель, А. А. Сахнюк // Сахаровские чтения 2016 года: экологические проблемы XXI века: материалы 16-й междунар. науч. конф. – Минск, 2016. – С. 188–189.
3. Юрко, В. В. Биоразнообразие и успех размножения водоплавающих птиц на водохранилищах Минска / В. В. Юрко // Проблемы сохранения биологического разнообразия и использования биологических ресурсов: материалы III Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 110-летию со дня рождения акад. Н. В. Смольского. – Минск, 2015. – С. 333–337.
4. Лебедева, Н. В. География и мониторинг биоразнообразия / Н. В. Лебедева. – М: Изд-во Научного и учебно-методического центра, 2002. – 256 с.

**ЗАВИСИМОСТЬ ПЛОТНОСТИ НАСЕЛЕНИЯ И ОКРАСОЧНОГО ПОЛИМОРФИЗМА
СИНАНТРОПНОГО СИЗОГО ГОЛУБЯ (*Columba livia var. urbana*)
ОТ ТИПОЛОГИИ И ГРАДООБРАЗУЮЩЕЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ГОРОДОВ**

**DEPENDENCE OF THE POPULATION DENSITY AND THE PAINT
POLYMORPHISM OF SYNANTHROPIC ROCK DOVE (*Columba livia var. urbana*)
FROM TYPOLOGY AND CITY-FORMING ACTIVITIES**

И. М. Хандогий¹, В. Д. Падумо², М. В. Можейко²
I. Khandohiy¹, V. Paduto², M. Mozheiko²

¹Белорусский государственный университет, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ,
г. Минск, Республика Беларусь
handogiy@mail.ru

²Гимназия № 19 г. Минска, г. Минск, Республика Беларусь
¹Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus
²Gymnasium No. 19 of Minsk, Minsk, Republic of Belarus

Рассматривается изменение популяционных параметров синантропного сизого голубя (*Columba livia var. urbana*) в зависимости от типа населенных пунктов и степени антропогенной нагрузки. Проводится сравнительный анализ окрасочного полиморфизма, плотности населения сизого голубя в разных городах Минской области.

Article considers the change of population parameters of a rock pigeon (*Columba livia var. urbana*) depending on type of settlements and degree of anthropogenic loading. The comparative analysis of a painting polymorphism, population density of a rock pigeon in different cities of the Minsk region is carried out.

Ключевые слова: синантропный сизый голубь, морфа, численность, плотность, окрасочный полиморфизм, урбанизация.

Keywords: synanthropic rock dove, morph, abundance, density, painting polymorphism, urbanization.

Сизый голубь – массовый синантропный вид птиц Беларуси, обладающий высокой численностью населения в городах, которые стали для него новой экологической нишей. В диком виде местами встречается в Африке и Евразии (Крым, Кавказ). Синантропные же популяции заселили большинство городов мира. В Европе повсеместно встречается в населённых пунктах. В крупных городах является одной из самых многочисленных птиц. В этих условиях они находят новые источники пищи в виде многочисленных свалок и помоек с обилием пищевых отходов. Эти особенности обуславливают ряд проблем, связанных с пребыванием его на техногенных территориях. Приспособление птиц к жизни в антропогенных ландшафтах – проблема общебиологическая [1]. Наиболее эффективное использование ресурсов, приводящее к увеличению численности вида, требует медленной перестройки поведения и деталей экологии [2].

Птицы, как обязательный компонент животного населения городов, вовлекаются в процессы урбанизации, однако закономерности формирования сообществ птиц на антропогенно-трансформированных территориях и их роль в них исследованы недостаточно и требуют детального изучения.

Цель исследования – изучить особенности окрасочного полиморфизма и плотности населения сизого голубя в зависимости от типологии и градообразующей деятельности городов Минской области.

Изучение популяционной экологии сизого голубя проводилось в 2016–2018 гг. как в г. Минске, так и в 16 городах Минской области (Пуховичи, Руденск, Радошковичи, Крупки, Воложин, Логойск, Фаниполь, Боровляны, Смолевичи, Столбцы, Марьино Горка, Вилейка, Дзержинск, Жодино, Молодечно, Борисов), значительно отличающихся численностью населения и степенью антропогенной нагрузки.

Окрасочный полиморфизм синантропного сизого голубя определялся по общеизвестным методикам, с некоторыми дополнениями и изменениями [1; 2]. Всего для решения этой задачи нами было учтено более 28 тыс. голубей.

Скопления сизых голубей выявляли методом линейного маршрутного учета без ширины полосы [1]. Дальнейшие наблюдения вели методом точечного учета в утреннее и дневное время. При неблагоприятных погодных условиях (сильный ветер, дождь, снегопад) учеты не проводились.

Учеты и наблюдения проводили по местам скопления сизых голубей в дневное время во все времена года. Сроки проведения учетов соответствовали началу массовой репродукции голубей и ее завершению.

По признаку окраски оперения некоторые исследователи синантропных сизых голубей подразделяют на три группы: сизые (с окраской дикого типа), черно-чеканные и «абберранты» [1]. «Абберранты» обладают необычными и относительно редкими расцветками оперения. Они похожи по окраске на голубей домашних пород.

Как показали результаты исследований, самые большие скопления синантропного сизого голубя во всех городах Минской обл. выявлены в спальных районах пятиэтажных домов, в разы меньше – в районах многоэтажной застройки и очень низкие – в частном секторе (рис. 1). Пространственное распространение сизых голубей не зависит от степени удаленности от центра к периферии и наоборот. На примере города Минска такой закономерности не выявлено.

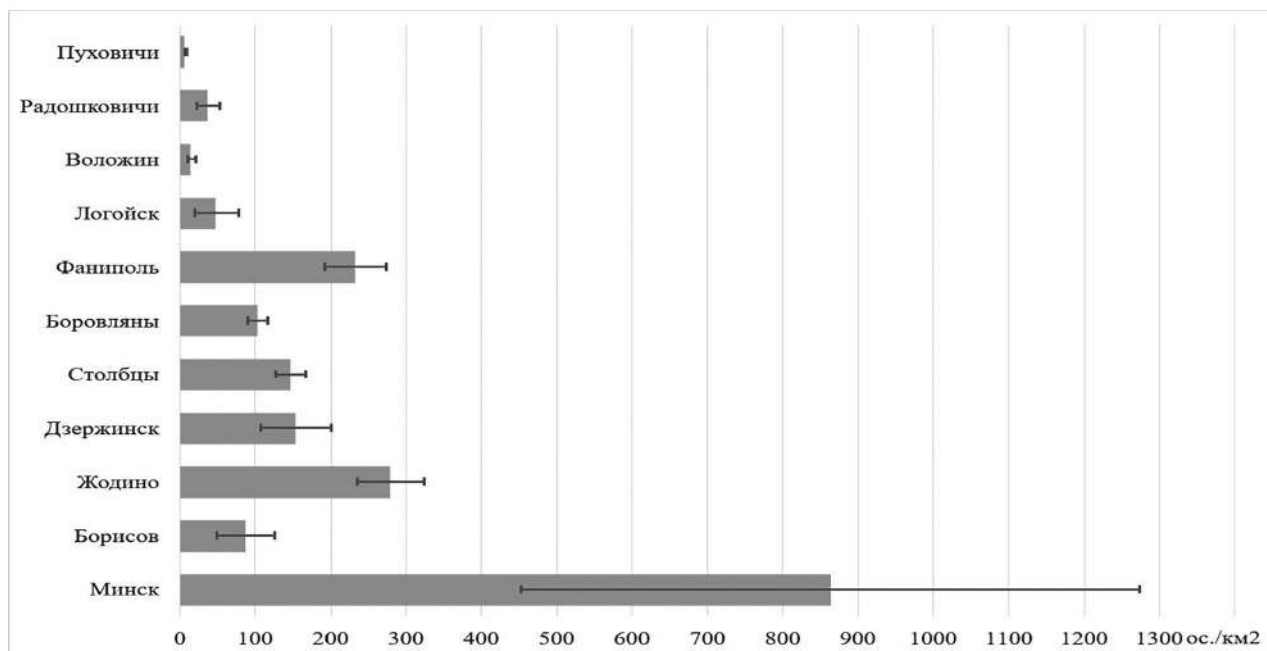


Рисунок 1 – Плотность населения синантропного сизого голубя по городам Минщины

Установлены достоверные различия плотности населения синантропного сизого голубя практически по всем городам Минской области, коррелирующие с благоприятной кормовой базой и условиями гнездования в городах Минщины. Выявлено, что чем выше плотность городского населения и разнообразие жилой городской застройки в том или ином городе, тем выше плотность населения синантропных сизых голубей в этих городах. К примеру, наибольшая плотность населения сизых голубей характерна для г. Минска – 863 ос./км², наименьшая – для гг. Пуховичи и Воложин – 8 и 15 ос./км² соответственно (рис. 1). Промежуточное положение по этому показателю занимают гг. Дзержинск, Столбцы и Боровляны – 154, 147 и 104 ос./км².

С увеличением промышленной нагрузки и площади урбанизированных ландшафтов, частота встречаемости черно-чеканных особей напрямую зависит от плотности населения синантропных сизых голубей: чем теснее, скученнее живут в колониях сизые голуби, тем больше в них особей черно-чеканной окраски и абберантов [3–5]. Так, в таких крупных городах, как Санкт-Петербург, Минск и Лодзь процент черно-чеканных морф и абберантов составляет 84,2, 77,4 и 92,1 % (рис. 3). На долю голубей сизой окраски приходится только 15,8, 22,6 и 7,9 % соответственно. В малых городах (Пуховичи, Руденск, Радошковичи и Крупки) имеет место значительное увеличение процента сизых голубей с сизой морфой. В этих городах доля особей с сизой окраской составляет 48,7, 46,7, 49,3 и 47,7 % соответственно, то есть почти в 2 раза больше. В городах Жодино, Молодечно и Борисове, имеющих численность населения 65,0, 95,0 и 143 тыс. человек, доля сизарей с сизой морфой значительно уменьшается и составляет 26,2, 27,3 и 29,5% соответственно. По этой окрасочной морфе вышеперечисленные города почти приблизились к г. Минску, где этот показатель составляет 22,6 % (рис. 3).

В тоже время, различия доминирования черно-чеканных и меланистических особей синантропных сизых голубей имеют место даже в пределах одного города. Такая закономерность выявлена в зонах концентрации промышленных объектов в крупных мегаполисах. Так, в Минске в окрестностях МТЗ (ул. Ваупшасова) и в окрестностях завода отопительного оборудования (ул. Тимирязева) на долю черно-чеканных сизых голубей приходится 75 и 70 % соответственно, что несколько выше средней величины по г. Минску (рис. 2).

С увеличением промышленной нагрузки в городах Минской области и в самом Минске доминирующим морфотипом является черно-чеканная морфа. Ее роль в жизни сизого голубя значительная, поскольку пигменты в темных перьях могут служить птицам важным средством, позволяющим очищать кровь от токсичных металлов. Именно этим может объясняться несвойственное натуральным экосистемам преобладание в городской среде темных птиц. А это значит, что окрасочный полиморфизм синантропного сизого голубя можно использовать как показатель экологического состояния городских ландшафтов.

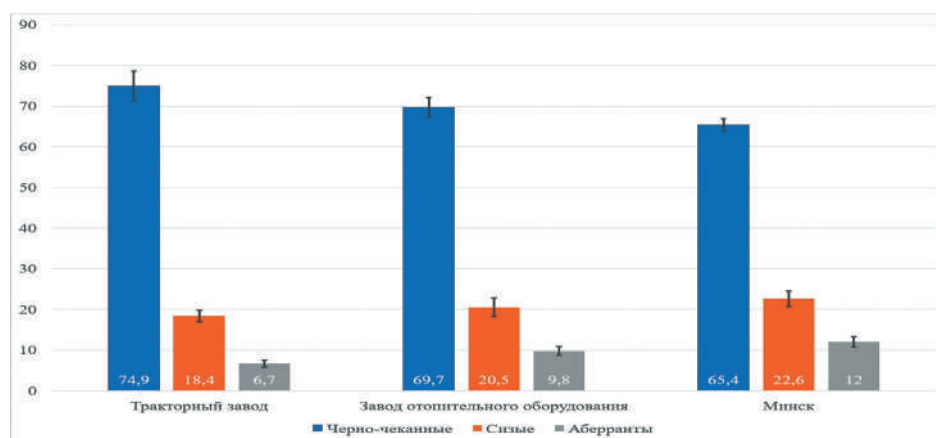


Рисунок 2 – Окрасочный полиморфизм синантропного сизого голубя вблизи крупных заводов г. Минска

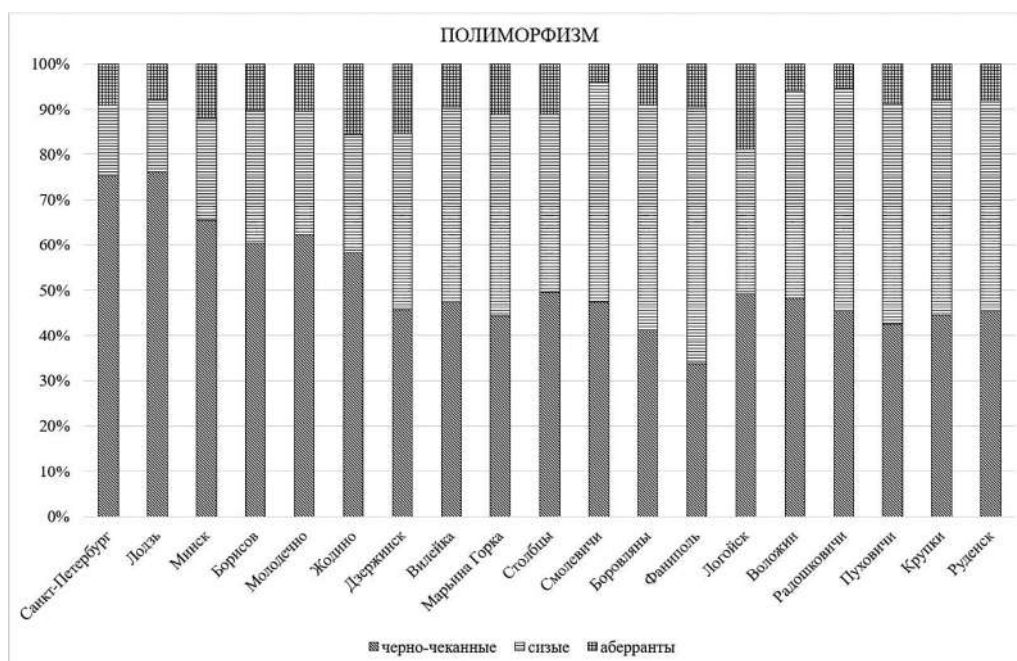


Рисунок 3 – Окрасочный полиморфизм синантропного сизого голубя в городах Минщины и зарубежье

Таким образом, с увеличением городской застройки, промышленной нагрузки и плотности городского населения во всех городах Минской области доминирующим морфотипом является черно-чеканная морфа. Ее роль в жизни сизого голубя значительная, поскольку пигменты в темных перьях могут служить птицам важным средством, позволяющим очищать кровь от токсичных металлов. Именно этим может объясняться несвойственное натуральным экосистемам преобладание в городской среде темных птиц.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ваничева, Л. К. Синантропные популяции сизых в голубей и их использование при мониторинге тяжелых металлов промышленных центров Западной Сибири: автореф. дисс. канд. биол. наук: 03.00.08 – зоология / Л. К. Ваничева. – Новосибирск, 1997. – 19 с.
2. Москвитин, С. С. О различии основных окрасочных морф синантропных *Columba livia* Gm. по ряду эстерных и интерьерных характеристик / С. С. Москвитин, А. С. Кенц // Экология. – 1982. – № 5. – С. 72–73.
3. Хандогий, И. М. Пространственное распространение и полиморфизм синантропного сизого голубя (*Columba livia*) в г. Минске / И. М. Хандогий, А. В. Хандогий, Д. А. Хандогий // «Зоологические чтения – 2017»: междунар. науч.-практ. конф., посвящ. памяти проф. К. М. Ельского (1837–1896) (15–17 марта 2017 г., г. Гродно). – Гродно: ГрГМУ, 2017. – С. 181–183.
4. Хандогий, И. М. Сравнительный анализ окрасочного полиморфизма синантропного сизого голубя (*Columba livia*) в г. Минске и странах ближнего зарубежья / И. М. Хандогий, М. В. Можейко, Е. С. Лев, А. В. Хандогий // 17-ая междунар. научн. конф. «Сахаровские чтения 2017 года» (г. Минск, 21–22 мая 2017 г.). – Минск: МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ, 2017. – С. 154.
5. Хандогий, И. М. Эколого-биологические адаптации синантропного сизого голубя (*Columba livia*) в городе Минске / И. М. Хандогий, В. Ф. Кулеш, Д. А. Хандогий // Экологический вестник. – № 1 (39). – 2017. – С. 26–34.

ДИНАМИКА НАКОПЛЕНИЯ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В ДРЕВЕСИНЕ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ УСЛОВИЙ МЕСТОПРОИЗРАСТАНИЯ И ФАЗЫ ВЕГЕТАЦИИ

THE ACCUMULATION OF MICROELEMENTS IN THE SCOTS PINE WOOD IN ACCORDANCE WITH THE CONDITIONS OF A GROWING SITE AND A VEGETATION PHASE

А. Н. Хох¹, С. С. Позняк²

А. Khokh¹, S. Pazniak²

¹Научно-практический центр Государственного комитета
судебных экспертиз Республики Беларусь, Минск, Республика Беларусь
nrc@sudexpertiza.by

²Белорусский государственный университет, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ,
г. Минск, Республика Беларусь
pazniak@iseu.by

¹Scientific and Practical Centre of the State Forensic Examination Committee of the Republic of Belarus,
Minsk, Republic of Belarus

²Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus

Формирование элементного состава растений является динамическим процессом, на который влияет большое количество одновременно действующих генетических и экологических факторов, но их приоритетность меняется в зависимости от условий и состояния окружающей среды. Все это отражает актуальность проведенного исследования, целью которого являлся сравнительный анализ содержания элементов в древесине сосны обыкновенной с разных пробных площадей, заложенных на территории государственного природоохранного учреждения «Березинский биосферный заповедник» в 2017 г.

The formation of the elemental composition of plants is a dynamic process, which is affected by a large number of concurrent genetic and environmental factors, and their significance varies according to the conditions and the state of the environment. All the above reflects the thematic justification, the aim of which is the comparative analysis of the content elements in the Scots pine wood from different sample plots founded on the territory of the state environmental institution «Berezinsky Biosphere Reserve» in 2017.

Ключевые слова: элементный состав, сосна обыкновенная, рентгенофлуоресцентный анализ, экологические факторы, тип леса.

Keywords: elemental composition, Scots pine, X-ray fluorescence analysis, environmental factors, forest type.

Каждая особь в популяции растений отличается от других многими признаками, в том числе и химическим составом. Различия возникают из-за того, что генотипически отличающиеся друг от друга индивидуумы развиваются в сложных конкурентных взаимоотношениях на фоне различных микроэкологических условий [1; 2]. Многочисленными исследованиями установлено, что диапазон колебаний содержания элементов в отдельных растительных объектах достаточно велик, чтобы выявить заметные различия в количестве практически любого из них и проследить вариационность в пространстве и времени в растениях одного вида [3; 4].

Цель проводимых нами исследований заключалась в изучении влияния условий произрастания на изменчивость микроэлементного состава древесины.

Объектами исследования являлись лесные массивы сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), произрастающие на территории ГПУ «Березинский биосферный заповедник». Исследования проводились с помощью общепринятых в области лесоведения и лесной таксации методик [4].

Для проведения экспериментальных работ на каждой пробной площади у 2 деревьев сосны возрастным буром Пресслера отбиралось по 2 буровых керна (1 – в конце апреля, 1 – в начале сентября) с противоположных сторон ствола в направлении запад-восток на высоте 1,3 м от поверхности земли.

Исследуемые деревья в большинстве случаев имели одинаковый возраст (± 10 лет) и по существующей классификации Крафта ранжировались I по V класс.

Далее буровые керны высушивали при комнатной температуре и измельчали до мелкодисперсного состояния (размер частиц от 0,1 до 0,8 мм [5]), после чего на специальной пресс-форме формировали специальные «таблетки» диаметром 13 мм, толщиной 1 мм для проведения измерений (рисунок 1б).

Всего было заложено 3 пробные площади в разных лесорастительных условиях:

- пробная площадь № 1 – условия неустойчивого и нормального увлажнения;
- пробная площадь № 2 – условия избыточного увлажнения;

– пробная площадь № 3 – условия произрастания – верховое болото (табл. 1).

Таблица 1 – Краткая таксационная характеристика древостоев

№ ВПП	Лесничество	Квартал	Тип леса	Средняя высота, м	ТУМ	Состав	Возраст, лет	Класс бонитета	Полнота
1	Крайцевское	496	С. мш.	23,9	A2	10С	105	I	0,7
2	Домжеричское	268	С. баг.	17,5	A5	10С+Б	95	V	0,7
3	Домжеричское	284	С. сф.	12,7	A5	10С	150	Vб	0,5

Определение количественного содержания микроэлементов проводили на энергодисперсионном рентгенофлуоресцентном спектрометре СЕР-01 фирмы «Elvax» (Украина).

Процедура измерения состояла из следующих этапов:

- 1) измерение рабочего фонового спектра;
- 2) измерение массовой доли химических элементов в пробах исследуемых образцов, экспозиция – 100 с.

Для каждой пробы проводили 2 параллельных измерения интенсивности характеристического излучения и пика обратного рассеивания в условиях повторяемости. Спектрограммы обрабатывали в программе «Elvatech MCA Software». Все операции расчетов при измерениях проводились в автоматическом режиме. Результаты измерений массовой доли химических элементов в пробах и их статистические погрешности экспортировали в файл формата .txt и сохраняли.

Расчитанные с учетом всех проанализированных деревьев на каждой из 3-х пробных площадей в весенний и осенний периоды вегетации показатели, выраженные средними данными содержания элементов в древесине сосны, отобранной весной (в апреле) и осенью (в сентябре), а также коэффициентами вариации (V, %) приведены в табл. 2.

Сравнение полученных данных по содержанию тяжелых металлов в образцах древесины проводилось в пакете Statistica 10.0 с использованием статистических методов: проверка равенства генеральных дисперсий с помощью критерия Фишера; дисперсионный анализ; попарное сравнение средних величин с помощью t-критерия Стьюдента.

Анализ особенностей элементного состава древесины сосны обыкновенной был начат с изучения индивидуальной изменчивости, под которой понималось различие в элементном составе растений в пределах конкретного типа леса в определенное время.

Сравнивая коэффициенты вариации, которые приведены в табл. 1, можно заключить, что особенно велика индивидуальная изменчивость калия, свинца, титана – 52,9 %, 51,6 % и 47,9 % соответственно. В наименьшей степени она выражена бария, меди и рубидия – 7,3 %, 9,6 % и 10,1 %. Приведенные данные свидетельствуют, что величина индивидуальной изменчивости древесины сосны в одном и разных типах леса для большинства элементов варьирует в широких пределах. Значимость различий между рассматриваемыми деревьями одного типа леса была подтверждена статистическими расчетами.

Далее была рассмотрена сезонная изменчивость, представляющая собой одну из разновидностей временной изменчивости для многолетних растений. Необходимо подчеркнуть, что на сегодняшний день о химизме растений в зависимости от сезонного состояния в специализированной научной и судебно-экспертной литературе имеются лишь отрывочные сведения, на основании чего сложно представить общий характер протекающих процессов.

С учетом средних данных об изменении концентрации элементов в древесине при переходе от весны к осени отмечается следующая тенденция:

Для пробной площади № 1 в конце вегетационного сезона происходит увеличение содержания S, K, Ca, Ti, Fe, Zn, Cd, Ba; уменьшение – Mn, Ni, Cu, Rb, Sr, Cr.

Для пробной площади № 2 в осенней древесине отмечается увеличение концентрации четырех элементов (K, Ca, Zn, Sr), уменьшается содержание S, Ti, Mn, Fe, Ni, Cu, Cr, на одном уровне остается содержание Rb и Ba.

Для пробной площади № 3 к концу вегетационного сезона наблюдается увеличение содержания Fe и Pb, уменьшение – S, K, Ca, Ti, Mn, Ni, Zn, Rb, Sr, Ag, Cr, концентрация Cu сохраняется на одном уровне.

С учетом средних данных об изменении концентрации элементов в древесине к концу вегетационного периода для всех исследованных типов леса отмечается уменьшение в древесине хрома примерно в 2 раза, а никеля – в 1,5 раза.

Индивидуальные особенности изменения элементного состава древесины на каждой из исследуемых площадей за период вегетации отразились по-разному.

Так, на пробной площади № 1 (условия неустойчивого и нормального увлажнения) к концу вегетационного периода концентрация большинства элементов (7 из 14) в древесине возрастает, в то время как для пробной площади № 3 (болото) наблюдается прямо противоположная ситуация (концентрация 12 из 15 исследованных элементов) снижается.

Достоверность сезонных различий в химизме древесины сосны определялась с помощью дисперсионного анализа при вероятности 0,95 и выполнении условия $F_{\text{факт}} > F_{\text{табл}}$.

Известно, что концентрация различных x элементов в растениях одного вид может изменяться. Применительно к лесной растительности эти различия могут быть присущи типам леса или типам лесных биогеоценозов.

Изменчивость химизма растений и растительных группировок, определяемая биогеоценотическими условиями, может быть названа экологической.

Таблица 2 – Полученные показатели концентрации элементов (жирным выделены максимальные средние показатели в сравнении по всем пробным площадям)

Элемент		Сосняк мшистый (ВПП № 2)				Сосняк сфагновый (ВПП № 7)		V _{cp}
		весна	осень	весна	осень	весна	осень	
S	X _{cp} (мкг/г)	70,2	78,2	86,6	85,1	77,4	74,3	17,6
	V (%)	24,2	20,5	18,9	19,6	10,8	11,4	
K	X _{cp} (мкг/г)	602,7	663,3	444,1	495,3	188,4	183,2	52,9
	V (%)	45,6	44,1	45,3	43	73	66,1	
Ca	X _{cp} (мкг/г)	667,3	709,1	487,9	530,1	248,4	232,1	29,5
	V (%)	21,7	18,9	20,1	20,6	45,1	50,8	
Ti	X _{cp} (мкг/г)	1,3	2,5	4,6	2,1	2,8	1,1	47,9
	V (%)	69,2	32	33,3	57,1	32,1	63,6	
Mn	X _{cp} (мкг/г)	65,3	63,1	96,1	85,1	45,2	43,4	16,4
	V (%)	20	19,1	10,5	10,6	19,9	18,4	
Fe	X _{cp} (мкг/г)	11,3	12,5	26,1	23,6	24,9	25,4	28,7
	V (%)	34,5	30,4	31,8	39,8	15,8	20	
Ni	X _{cp} (мкг/г)	0,9	0,5	1,3	0,9	0,8	0,6	12,6
	V (%)	14,2	16,7	7,7	11,1	12,5	13,3	
Cu	X _{cp} (мкг/г)	1	0,9	1,3	1,2	1	1	9,6
	V (%)	10	11,1	7,7	8,3	10,1	10,1	
Zn	X _{cp} (мкг/г)	4	4,2	5,8	6	11,9	11,4	22,5
	V (%)	27,5	23,8	22,4	18,3	19,3	23,6	
Rb	X _{cp} (мкг/г)	1	0,9	1,1	1,1	0,9	1	10,1
	V (%)	10	11,1	9,1	9,1	11,1	10	
Sr	X _{cp} (мкг/г)	1,5	1,4	1,6	1,8	3,4	2,5	23,2
	V (%)	26,6	13,9	31,2	33,3	14,1	20	
Ag	X _{cp} (мкг/г)	–	–	–	–	2,1	1,8	12,2
	V (%)	–	–	–	–	14,5	9,8	
Cr	X _{cp} (мкг/г)	1,6	0,6	1,3	0,7	1,1	0,7	16,3
	V (%)	12,5	16,7	7,7	14,3	18,2	28,6	
Cd	X _{cp} (мкг/г)	0,9	1	–	–	–	–	10,6
	V (%)	11,1	10	–	–	–	–	
Ba	X _{cp} (мкг/г)	3,2	3,3	3,4	3,4	1,3	1,1	7,3
	V (%)	6,3	9,1	5,9	5,9	7,7	9,1	
Pb	X _{cp} (мкг/г)	–	–	–	–	0,1	0,2	51,6
	V (%)	–	–	–	–	53,1	50	

Примечание: V_{cp} – средний коэффициент вариации элементов по всем 3-м пробным площадям.

В представленной работе непосредственное рассмотрение экологической изменчивости элементного состава древесины сосны с учетом условий увлажнения при постепенном переходе от сухих к влажным условиям роста

выявило определенные тенденции изменения концентрации микроэлементов. Так, нами был отмечен факт уменьшения концентрации микроэлементов в условиях возрастания влажности, что может быть обусловлено следствием бедности питательного субстрата и застойного увлажнения на болоте, что приводит к отмиранию части корней и тем самым к уменьшению интенсивности питания.

Также следует отметить, что для пробной площади № 3 с выраженным застойным увлажнением наблюдается повышенное содержание серебра, что объясняется ролью этого элемента в выработке устойчивости деревьев к грибковым заболеваниям.

Таким образом, по результатам исследований выявлены устойчивые тенденции изменчивости элементного состава древесины сосны в зависимости от условий произрастания и фазы вегетации. Так, можно констатировать следующее:

– независимо от сезона отбора образцов (весна, осень) при переходе от сухих к влажным условиям роста в древесине наблюдается уменьшение концентрации большинства микроэлементов;

– элементами, достоверность сезонных изменений которых подтверждена на всех исследуемых площадях, являются хром и никель; они могут быть теми определяющими элементами, изучение содержания которых в древесине сосны на практике позволит судить о сезонных различиях в образцах древесины для всех участков леса с условиями роста, близкими к изученным типам леса;

– в качестве закономерности, выявившейся достаточно однозначно, можно отметить особенность древесины сосны, произрастающей на болоте (сосняк сфагновый), аккумулировать многие зольные элементы в меньших количествах, а свинец и серебро – в больших количествах, чем сосна на суходоле или в условиях избыточного увлажнения;

– в целом полученные данные позволяют в некоторой степени эталонизировать микроэлементный состав древесины сосны. Выявленные особенности могут иметь практическое значение в случае проведения сравнительных исследований древесины сосны в целях ориентировочного определения интересующего участка местности.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Walter, A.* Plant phenotyping: from bean weighing to image analysis / A. Walter, F. Liebisch, A. Hund // *Plant methods*. – 2015. – Vol. 11. – No. 1. – P. 14.

2. *Moreira, X.* Plant diversity effects on insect herbivores and their natural enemies: current thinking, recent findings, and future directions / Moreira X. [et al] // *Current opinion in insect science*. – 2016. – Vol. 14. – P. 1–7.

3. *Orecchio, S.* Wood pellets for home heating can be considered environmentally friendly fuels? Heavy metals determination by inductively coupled plasma-optical emission spectrometry (ICP-OES) in their ashes and the health risk assessment for the operators / S. Orecchio, D. Amorello, S. Barreca // *Microchemical Journal*. – 2016. – Vol. 127. – P. 178–183.5.

4. *Мелехов, И. С.* Лесоведение : учебник для вузов / И. С. Мелехов. – 3-е изд., стер. – М. : МГУЛ, 2004. – 398 с.

5. *Кашина, Е. М.* Определение содержания тяжелых металлов в древесине методом рентгенофлуоресцентной спектроскопии / Е. М. Кашина, А. В. Малков, К. Г. Боголицын // *Известия ВУЗов. Лесной журнал*. 2011. – № 6 – С. 140–143.

ДОПОЛНЕНИЕ К ПЕРЕЧНЮ ФИТОПАТОГЕННЫХ МИКРОМИЦЕТОВ ГОРОДА СОЛИГОРСКА И ЕГО ОКРЕСТНОСТЕЙ

ADDITION TO THE LIST OF PHYTOPATHOGENIC MICROMYCETES OF SOLIGORSK CITY AND ITS SURROUNDINGS

А. К. Храмцов, В. А. Глазова

A. Khramtsov, V. Glazova

Белорусский государственный университет, г. Минск, Республика Беларусь

alexkhrantsov@mail.ru

Belarusian State University, Minsk, Republic of Belarus

Решение проблемы поражения растений городов болезнями, правильного подбора ассортимента видов для озеленения возможно только в процессе многолетнего регулярного мониторинга фитопатогенной микробиоты городов, что представляет собой как научный, так и практический интерес и актуально для Беларуси. В 2017–2018 гг. с использованием детально-маршрутного метода в г. Солигорске и его окрестностях среди прочих патогенов нами выявлено 38 видов фитопатогенных микромицетов, ранее не указываемых в списках

микобиоты для данной территории. Обнаруженные грибы относились к отделам Ascomycota, Basidiomycota, Deuteromycota, развиваясь на дикорастущих и культивируемых представителях цветковых растений.

The solution of the problem of city plants diseases and correct selection of the range of species for greening can be found only during the process of long-term regular monitoring of phytopathogenic city mycobiota. It's both a scientific and practical interest and actual for Belarus. Within the period from 2017 to 2018 years in Soligorsk city and its surroundings among other pathogenic fungi using detail-routing method we have determined 38 species of phytopathogenic micromycetes that had not been previously mentioned in mycobiota lists for this area. Discovered fungi are related to Ascomycota, Basidiomycota, Deuteromycota divisions and were developing on wild and cultivated flower plants representatives.

Ключевые слова: урбанизированная территория, грибы, псевдогрибы, растения, разнообразие, микозы, микобиота, Беларусь.

Keywords: urbanized area, fungi, pseudofungi, plants, diversity, mycoses, mycobiota, Belarus.

Основой многих исследований последнего времени стала стратегия рационального природопользования, обеспечивающего устойчивое функционирование экосистем. Это связано с тем, что степень вмешательства человека в естественные процессы чрезвычайно возросла. В настоящее время всё большее влияние на окружающую среду оказывают населённые пункты и особенно города. Город изменяет почти все компоненты природной среды – атмосферу, почву, рельеф, грунты, гидрографическую сеть, подземные воды и даже климат. Урбанизация территорий формирует особые условия жизнедеятельности организмов в городе, что ведет к возникновению урбозкосистем.

Увеличение площадей урбанизированных территорий влечет за собой сокращение доли естественных ландшафтов и обеднение биологического разнообразия. Урбанизированные экосистемы характеризуются также значительно измененной растительностью. Здесь, наряду с фрагментами естественных растительных сообществ, в той или иной степени трансформированных в результате антропогенного воздействия, существуют и сообщества растений, созданные человеком. Они в значительной степени подвергаются влиянию стрессовых факторов: рекреационной нагрузке, загрязнению атмосферы, почвы, вод и т. д. Вытаптывание и уплотнение почвы уменьшает аэрацию корней растений, наличие в окружающей среде ксенобиотиков снижает природные механизмы устойчивости растений к болезням.

Для многих видов паразитических микроскопических грибов и грибоподобных организмов (псевдогрибов) города стали благоприятными местообитаниями. В городской среде может формироваться микобиота, отличающаяся от внегородских грибных сообществ таксономической структурой, доминированием иных групп и видов грибов и грибоподобных организмов, увеличивается число эвритопных и фитотоксичных видов паразитов, а также темноокрашенных микромицетов, которые более устойчивы к неблагоприятным воздействиям среды. Применение удобрений в городских посадках растений приводит к коренным изменениям условий существования почвенных микроорганизмов. Среди них увеличивается численность сумчатых и несовершенных (анаморфных, митоспоровых) грибов, к которым относится значительное количество патогенов растений. На фоне снижения устойчивости растений к болезням многие виды паразитов повышают свою патогенность. В городских посадках в отличие от многовидовых естественных фитоценозов часто преобладают растения одного вида или даже сорта, что ведет к массовому их поражению. Вместе с растениями-интродуцентами, используемыми в озеленении городов, проникают патогенные микромицеты из различных регионов нашей планеты, несвойственные данной территории. У них существует возможность паразитирования на местных растениях, которые не выработали к ним механизмов устойчивости в процессе сопряженной эволюции; в свою очередь аборигенные микромицеты находят новый субстрат для своего развития, паразитируя на растениях-интродуцентах. Ежегодное выращивание древесно-кустарниковых и многолетних травянистых растений на одних и тех же территориях городов с целью озеленения приводит к созданию постоянных очагов инфекции. Все указанное выше способствует вспышкам заболеваний растений, часто эпифитотийным.

Фитопатогенная микобиота урбанизированных территорий часто привлекала внимание фитопатологов и микологов разных стран мира. По причине усилившегося темпа урбанизации в последние десятилетия такой интерес особенно оправдан. На городских территориях нашей республики также проводятся микологические и фитопатологические исследования. Многолетний мониторинг фитосанитарного состояния растений городских насаждений (ботанических садов, парков, скверов, магистральных посадок), видового состава фитопатогенных микромицетов осуществляется сотрудниками лаборатории защиты растений Центрального ботанического сада НАН Беларуси, лаборатории микологии Института экспериментальной ботаники им. В. Ф. Купревича НАН Беларуси, преподавателями и студентами кафедры ботаники биологического факультета Белорусского государственного университета, кафедры лесозащиты и древесиноведения лесохозяйственного факультета Белорусского государственного технологического университета и др. Однако видовой состав, распространение, вредоносность фитопатогенных микромицетов во многих городах Беларуси остаются изученными еще далеко не полно. Во многих городских населенных пунктах имеет место частный сектор с приусадебными участками, огородами и садами. В результате фитопатогены развиваются не только на растениях, используемых в озеленении, но и на других представителях (сорно-рудеральные, овощные, плодово-ягодные и др.), которые в свою очередь являются источниками инфекции для видов, используемых в озеленении. Поэтому целесообразен сбор и изучение образцов всех больших растений на городских территориях.

Для решения проблем с поражением растений городов Беларуси болезнями, правильным подбором ассортимента растений для озеленения необходимо выяснение многих вопросов (установление видового состава возбудителей заболеваний, частоты их встречаемости, круга поражаемых растений, степени и условий поражения растений фитопатогенами). Анализ видового состава фитопатогенных микромицетов позволит определить новые, чужеродные для данной территории, фитопатогены, а также круг их питающих растений и тенденции к его изменению. Подобные исследования находятся в контексте Национальной системы мониторинга окружающей среды; постоянное функционирование этой системы в Беларуси является одним из основных направлений государственной политики в области охраны окружающей среды.

В г. Солигорске и его окрестностях исследование микозов растений и разнообразия фитопатогенных микроскопических грибов и грибоподобных организмов велось эпизодически и в основном уделялось представителям порядков *Peronosporales* и *Erysiphales* [1–5].

Целью нашей работы явилось дальнейшее изучение разнообразия фитопатогенных микромицетов данной урбанизированной территории, находящейся в пределах Центрально-Предполесского геоботанического района, Березинско-Предполесского геоботанического округа подзоны грабово-дубово-темнохвойных лесов Беларуси. Особенностью данной урбанизированной территории является нахождение ее в зоне влияния одного из крупнейших промышленных предприятий Республики Беларусь – ОАО «Беларуськалий».

Исследования проведены нами в период с 2017 по 2018 гг. с использованием детально-маршрутного метода изучения микобиоты в рамках темы научно-исследовательской работы кафедры ботаники БГУ «Распространение потенциально инвазивных фитопатогенных видов грибов в естественных и антропогенно трансформированных фитоценозах». Материалом явились фитопатогенные микромицеты и их растения-хозяева, сбор которых был проведен в г. Солигорске и окрестных населенных пунктах Кулаки, Хвалево, Тычины. В процессе работы отмечали встречаемость микромицетов по шкале Гааса в баллах, определяли степень поражения растений, используя 5-балльную шкалу оценки пораженности отдельных органов (0 – отсутствие поражения, 1 – поражено до 10 % поверхности, 2 – поражено от 11 до 25 % поверхности, 3 – поражено от 26 до 50 % поверхности, 4 – поражено свыше 50 % поверхности).

Названия фитопатогенных микромицетов приведены в соответствии с международной микологической глобальной базой данных *Index Fungorum*. Собранный материал хранится в гербарии БГУ (MSKU).

В результате проведенных исследований нами среди общего количества фитопатогенных микроскопических грибов и грибоподобных организмов выявлено 38 видов фитопатогенных микромицетов, ранее не указываемых в списках микобиоты для данной территории.

Обнаруженные патогены относились к отделам *Ascomycota*, *Basidiomycota* и *Deuteromycota* и развивались на дикорастущих и культивируемых представителях цветковых растений: *Alternaria brassicae* (Berk.) Sacc. на *Brassica oleracea* L.; *A. solani* Sorauer на *Solanum tuberosum* L. и *Lycopersicon esculentum* Mill.; *Apiognomonium errabunda* (Roberge ex Desm.) Höhn. (*Gloeosporium tiliae* Oudem.) на *Tilia cordata* Mill.; *Asteromella platanoidis* (Sacc.) Pert. (*Phyllosticta platanoides* Sacc.) на *Acer platanoides* L.; *Cladosporium iridis* (Fautrey & Roum.) G. A. Vries (*Heterosporium gracile* (Wallr.) Sacc.) на *Iris* sp.; *Coryneum sorbi* Peck на *Sorbus aucuparia* L.; *Didymella pomorum* (Thüm.) Qian Chen & L. Cai (*Phyllosticta prunicola* Opiz ex Sacc.) на *Cerasus vulgaris* Mill., *Prunus domestica* L. и *P. cerasifera* Ehrh.; *Diplocarpon rosae* F.A. Wolf (*Marssonina rosae* (Lib.) Died.) на *Rosa* sp.; *Drepanopeziza ribis* (Rehm ex Kleb.) Höhn. (*Gloeosporium ribis* (Lib.) Mont. & Desm.) на *Ribes rubrum* L.; *Erysiphe aquilegiae* DC. на *Ranunculus repens* L. и *Aquilegia vulgaris* L.; *E. fraxinicola* U. Braun & S. Takam. (*Uncinula fraxini* Miyabe) на *Fraxinus excelsior* L.; *E. lonicerae* DC. (*Microsphaera lonicerae* (DC.) G. Winter) на *Lonicera caprifolium* L. и *L. tatarica* L.; *E. macleayae* R.Y. Zheng & G.Q. Chen на *Chelidonium majus* L.; *E. syringae-japonicae* (U. Braun) U. Braun & S. Takam. (*Microsphaera syringae-japonicae* U. Braun) на *Syringa vulgaris* L.; *E. tortilis* (Wallr.) Link. (*Microsphaera tortilis* (Wallr.) Speer) на *Cornus* sp.; *Gloeosporidium acericola* (Allesch.) Höhn. (*Gloeosporium acericola* Allesch.) на *Acer saccharinum* L.; *Golovinomyces depressus* (Wallr.) V. P. Heluta на *Centaurea montana* L.; *Gymnosporangium sabiniae* (Dicks.) G. Winter (*G. fuscum* DC.) на *Pyrus communis* L.; *Haplobasidium thalictri* Erikss. на *Aquilegia vulgaris* L.; *Marssonina betulae* (Lib.) Magnus на *Betula pendula* Roth; *M. truncatula* (Sacc.) Magnus на *Acer platanoides* L.; *Melampsora populina* (Jacq.) Lév. на *Populus 'Letland'*; *Mycosphaerella pomi* (Pass.) Lindau (*Phyllosticta mali* Prill. & Delacr.) на *Malus domestica* Borkh.; *Mycosphaerella ribis* (Sacc.) Lindau (*Phyllosticta grossulariae* Sacc.) на *Grossularia reclinata* (L.) Mill.; *Podosphaera amelanchieris* Maurizio на *Amelanchier spicata* (Lam.) C. Koch; *P. tridactyla* (Wallr.) de Bary на *Prunus domestica* L. и *Padus avium* Mill.; *Phomopsis juglandina* (Sacc.) Höhn. (*Phyllosticta juglandina* Sacc.) на *Juglans regia* L.; *Phyllosticta acerina* Allesch. на *Acer platanoides* L.; *Ph. briardi* Sacc. на *Malus domestica* Borkh.; *Ph. decussatae* P. Syd. на *Phlox paniculata* L.; *Ph. rosae* Desm. на *Rosa* sp.; *Pucciniastrum arcticum* Tranzschel на *Rubus* sp.; *Septoria aegopodii* Desm. на *Aegopodium podagraria* L.; *Stagonosporopsis cucurbitacearum* (Fr.) Aveskamp, Gruyter & Verkley (*Ascochyta melonis* Potebnia, *A. cucumis* Fautrey & Roum.) на *Cucumis sativus* L.; *Stemphylium botryosum* Wallr. на *Epipactis helleborine* (L.) Crantz; *Stigmia carpophila* (Lév.) M. B. Ellis (*Clasterosporium carpophilum* (Lév.) Aderh.) на *Prunus cerasifera* Ehrh.; *Tranzschelia pruni-spinosae* (Pers.) Dietel на *Prunus domestica* L.; *Venturia pyrina* Aderh. (*Fusicladium pyrorum* (Lib.) Fuckel) на *Pyrus communis* L.

Все выявленные фитопатогенные микромицеты принадлежали по признаку местообитания к одной экологической группе – микромицеты филлопланы (филлосферы). Они были причиной следующих типов симптомов заболеваний: пятнистости и гнили разной этиологии, пустулы, формируемые ржавчинными грибами, налеты, образуемые мучнисторосянными грибами. Микромицеты вызывали мучнистую росу, ржавчину, альтернариоз,

паршу, кладоспориоз, антракноз, аскохитоз, филлостиктоз, септориоз и др. По трофической характеристике обнаруженные микромицеты принадлежали к облигатным паразитам (13 видов, 34,2 %), а также факультативным сапротрофам и факультативным паразитам (25 видов, 65,8 %).

Создавая новые группировки растений на территории г. Солигорска, заменяя смешанные насаждения растениями одного вида, человек нарушил естественное равновесие и тем самым повлиял на механизм саморегулирования численности видов. На территории, охваченной нашими исследованиями, созданы устойчивые очаги инфекции, что позволяет патогенам ежегодно развиваться и угнетать растения. Загазованность и повышенная температура воздуха, загрязнение почвы и воды вредными выбросами, снижение устойчивости растений к поражению патогенами в сочетании с повышенной влажностью способствуют распространению фитопатогенных микромицетов, которые угнетают рост и развитие растений, приводят к преждевременному отмиранию вегетативных, генеративных органов и всего растения.

Среди грибов, указанных выше, 8 видов оказались чужеродными для Беларуси: *Alternaria brassicae* на *Brassica oleracea*; *A. solani* на *Solanum tuberosum* и *Lycopersicon esculentum*; *Erysiphe macleayae* на *Chelidonium majus*; *E. syringae-japonicae* на *Syringa vulgaris*; *Gymnosporangium sabinae* на *Pyrus communis*; *Podosphaera amelanchieris* на *Amelanchier spicata*; *Phomopsis juglandina* на *Juglans regia*; *Stagonosporopsis cucurbitacearum* на *Cucumis sativus*. Наблюдение за распространением данных патогенов, несвойственных территории нашей республики, особенно актуально, поскольку они могут оказаться инвазивными, вредоносными и вызвать эпифитотии. На территории, охваченной нашими исследованиями, данные микромицеты характеризовались разной встречаемостью в фитоценозах. Так, всюду часто (5 баллов) отмечены грибы *Alternaria brassicae*, *A. solani*, *Erysiphe syringae-japonicae* и *Gymnosporangium sabinae*, во многих местах (4 балла) встречался микромицет *Stagonosporopsis cucurbitacearum*, неравномерно (рассеянно) (3 балла) – *Podosphaera amelanchieris*, очень рассеянно (2 балла) – *Phomopsis juglandina*, единично (1 балл) – *Erysiphe macleayae*. Степень поражения растений-хозяев чужеродными для Беларуси грибами также была разная. Так, поражение сирени обыкновенной грибом *Erysiphe syringae-japonicae* было максимальным (4 балла), что свидетельствует об эпифитотии; все же другие выявленные чужеродные микромицеты поражали растения с интенсивностью в 1–2 балла (депрессия болезни).

Из литературы известно, что *Erysiphe macleayae* ранее был отмечен на *Chelidonium majus* также в Жлобинском, Воложинском, Минском и Дзержинском районах, *E. syringae-japonicae* на *Syringa vulgaris* – в Жлобинском, Речицком, Мостовском, Минском, Дзержинском, Пуховичском и Осиповичском районах, *Podosphaera amelanchieris* на *Amelanchier spicata* – в Брестском, Дрогичинском, Толочинском, Гомельском, Жлобинском, Рогачевском, Гродненском, Борисовском, Воложинском, Дзержинском, Осиповичском, Пуховичском и Минском районах, *Stagonosporopsis cucurbitacearum* на растениях семейства Cucurbitaceae – в Минском и Узденском районах Беларуси [1; 5].

Выявленные нами фитопатогенные микромицеты, чужеродные для Беларуси, способны расширить свой круг питающих растений не только в г. Солигорске и его окрестностях, но и на других территориях Беларуси со схожими условиями, что необходимо принимать во внимание специалистам по защите растений. Так, *Erysiphe syringae-japonicae* представляет угрозу для кустарников *Ligustrum vulgare* L., *Syringa ×henryi* Schneid., *S. josikaea* J. Jacq. ex Rchb., *S. villosa* Vahl, используемых для озеленения; *Erysiphe macleayae* может поражать декоративные и лекарственные растения *Macleaya cordata* (Willd.) R. Br. и *M. microcarpa* (Maxim.) Fedde. Разнохозяйный ржавчинный гриб *Gymnosporangium sabinae*, обнаруженный нами на *Pyrus communis*, в телиостадии развивается на *Juniperus sabina* L., используемом в озеленении. Микромицет *Stagonosporopsis cucurbitacearum* представляет опасность для возделываемых растений из семейства Cucurbitaceae, а анаморфные грибы *Alternaria brassicae* и *A. solani* являются опасными возбудителями альтернариоза многих культивируемых растений из семейств Brassicaceae и Solanaceae соответственно.

Результаты проделанной нами работы могут быть востребованы при проведении защиты культивируемых растений от болезней, подготовке атласа-справочника по микозам растений г. Солигорска, подборе растений для озеленения данной урбанизированной территории и инвентаризации микобиоты Беларуси, прогнозировании распространения вредоносных патогенов на другие территории со сходными условиями и расширения у фитопатогенных микромицетов круга питающих растений.

Авторы выражают благодарность заведующему кафедрой ботаники БГУ, доценту Вал. Н. Тихомирову за помощь при определении растений-хозяев и ценные консультации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Макромицеты, микромицеты и лишенизированные грибы Беларуси. Гербарий Института экспериментальной ботаники им. В. Ф. Купревича (MSK-F, MSK-L) / О. С. Гапиенко [и др.]. – Минск : ИВЦ Минфина, 2006. – 501 с.
2. Храмцов, А. К. Фитопатогенные микромицеты города Солигорска и его окрестностей / А. К. Храмцов, Т. Н. Гончар // Иммунопатология, аллергология, инфектология. – 2010. – № 1. – С. 135–136.
3. Храмцов, А. К. Фитопатогенные микромицеты некоторых урбанизированных территорий Березинско-Предполесского геоботанического округа Беларуси / А. К. Храмцов, О. В. Савина // Биомониторинг состояния природной среды Полесья (Беларусь – Украина – Россия): материалы Междунар. науч.-практ. конф. (Брест, 10–11 нояб. 2011 г.). – Брест : Альтернатива, 2011. – С. 139–142.
4. Гирилович, И. С. Грибоподобные организмы (порядок Peronosporales) Беларуси / И. С. Гирилович. – Минск: БГУ, 2013. – 183 с.
5. Гирилович, И. С. Мучнисторосые грибы (порядок Erysiphales) Беларуси / И. С. Гирилович. – Минск: БГУ, 2018. – 279 с.

RADIOECOLOGICAL RESEARCHES USING DIFFERENT ANALYTICAL TECHNIQUES

РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАЗЛИЧНЫХ АНАЛИТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ

E. Shavalda¹, W. Badawy², Yu. Aleksiyenak²
Е. С. Шавалда¹, В. М. Бадави², Ю. В. Алексеенок²

¹*Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus*
shavalda@bk.ru

²*The Joint Institute for Nuclear Research, Dubna, Russian Federation*
¹Белорусский государственный университет, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ,
г. Минск, Республика Беларусь

²*Объединенный институт ядерных исследований, г. Дубна, Российская Федерация*

The aim of the present work is to give comprehensive studies in terms of ecological situation in two countries of different geological features (Egypt and Belarus). 89 samples of soil and 84 sediment were collected from Egypt [1]. While 63 samples were collected from Belarus. The samples were analyzed using Neutron activation analysis and gamma spectrometry. In Belarus, the maximum activity of ¹³⁷Cs was observed in the Gomel region near Mozyr (6830 Bq/kg) and the minimum activity in the Vitebskiy Region near Luzhki-Yazno (5 Bq/kg) [2]. The average activity concentrations of ⁴⁰K, ²³²Th, and ²³⁸U equal to 15.3±6.6, 15.6±11.1 and 220±31 Bq/kg, respectively, are significantly lower than those reported for the upper continental crust, world average sediments as well as world average soils, suggesting the presence of a considerable portion of mafic material, most probably originating from the Ethiopian High Plateau [1].

Целью настоящей работы является комплексное изучение экологической ситуации в двух странах с различными геологическими особенностями (Египет и Беларусь). Всего из Египта было собрано 89 образцов почвы и 84 отложений [1]. При этом в общей сложности было отобрано 63 образца из Беларуси. Образцы анализировали с использованием нейтронно-активационного анализа и гамма-спектрометрии. В Беларуси максимальная активность ¹³⁷Cs наблюдалась в Гомельской обл. около Мозыря (6830 Бк / кг) и минимальная активность в Витебской области около Лужки-Язно (5 Бк / кг) [2]. Средние значения удельной активности ⁴⁰K, ²³²Th и ²³⁸U, равные 15,3±6,6, 15,6±11,1 и 220±31 Бк / кг соответственно, значительно ниже, чем те, которые были зарегистрированы для верхней континентальной коры, среднемировых отложений, а также среднемировых значений. Почвы, свидетельствующие о наличии значительной части мафической породы, вероятнее всего, происходящей из Эфиопского Высокого Плато [1].

Keywords: NAA, gamma spectrometry, ecology, radioecology, environmental monitoring, ionizing radiation.

Ключевые слова: НАА, гамма-спектрометрия, экология, радиоэкология, мониторинг окружающей среды, ионизирующее излучение.

Neutron activation analysis (NAA) is one of the most accurate methods for determining elements in samples of different origin. It has high sensitivity, selectivity, does not destroy the sample under study. It allows the simultaneous determination of many elements in one sample and does not require complex chemical separation methods [3].

NAA has been widely used not only in radioecological research, but also is actively involved in geology for the search of oil and minerals; in environmental monitoring to assess the quality of air, water and soil; in ecology, for example, in assessing the migration of various pesticides from soil to groundwater and in many other studies.

The action of the NAA is based on the neutron bombardment of the analyzed sample with duration of several nano-seconds to hours. It is known that a neutron has no electric charge, so it does not interact with the electron shells of atoms and is not repelled by the Coulomb field of the nucleus. Due to these properties for the penetration of a neutron into the nucleus there is no potential barrier, and the neutron can cross the boundary of the nucleus, even if it moves at a very low speed [4].

When exposed to neutrons, radioactive isotopes with a certain half-life and radioactive radiation in the form of gamma quanta with different wavelength begin to form from the sample atoms. Then gamma quanta with different wavelengths pass through the gamma spectrometer, which allows determining the content of any atoms in the sample under study. Thus, thanks to this information, it is possible to determine the presence of certain elements in the sample and its concentration.

Among the disadvantages of this method is that the sample remains radioactive even for many years, and therefore requires the disposal of radioactive material. Also, the NAA as a method gradually disappears due to the reduction of

suitable nuclear reactors for irradiation, which is associated with a decrease in the popularity of this method and with the increasing cost of the reactors themselves [3].

Due to the strong anthropogenic impact on the ecosystem of various sources of radioactive and technogenic pollution, NAA is actively used to detect radioactive and abnormal elements found in abnormal concentrations in the soil, water, air and biological material. Thus, environmental protection is vital for modern society and the purpose of these studies is to identify sources of pollution and control the spread of various elements [5].

Ecology, and in particular radioecology as a science, became most relevant during the Second World War, when numerous nuclear weapons tests took place. Now this science also plays an important role in connection with the development of nuclear energy and medicine. Concentration of artificial radionuclides in the biosphere is constantly increasing due to the accumulation of nuclear waste or improper nuclear processing. Some highly toxic radionuclides have a long half-life (millions of years), which indicates a huge radiation load on the environment and requires constant development and improvement of radioecological monitoring methods [5].

In radioecology, NAA and gamma spectrometry are used to assess the natural radiation background, its effect on living and nonliving objects, as well as in assessing the contamination of a certain territory with various technogenic factors (industry, nuclear power stations).

NAA, together with gamma-spectrometry, is an excellent method for assessing the radioecological situation in various areas, both of man-made contamination and normal environmental conditions. It is actively involved in a huge number of international projects and is still a relevant tool of modern radioecology and environmental monitoring [3].

Thanks to the NAA, studies are conducted on the presence of cosmic dust in various plant species around the world, with a subsequent assessment of the viability of these species in which cosmic dust was detected. Also after the accident at the Chernobyl nuclear power station and other man-made disasters, it became important to monitor radioactively contaminated sites and territories for research on the presence of radionuclides in soil, water and air, and its migration. These studies are also important because the excessive accumulation of radionuclides in the ecosystem contributes to its accumulation in the human body with the subsequent development of various pathologies, the most dangerous of which is oncology [3; 6].

The accident at the Chernobyl nuclear power station in 1986 led to irreparable contamination of the vast territories of Belarus with various radionuclides for millions of years. Due to this man-made disaster, radioecology and environmental monitoring, both in this country and around the world, have caused the greatest relevance. Over the past 33 years after the accident, an enormous amount of research has been conducted with various methods on the effect and distribution of radionuclides in the ecosystem and on the further forecast of their spread to other territories. Among such methods can be identified NAA and gamma spectrometry.

For example, studies were carried out in 2006–2007 of the elemental composition of the territories of Belarus and the presence of ^{137}Cs and ^{210}Pb radionuclides in Belarus 30 years after the accident at the Chernobyl nuclear power station in an article by *Yu.V. Aleksiayenak et al.* The objects of the study were mosses *Hylocomium splendens* and *Pleurozium schreberi*, and NAA and gamma spectrometry were used as the method for determining the presence and concentration of elements in the object. Based on the results of a study obtained using a gamma spectrometer, Figure 1 shows the concentration of ^{137}Cs and ^{210}Pb in various regions of Belarus [2].

Thus, NAA and gamma spectrometry give researchers and scientists in the field of radioecology and other scientific disciplines a fairly accurate determination of the presence of radionuclides in objects of animate and inanimate nature. This information is very important in assessing the migration of radionuclides in the atmosphere and the future determination of the effectiveness of various measures to eliminate the negative effects of not only the Chernobyl nuclear power station, but also other man-made accidents and disasters of various sizes [2; 3].

Another example of the use of NAA and gamma spectrometry in radioecology is the study of the environmental radioactivity of soil and bottom sediments of the deltas and the Nile River basin by *W. Badawy et al.* In the course of these studies, the natural radiation background of the Nile River was estimated by the presence of natural ^{40}K , ^{232}Th , and ^{238}U and determination of their concentration under the influence of various natural factors, and in particular the movement of various rocks along the Nile River [1].

To study the natural background radiation, it was necessary to take samples of soil and bottom sediments from the delta and along the entire Nile River within the territorial boundaries of Egypt (Fig. 2). This approach made it possible to accurately determine the presence of ^{40}K , ^{232}Th , and ^{238}U in various areas of the Nile River using NAA [1].

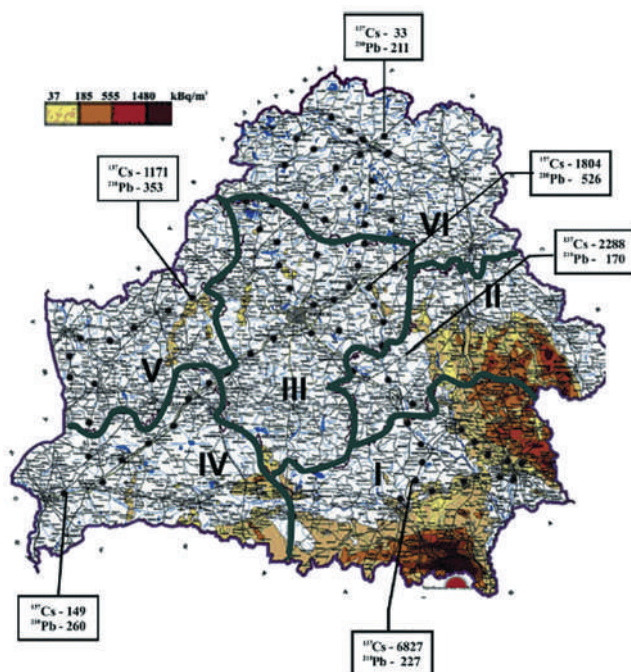


Figure 1 – Map of ^{137}Cs and ^{210}Pb contamination in Belarus in 2004 with sampling points with the maximum concentration (Bq / kg of dry moss) in different regions from the study of Yu. V. Aleksiyenak et al. [2]



Figure 2 – General map of Egypt showing the locations of the collecting points along the Nile valley according to W. Badawy et al. [1]

The results obtained in the study of the Nile River by W. Badawy et al. were then compared with results from other countries (Table 1), which indicates the relevance of using NAA and gamma spectrometry in world science [1]. NAA and gamma spectrometry allow an assessment of the elemental composition and natural background radiation in various regions of the planet, and the variability of background radiation under the influence of various biotic and abiotic environmental factors [3].

Table 1 – Comparison of average values of activity concentrations (Bq / kg) between countries according to W. Badawy et al. [1]

Country	Activity concentration (Bq / kg)		
	²³² Th	²³⁸ U	⁴⁰ K
Finland	62	78	962
Australia	89	4	681
Hungary	32.1	33.3	418
Jordan	26.7	49.9	291
Egypt	15.3	15.6	220
Nigeria	20	20	180
Ghana	24.2	13.6	162
Libya	4.5	7.5	28.5
Worldwide	30.0	35.0	400

NAA is currently one of the most reliable methods for determining elements in the sample under study. Despite its economic value and demands in specially trained personnel, this method is still actively used for radioecological assessment of the state of the environment and in many other areas of scientific research.

Constant improvement of reliability and operability of sources of radiation pollution of the environment is required in order to avoid the risk of a man-made disaster. Also, a large role is assigned to the regular monitoring of the state of the environment in order to quickly prevent and save the population and other living organisms from the deadly effects of radiation, and one of the leading roles in this area belongs to the NAA and gamma spectrometry.

REFERENCES

1. *Badawy, W. M.* Environmental radioactivity of soils and sediments: Egyptian sector of the Nile valley / W. M. Badawy, O. G. Dului, M. V. Frontasyeva, H. El. Samman and A. Faanhof // *Isotopes in Environmental and Health Studies*. 2018. – Vol. 54. – No. 5. – P. 535–547.
2. *Aleksiyenak, Yu. V.* Distributions of ¹³⁷Cs and ²¹⁰Pb in moss collected from Belarus and Slovakia / Yu. V. Aleksiyenak, M. V. Frontasyeva, M. Florek, et al. // *Journal of Environmental Radioactivity*. – 2013. – Vol. 117. – P. 19–24.
3. *Frontasyeva, M. V.* Neutron activation analysis for the Life Sciences / M. V. Frontasyeva // *Physics of Particles and Nuclei Letters*. – 2011. – Vol. 42. – No. 2. – P. 332–378.
4. *Rizo, O. D.* Instrumental neutron activation analysis of peloids from main Cuban / O. D. Rizo, J. B. Cossio, P. G. Hernandez, et al. // *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*. – 2018. – Vol. 317. – P. 1079–1087.
5. *Sheppard, S. C.* An index of radioecology, what has been important? / S. C. Sheppard // *Journal of Environmental Radioactivity*. – 2013. – Vol. 68. – P. 1–10.
6. *Mejia-Cuero, R.* Application of Neutron activation analysis for Determination of As, Cr, Hg and Se in Mosses in the Metropolitan Area of the Valley of Toluca, Mexico / R. Mejia-Cuero, G. Garcia-Rosales, L. C. Longoria-Gandara, M. C. Lopez-Reyes, P. Avila-Perez // *Journal of Chemistry*. 2015. – V. 31. – P. 215–228.

МОДИФИЦИРУЮЩЕЕ ДЕЙСТВИЕ ЗАСОЛЕНИЯ СРЕДЫ НА ПРОРАСТАНИЕ ГАММА-ОБЛУЧЕННЫХ СЕМЯН SALTING AS A MODIFICATOR OF THE PROCESS OF GROWTH OF GAMMA-IRRADIATED SEEDS

Н. В. Шамаль, В. И. Гапоненко, Т. И. Милевич
N. Shamal, V. Gaponenko, T. Milevich

*Институт радиобиологии Национальной академии наук Беларуси,
г. Гомель, Республика Беларусь
namahasha@rambler.ru
Institute of Radiobiology of the NASB, Gomel, Republic of Belarus*

Наличие эффекта радиостимуляции у растений связано с поливалентностью эффекта облучения и факторами окружающей среды, которые могут быть модификаторами радиобиологических эффектов. В представленной работе критериями оценки эффектов раздельного и последовательного действия гамма-облучения (доза 2,5 и 5,0 Гр) и засоления (1,0 и 2,5 % NaCl) были выбраны скорость набухания семян озимой ржи, их всхожесть и накопление биомассы осевыми органами прорастающих растений. Установлено, что облучение семян активирует процесс прорастания с «физического набухания» и до формирования проростка

на фоне повышения чувствительности растений к засолению. Воздействие засоления на гетерогенную популяцию приводит к общему торможению процессов прорастания и к гибели менее жизнеспособных особей.

Radio stimulation in plants is associated with the multivalence of the effect of radiation and environmental factors that can be modifiers of radiobiological effects. The rate of swelling and germination of seeds of winter rye, the accumulation of biomass by the axial organs of germinating plants were chosen as criteria for evaluating the effects of separate and sequential action of gamma irradiation (dose 2.5 and 5.0 Gy) and salinity (1.0 and 2.5 % NaCl). Seed irradiation activates the germination process from “physical swelling” to the formation of a seedling, against the background of increasing plant sensitivity to salinity. The general inhibition of the processes of germination and death of less viable individuals is the cause of the effect of salinization on a heterogeneous population.

Ключевые слова: набухание семян, удельная плотность семян, всхожесть, coleoptile, первый лист, зерновка.

Keywords: seed swelling, seed specific density, germination, coleoptile, first leaf, weevil.

Проблема стимулирования или ингибирования жизнедеятельности растений является одним из актуальных направлений исследований в современной биологии как в теоретическом, так и в практическом отношении. В основном это связано с устойчивостью растений к стрессовым условиям, так как в природе они постоянно подвергаются воздействию факторов окружающей среды (температура, засуха, переувлажнение, засоление и др.). В результате техногенной деятельности человека к ним добавились факторы иной природы: солей тяжелых металлов, ксенобиотиков, ионизирующего излучения.

Наличие эффекта стимуляции иногда является спорным вопросом по причине не воспроизводимости. Это в полной мере относится к результатам исследований по радиостимуляции. Радиостимуляция, особенно связанная с облучением семян, является интересным и сложным направлением, трудность исследования которого заключается, с одной стороны, в недостаточной изученности механизма метаболизма, включающего интегральные процессы роста и продуктивности; с другой стороны, в характере ответной реакции растений на действие ионизирующей радиации. Последнее связано с поливалентностью эффекта облучения и многочисленными факторами окружающей среды, которые оказывая влияние на растения, могут быть модификаторами у них радиобиологических эффектов.

Целью представленной работы было изучение влияния засоления среды на процесс прорастания семян ржи и развитие в условиях этиоляции проростков, выросших из облученных семян. В качестве критериев оценки эффектов раздельного и последовательного действия ионизирующего излучения и засоления были выбраны скорость набухания семян, их всхожесть и накопление биомассы осевыми органами прорастающих растений.

Исследования проводили на семенах озимой ржи (*Secale cereale L.*) сорта «Верас» и «Паўлінка» (категория РС-элита). Отбирали полновесные зерновки без видимых повреждений. Часть проб в воздушно-сухом состоянии облучали на γ -установке «Игур» (источник – ^{137}Cs). Поглощенная доза облучения составила 2,5 и 5,0 Гр (мощность дозы 5,6 сГр/мин для сорта «Верас» и 12,3 сГр/мин для сорта «Паўлінка»).

Процесс набухания семян оценивали на семенах сорта «Верас» (удельная плотность варьировала от 1,21 до 1,40 г/см³). Пробу семян (100 шт) помещали в чашку Петри на фильтровальную бумагу, приливали дистиллированную воду или 2,5 % раствор NaCl так, чтобы семена были погружены в жидкость на 1 мм. Через 6, 20, 30, 44, 54 и 72 часа с момента замачивания пробу семян взвешивали на аналитических весах с точностью до третьего знака и определяли объем зерновок по количеству вытесненной воды. Изменение массы и объема рассчитывали в процентах от исходного значения. Эффективность набухания определяли как увеличение объема зерновки в результате поглощения единицы объема воды. Эксперименты проводили в 4-х кратной повторности, в варианте каждого опыта анализировали 4 пробы.

Жизнеспособность семян оценивали по количеству проросших семян сорта «Верас» и «Паўлінка». Семена проращивали в чашках Петри (50 семян на чашку) на дистиллированной воде или растворах NaCl в концентрации 1,0 и 2,5 % (127 и 320 мМ NaCl). Осмотическое давление растворов NaCl составило 0,78 и 1,95 МПа, соответственно. Анализ проросших семян проводили на 7-е сутки, что соответствует параметру «лабораторная всхожесть». Повторность эксперимента была 3-х кратной, в каждом варианте опыта анализировали 4 пробы.

Развитие растений в условиях этиоляции оценивали на проростках ржи сорта «Паулінка». Семена проращивали в чашках Петри (50 семян на чашку) в темноте. Анализ проростков проводили на 3-й день (варианты на дистиллированной воде) и на 7-й день прорастания (все варианты опыта). Оценивали суммарную сырую и сухую биомассу coleoptilia и первого листа, сухую массу корней и зерновки.

Прорастание семян является сложным этапом развития растений. Он включает переход от вынужденного покоя к активному росту зародыша и формированию проростка и состоит из трех этапов [1]. Первый этап прорастания – активизация метаболизма или этап «физического набухания», происходит за счет адгезии воды в микрокапиллярах воздушно-сухого семени и взаимодействия с гидрофильными биополимерами. Второй этап – «подготовка начала роста растяжением» является физиологическим и обусловлен накоплением осмотически активных веществ, которые обеспечивают поглощение дополнительного количества воды. Завершается этап проклёвыванием семян. Третий этап собственного роста проростка обусловлен началом деления меристемных тканей и растяжением клеток за счет формирования в них крупной центральной вакуоли из мелких. Последовательность запуска

метаболических систем на каждом этапе зависит от порогового уровня оводненности. Переход ко второму этапу происходит при влажности осевых органов 58–59 %, к третьему при 74 % (для пшеницы).

Анализ данных по набуханию семян выявил сложный характер зависимости этого процесса от изучаемого фактора. Различия в процессе прорастания семян каждого варианта были отмечены с первых часов. В условиях пресного фона облученные семена набухали быстрее необлученных. Увеличение скорости поглощения воды и объема у таких семян постепенно нарастало в течение этапа «физического набухания». Длительность I этапа (58 % от начального веса) необлученных семян составила 23 ч 40 мин, в то время как у растений облученных вариантов она сократилась на 7,5 и 15 % соответственно для дозы 2,5 и 5,0 Гр. В период второго этапа происходило замедление параметров набухания. Длительность этого этапа была почти одинакова у всех вариантов (около 21 ч 40 мин). Далее скорость прорастания опять возрастала с тенденцией более интенсивного процесса под влиянием облучения. Высокие значения увеличения объема и скорости поглощения воды у таких семян отразились на значительном снижении их удельной плотности и высоких коэффициентах набухания по сравнению с аналогичными показателями контроля (табл. 1).

Таблица 1 – Параметры набухания семян ржи сорта «Верас» в зависимости от дозы γ -облучения и засоления среды прорастания*

Вариант опыта	Уменьшение удельной плотности, %	Коэффициент набухания семян
Контроль	8,4±0,5 ^г	94,1±0,5 ^{6в}
Облучение 2,5 Гр	12,3±0,4 ^а	98,1±0,2 ^г
Облучение 5,0 Гр	10,6±0,4 ^{вс}	96,4±0,2 ^{вт}
Засоление 2,5 % NaCl	6,8±0,4 ^{6в}	94,0±0,7 ^{6в}
Облучение 2,5 Гр + засоление 2,5 % NaCl	4,7±0,2 ^а	91,3±0,4 ^а
Облучение 5,0 Гр + засоление 2,5 % NaCl	6,5±0,2 ^б	93,3±0,2 ^{аб}

Примечание: * – значения с разными буквами различаются при $p \leq 0,05$.

В условиях засоления отмечено торможение процесса набухания. Увеличение массы и объема необлученного варианта замедлилось на 11 и 7 % через 6 ч и на 33 % к концу эксперимента. Реакция облученных семян имела некоторые отличия. Через 6 ч набухания у облученных семян показатели увеличения их массы и объема были несколько выше чем у необлученных; через 20 ч поступление воды в семена снижалось до уровня необлученных. В дальнейшем отмечено постепенное усиление торможения процесса набухания облученных семян. К концу эксперимента у облученных семян в условиях засоления среды прорастания масса семян была меньше контрольных на 34–35 % при снижении объема на 37–39 %. Угнетение процесса набухания семян при засолении отразилось на длительности этапов прорастания. Длительность I этапа в условиях засоления увеличилась у семян необлученного варианта в 2,3 раза, варианта облучения в дозе 2,5 и 5,0 Гр – в 2,5 и 3,0 раза по сравнению с аналогичными вариантами пресного фона.

Основную роль в набухании семян играют аквапорины мембран, гидрофильные липидные поры и ионные каналы. В сухих семенах аквапорины находятся в открытом состоянии [2]. У необлученных семян при прорастании водные каналы закрываются, и набухание идет за счет липидных пор. Такой механизм позволяет согласовать количество поступающих в семена воды и кислорода и избежать гипоксии или гибели зародыша. У облученных семян аквапориновые каналы остаются открытыми и участвуют в поступлении воды в семена. Полученные нами данные согласуются с этой гипотезой. Облученные семена ржи в условиях пресного фона характеризовались в течение всего опыта более высокими значениями увеличения массы. Особенно активно этот процесс наблюдался у семян, облученных в дозе 2,5 Гр. В условиях засоления поступление воды в семена всех вариантов сокращалось, хотя у облученных (особенно при дозе 2,5 Гр) в первые часы отмечалось более активное изменение массы. В дальнейшем динамика поступления воды приблизилась к уровню необлученного варианта. В данных условиях у растений наблюдалось последовательное включение программы защиты от осмотического стресса. Характерно, что в лаг-фазу (II этап набухания) у растений пресного фона поступление воды в семена стабилизировалось. В дальнейшем активация метаболической активности имела существенные различия. У облученных семян на пресном фоне шла стимуляция биохимических процессов, а в условиях засоления торможение, что выразилось в отставании параметров набухания семян.

Конечным этапом набухания является прорастание зародыша и формирование проростка. Всхожесть семян является главным параметром жизнеспособности популяции. Процент и скорость прорастания семян является показателем устойчивости растений к действию неблагоприятных факторов. В ряде работ отмечается [3], что изменение удельной плотности на этапе набухания связано с эффективностью этого процесса и в высокоосмотических растворах (свыше 1,6 МПа) прямо коррелирует с долей прорастающих семян.

Предпосевное облучение и засоление оказали сложное влияние на параметр всхожести (табл. 2). В контроле этот показатель составил 93–94 % для обоих сортов ржи, что характерно для популяций с высоким жизненным потенциалом. Вследствие этого, всхожесть облученных семян на воде не отличалась от контроля, хотя процесс набухания этих растений шел более активно, чем у необлученных.

Таблица 2 – Всхожесть растений ржи в зависимости от дозы γ -облучения и степени засоления среды прорастания

Сорт	Доза облучения, Гр	Число проросших зерен, %		
		Дистиллированная вода	1,0 % NaCl	2,5 % NaCl
Верас	Контроль	93,3±1,3	79,8±1,8*	66,2±1,1*
	2,5	92,6±0,7	78,5±1,1*	64,5±1,3*
	5,0	92,5±0,9	75,8±1,5*	62,3±1,5*
Паўлінка	Контроль	93,7±0,5	78,7±1,0*	59,0±2,1*
	2,5	94,7±1,0	76,9±0,8*	58,9±1,5*
	5,0	94,3±0,9	74,7±0,8*	49,0±1,3*

Примечание: * – различия достоверны к варианту облучения, прораставшему на воде, при $p \leq 0,001$.

В условиях засоления всхожесть семян изменялась во всех вариантах с наличием тенденции к ее уменьшению, которая зависела от дозы облучения и концентрации соли в растворе; снижение всхожести семян ржи сорта «Верас» составило: на 1 %-ом р-ре соли – 14,5; 15,2 и 18,1 %; на 2,5 %-ом р-ре – 29,1; 30,4 и 32,7 % соответственно, для контроля и вариантов облучения 2,5 и 5,0 Гр. Для семян сорта «Паўлінка» снижение было более существенным и составило: на 1 %-ом р-ре соли – 16,0; 18,8 и 20,8 %; на 2,5 %-ом р-ре – 37,0; 37,8 и 48,0 % соответственно, для контроля и вариантов облучения 2,5 и 5,0 Гр.

По результатам дисперсионного анализа установлено значительное воздействие на всхожесть семян фактора засоления (51,6 %). Влияние облучения на прорастание оказалось достоверным и несущественным (2,9 %), по причине более сильного влияния фактора засоления, а доля сочетанного действия недостоверна. Необходимо отметить влияние на показатель всхожести иных факторов – повторности опытов и гетерогенности популяций (45,5 %).

Прорастание семян завершается формированием проростков и переходом растения к автотрофному типу питания. В зависимости от условий освещения на этапах прорастания растения развиваются по темновому или световому пути. При темновом пути (этиоляции) распределение питательных веществ в проростке связано с удлинением coleoptily вместо развития листа и корня. Эта стратегия обеспечивает экономное использование запасных ресурсов семени и направлена на поиск света как основы для выживания фотоавтотрофного организма.

Анализ развития растений ржи, прораставших на дистиллированной воде, на третий день прорастания показал активацию ростовых параметров у облученных вариантов (табл. 3). Развитие облученных растений шло интенсивнее за счет расходования эндосперма и активации роста coleoptily. Общая масса осевых органов (coleoptиль, первый лист и корни) облученных семян была выше массы осевых органов семян контрольного варианта в 1,14 и 1,23 соответственно для вариантов облучения 2,5 и 5,0 Гр. На седьмые сутки сохраняется положительный эффект предпосевного облучения. В условиях ограничения питательных веществ (из-за этиоляции – это только эндосперм) общая масса осевых органов облученных семян была выше массы осевых органов семян контрольного варианта в 1,02 и 1,09 соответственно для вариантов облучения 2,5 и 5,0 Гр. Развитие облученных растений шло за счет активации роста coleoptily растяжением клеток и роста корневой системы.

Таблица 3 – Параметры накопления биомассы осевыми органами растений ржи сорта «Паўлінка» в зависимости от дозы γ -облучения и степени засоления среды прорастания

Доза облучения, Гр	Сырая масса coleoptily и первого листа, мг	Сухая масса coleoptily и первого листа, мг	Сухое вещество coleoptily и первого листа, %	Сухая масса корней, мг	Сухая масса зерновки, мг
Дистиллированная вода, 3-и сутки					
Контроль	22,0 ± 0,4	2,16 ± 0,07	9,83	1,62	24,2 ± 0,5
2,5	22,1 ± 0,7	2,50 ± 0,05	11,34*	1,85	21,6 ± 0,6*
5,0	25,3 ± 0,3*	2,68 ± 0,09*	10,56	1,95	23,2 ± 0,4
Дистиллированная вода, 7-е сутки					
Контроль	55,7 ± 3,4	5,43 ± 0,22	9,75	4,18	13,7 ± 0,4
2,5	60,4 ± 3,2	5,45 ± 0,14	9,03	4,34	12,9 ± 0,3
5,0	61,7 ± 1,9	5,57 ± 0,20	9,02	4,94	12,6 ± 0,4
1,0 % раствор NaCl, 7-е сутки					
0,0	29,7 ± 0,6	5,03 ± 0,18	16,93	2,55	18,5 ± 0,6
2,5	33,7 ± 0,1	5,43 ± 0,16	16,10	2,69	18,8 ± 0,3
5,0	37,4 ± 2,0*	4,40 ± 0,06	11,75*	2,64	18,9 ± 0,5
2,5 % раствор NaCl, 7-е сутки					
0,0	–	–	–	–	29,3 ± 0,4
2,5	–	–	–	–	29,8 ± 0,8
5,0	–	–	–	–	31,2 ± 0,5

Примечание: * – различия достоверны по отношению к необлученному варианту, прораставшему в аналогичных условиях, при $p \leq 0,05$.

В условиях засоления среды прорастания отмечается сложный характер реакции фактора на развитие растений. У семян, облученных в дозе 2,5 Гр, прорастающих на 1,0 % растворе соли, наблюдается сохранение эффекта радиостимуляции. Что выражается в повышенном накоплении сухого вещества в осевых органах и сырой биомассе coleoptила и первого листа по сравнению с аналогичными параметрами растений необлученного варианта. Для варианта облучения в дозе 5,0 Гр отмечено достоверное увеличение по отношению к необлученному варианту сырой биомассы coleoptила и первого листа на фоне существенного снижения накопления сухого вещества. Для семян, прораставших на 2,5 % растворе соли проводили оценку сухой биомассы зерновки. Установлено, что при прорастании семян облученных вариантов отмечено торможение процессов роста осевых органов и расхода эндосперма зерновки, по сравнению с необлученным вариантом.

Таким образом, проведенные исследования показали, что предпосевное облучение семян в дозах 2,5 и 5,0 Гр активизирует процесс прорастания семян, начиная с «физического набухания» и до формирования проростков, на фоне повышения чувствительности растений к последующему действию стресс-фактора. В зависимости от силы воздействия засоления и дозы облучения эффект радиостимуляции может уменьшиться или полностью исчезнуть. Воздействие засоления на гетерогенную популяцию, приводит к общему торможению процессов прорастания и к гибели менее жизнеспособных особей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Обручева, Н. В. Физиология инициации прорастания семян / Н. В. Обручева, О. В. Антипова // Физиология растений. – 1997. – Т. 44. – № 2. – С. 287–302.
2. Веселова, Т. В. Изменение состояния семян при их хранении, проращивании и под действием внешних факторов (ионизирующего излучения в малых дозах и других слабых воздействий), определяемое методом замедленной люминесценции: автореферат дис. ... д-ра биол. наук. 03.00.01-02 / Т. В. Веселова. – М., 2008. – 48 с.
3. Полонский, В. И. Гетерогенность семян яровой пшеницы по способности к набуханию и прорастанию в растворах сахарозы / В. И. Полонский // Физиология и биохимия культурных растений. – 2004. – Т. 36. – № 3. – С. 270–274.

МОНИТОРИНГ ГЕЛЬМИНТОФАУНЫ ЗЕМЛЕРОЙКОВЫХ МЛЕКОПИТАЮЩИХ, НАСЕЛЯЮЩИХ БЕРЕГА МЕЛИОРАТИВНЫХ КАНАЛОВ НА ВЫГОНАХ БЕЛОРУССКОГО ПОЛЕСЬЯ

MONITORING OF THE HELMINTH FAUNA OF SHREW MAMMALS INHABITING THE SHORES OF RECLAMATION CHANNELS ON PASTURES OF BELORUSSIAN POLESIE

В. В. Шималов
V. Shimalov

*Брестский государственный университет имени А. С. Пушкина,
г. Брест, Республика Беларусь
shimalov@brsu.brest.by
Brest State A. S. Pushkin University, Brest, Republic of Belarus*

Представлены результаты, проведенного в 2018 г. мониторинга гельминтофауны землеройковых млекопитающих, населяющих берега мелиоративных каналов, проходящих на выгонах в Брестском Полесье (западная часть Белорусского Полесья, Брестский и Малоритский р-ны Брестской обл.). Пойман 51 экземпляр зверьков 3-х видов. У них обнаружено 27 видов гельминтов (7 видов трематод, 10 видов цестод, 10 видов нематод). Общая зараженность гельминтами составила 94,1 %. Анализируется гельминтофауна пойманных землеройковых млекопитающих.

The result of monitoring of the helminth fauna of soricid mammals living on reclamation channel banks on pastures in Brest Polesie (western part of Belorussian Polesie, Brest and Malorita districts of Brest region) in 2018 are presented. 51 specimens of 3 species of animals are caught. 27 species of helminths (7 species of trematodes, 10 species of cestodes, 10 species of nematodes) were found in these animals. The total rate of infection by helminths was 94.1 %. The helminth fauna of captured soricid mammals are analyzed.

Ключевые слова: мониторинг, гельминтофауна, землеройковые млекопитающие, мелиоративные каналы, выгон, Белорусское Полесье.

Keywords: monitoring, helminth fauna, shrew mammals, reclamation channels, pasture, Belarusian Polesie.

Мелиоративные каналы являются неотъемлемой частью экосистем Белорусского Полесья, трансформированных осушительной мелиорацией. Они и их берега посещаются и заселяются различными видами беспозвоночных и позвоночных животных, включая землеройковых млекопитающих. За счет них происходит формирование специфического комплекса гельминтов, среди которых могут быть виды, представляющие опасность человеку и домашним животным.

Начиная с 1996 г. нами проводится изучение гельминтофауны землеройковых млекопитающих, населяющих берега мелиоративных каналов в Белорусском Полесье. Первый период наблюдений был осуществлен в 1996–1999 гг. [1], второй – в 2005–2010 гг. [2]. Установлено обитание 4-х видов землеройковых млекопитающих: белобрюхая белозубка, обыкновенная и малая бурозубки, обыкновенная кутора. Абсолютным доминантом является обыкновенная бурозубка: 2,22 особи на 100 ловушко-суток (л-с) в 1996–1999 гг. и 3,02 особи на 100 л-с в 2005–2010 гг. В каждый период у этого зверька выявлено по 33 вида гельминтов, а общая зараженность ими составила 88,8 % (первый период) и 94,2 % (второй период).

С 2015 г. нами начат третий период исследования гельминтофауны землеройковых млекопитающих, населяющих берега мелиоративных каналов в Белорусском Полесье. Были обследованы берега мелиоративных каналов, проходящие в смешанных лесах [3] и на пахотных землях [4], расположенные на территории Брестского Полесья (Брестский, Жабинковский и Малоритский р-ны Брестской обл.). По берегам каналов в смешанных лесах у 2-х видов землеройковых млекопитающих (обыкновенная и малая бурозубки) обнаружено 24 вида гельминтов, (общая зараженность гельминтами была 96,3 %). По берегам каналов на пахотных землях у 3-х видов землеройковых млекопитающих (белобрюхая белозубка, обыкновенная и малая бурозубки) найдено 22 вида гельминтов (общая зараженность гельминтами была 96,7 %). Доминировала обыкновенная бурозубка (2,4 особи и 2,8 особей на 100 л-с соответственно на берегах каналов в смешанных лесах и на пахотных землях).

В 2018 г. продолжен мониторинг гельминтофауны землеройковых млекопитающих, населяющих берега мелиоративных каналов в Белорусском Полесье. Работы проводились на модельных мелиоративных системах в Брестском Полесье (западная часть Белорусского Полесья, Брестский и Малоритский р-ны Брестской обл.). Животных отлавливали давилками «Геро», выставленными в линию вдоль берега канала на выгонах по 25 штук через 1,5–2 м друг от друга в течение 4 суток. Приманкой служили кусочки ржаного хлеба, нарезанные кубиками и обжаренные на подсолнечном масле. Отработано 1000 л-с. Поймана 51 особь зверьков 3-х видов: 26 самцов и 25 самок, 8 половозрелых и 43 неполовозрелых особей. Информация о видовом составе землеройковых млекопитающих, их численности на 100 л-с, количестве исследованных и зараженных гельминтами представлена в табл. 1.

Таблица 1 – Видовой состав, численность, количество исследованных и зараженных гельминтами землеройковых млекопитающих

Вид животного	Количество											
	исследованных				на 100 л-с	зараженных						
	♂♂	♀♀	П	НП		♂♂	♀♀	П	НП	Т	Ц	Н
Бурозубка обыкновенная – <i>Sorex araneus</i> Linnaeus, 1758	19	19	6	32	3,8	19	18	6	31	19	35	27
Бурозубка малая – <i>S. minutus</i> Linnaeus, 1766	1	4	1	4	0,5	1	2	1	2	–	3	2
Кутора обыкновенная – <i>Neomys fodiens</i> Pennant, 1771	6	2	1	7	0,8	6	2	1	7	8	3	4

Примечание: ♂♂ – самцы, ♀♀ – самки, П – половозрелые особи, НП – неполовозрелые особи, л-с – ловушко-сутки, Т – трематоды, Ц – цестоды, Н – нематоды.

Животных исследовали методом полного гельминтологического вскрытия, компрессирования тканей и органов.

При статистической обработке материала использовали общепринятые в паразитологии показатели: экстенсивность инвазии – ЭИ (% зараженных животных), интенсивность инвазии – ИИ (количество экземпляров паразитов в одном зараженном животном), индекс обилия – ИО (среднее количество экземпляров паразитов в исследованных животных).

Численность зверьков составила 5,1 особь на 100 л-с. Доминировала, как и в предыдущие годы исследований, обыкновенная бурозубка (3,8 особей на 100 л-с), которая является экологически пластичным видом, хорошо адаптируется к различным условиям существования.

Общая зараженность гельминтами землеройковых млекопитающих была 94,1 %. Самцы заражены на 100 %, самки – на 88,0 %, половозрелые особи – на 100 %, неполовозрелые – на 93,0 %. Оказались неинвазированными неполовозрелая самка обыкновенной бурозубки и две неполовозрелые самки малой бурозубки. Чаще зверьки заражены цестодами (на 80,4 %), чем трематодами (на 52,9 %) и нематодами (на 64,7 %). У 84,3 % популяции землеройковых млекопитающих установлено паразитирование 2–12 видов гельминтов.

Обнаружено 27 видов гельминтов: 7 видов трематод, по 10 видов цестод и нематод (табл. 2). Все они являются типичными паразитами землеройковых млекопитающих.

Больше всего видов гельминтов найдено у обыкновенной бурозубки (22 вида: 6 видов трематод, 7 видов цестод и 9 видов нематод). По всем показателям зараженности доминировала цестода *Neoskrjabinolepis singularis*

(Cholodkowsky, 1912) (ЭИ 65,8; ИИ 1–48; ИО 5,37). В фауне гельминтов обыкновенной бурозубки стали появляться редкие на берегах каналов для этого хозяина виды паразитических червей – трематода *Prosolecithus danubica* Tkach et Bray, 1995 (заражено 2 особи; ИИ 2–13; ИО 0,4) и нематода *Skrjabinoclava soricis* (Tiner, 1951) (заражена 1 особь; ИИ 1; ИО 0,03). Первый вид был обнаружен нами в печени половозрелого самца (13 экземпляров) и неполовозрелой самки (2 экземпляра). Ранее нами этот вид трематод был найден у обыкновенной бурозубки, пойманной на берегу мелиоративного канала, проходящего на выгоне (1998 г.) и в смешанном лесу (2016 г.) [3]. Только в 1998 г. он ошибочно был принят за вид *Skrjabinoplagicorhis polonicus* (Soltys, 1957) [1]. Второй вид гельминтов в количестве одного экземпляра локализовался в желудке неполовозрелого самца. В 2017 г. этот вид нематод был обнаружен у неполовозрелой самки обыкновенной бурозубки, пойманной на берегу канала на пахотных землях [4]. Трематода *Strigea sphaerula* (Rudolphi, 1803), цестода *Cladotaenia globifera* (Batsch, 1786), нематоды *Ascarops strongylina* (Rudolphi, 1819) и *Porrocaecum depressum* (Zeder, 1800) находились на личиночной стадии. Дефинитивными хозяевами первых двух и четвертого являются птицы, третьего – парнокопытные млекопитающие. Из них только нематода *A. strongylina* имеет ветеринарное значение, известна в мире в качестве паразита свиней.

У малой бурозубки обнаружено 3 вида гельминтов (2 вида цестод и 1 вид нематод). Из них цестоды *Soricinia infirma* (Żarnowsky, 1955) (син.: *Insectivorolepis infirma* Żarnowsky, 1955 [1]) и *Neoskrjabinolepis schaldybini* Spassky, 1947 оказались специфичными для данного хозяина. Локализовались они в кишечнике. Первым видом заражен неполовозрелый самец (ИИ 28), вторым – половозрелая (ИИ 1) и неполовозрелая самки (ИИ 10). Более детальное изучение цестод от обыкновенной и малой бурозубок, определенных нами ранее [2, с. 476] как вид *Soricinia soricis* (Baer, 1928), убедило нас, что это вид *S. infirma*.

Все особи обыкновенной куторы были зараженными гельминтами. Из 9 обнаруженных видов 4 относились к трематодам и нематодам, 1 – к цестодам. Специфичными для этого хозяина оказались трематода *Neoglyphe locellus* (Kossack, 1910) (локализация – кишечник; заражены все особи; ИИ 3–34; ИО 15,6), цестода *Neomylepis magnirostellata* (Baer, 1931) (локализация – кишечник; заражено 3 особи; ИИ 1–6; ИО 1,5) и нематода *Capillaria konstantini* Romashov, 1999 (локализация – мочевого пузыря; заражена 1 особь; ИИ 4; ИО 0,5). Первый вид относится к самым распространенным паразитам обыкновенной куторы, которым поражено 64,0 % популяции этого зверька, обитающего в юго-западной Беларуси с ИИ, достигающей до 135 экземпляров у одной особи [5]. К 23 видам гельминтов, известных в Беларуси как паразитов обыкновенной куторы [5], добавился в результате наших исследований еще один – нематода *P. depressum*, 3 личинки которой были найдены у половозрелого самца.

Таблица 2 – Зараженность гельминтами землеройковых млекопитающих

Виды гельминтов и их систематическое положение	Хозяин	ЭИ	ИИ	ИО
Трематоды Класс Trematoda Rudolphi, 1808 Отряд Plagiorchiida La Rue, 1957 Семейство Dicrocoeliidae Looss, 1899				
<i>Prosolecithus danubica</i> Tkach et Bray, 1995	Бурозубка обыкновенная	5,9	2–13	0,40
Семейство Omphalometridae Looss, 1899				
<i>Neoglyphe locellus</i> (Kossack, 1910)	Кутора обыкновенная	у 8	3–34	15,6
<i>N. sobolevi</i> (Schaldybin, 1953)	Бурозубка обыкновенная	15,8	1–38	16,3
<i>Rubinstrema exasperatum</i> (Rudolphi, 1819)	Бурозубка обыкновенная	36,8	1–10	1,13
	Кутора обыкновенная	у 4	1–7	1,75
<i>R. opisthovitellina</i> (Soltys, 1953)	Бурозубка обыкновенная	7,9	2–3	0,18
Отряд Strigeida La Rue, 1926 Семейство Brachylaimidae Joyeux et Foley, 1930				
<i>Brachylaima fulvum</i> Dujardin, 1843	Бурозубка обыкновенная	18,4	1–8	0,53
	Кутора обыкновенная	у 2	1–2	0,38
Семейство Strigeidae Railliet, 1919				
<i>Strigea sphaerula</i> (Rudolphi, 1803), larvae	Бурозубка обыкновенная	7,9	1–18	0,92
	Кутора обыкновенная	у 2	4–6	1,25
Цестоды Класс Cestoda Rudolphi, 1808 Отряд Cyclophyllidea Beneden in Braun, 1900 Семейство Dilepididae Railliet et Henry, 1909				
<i>Monocercus arionis</i> (Siebold, 1850)	Бурозубка обыкновенная	47,4	1–10	1,87
Семейство Hymenolepididae Perrier, 1897				
<i>Ditestolepis diaphana</i> (Cholodkowsky, 1906)	Бурозубка обыкновенная	13,2	1–22	1,40
<i>Lineolepis skutigera</i> (Dujardin, 1845)	Бурозубка обыкновенная	13,2	1–5	0,37
<i>Neomylepis magnirostellata</i> (Baer, 1931)	Кутора обыкновенная	у 3	1–6	1,50
<i>Neoskrjabinolepis schaldybini</i> Spassky, 1947	Бурозубка малая	у 2	1–10	2,20
<i>N. singularis</i> (Cholodkowsky, 1912)	Бурозубка обыкновенная	65,8	1–48	5,37
<i>Soricinia infirma</i> (Żarnowsky, 1955)	Бурозубка малая	у 1	28	5,60

<i>Staphylocystis furcata</i> (Stieda, 1862)	Бурозубка обыкновенная	21,1	1–8	0,71
<i>Urocystis prolifer</i> Villot, 1880	Бурозубка обыкновенная	5,3	3–8	0,29
Семейство Paruterinidae Fuhrmann, 1907				
<i>Cladotaenia globifera</i> (Batsch, 1786), larvae	Бурозубка обыкновенная	7,5	2–12	0,63
Нематоды				
Класс Adenophorea Linstow, 1905				
Отряд Enoplida Filipjev, 1929				
Семейство Capillariidae Railliet, 1915				
<i>Aonchotheca kutori</i> (Ruchljadeva, 1946)	Бурозубка обыкновенная	2,6	4	0,11
<i>Calodium soricicola</i> (Yokogawa et Nischigori, 1924)	Бурозубка обыкновенная	7,9	2–4	0,21
<i>Capillaria konstantini</i> Romashov, 1999	Кутора обыкновенная	у 1	4	0,50
<i>Eucoleus oesophagicola</i> (Soltys, 1952)	Бурозубка обыкновенная	31,6	1–10	1,0
	Кутора обыкновенная	у 3	1–4	0,75
<i>Liniscus incrassatus</i> Diesing, 1851	Бурозубка обыкновенная	31,6	1–18	1,55
Класс Secernentea Linstow, 1905				
Отряд Ascaridida Skrjabin et Schulz, 1940				
Семейство Ascarididae Baird, 1853				
<i>Porrocaecum depressum</i> (Zeder, 1800), larvae	Бурозубка обыкновенная	10,5	1–2	0,13
	Кутора обыкновенная	у 1	3	0,38
Отряд Rhabditida Chitwood, 1933				
Семейство Strongyloididae Chitwood et McIntosh, 1934				
<i>Parastrongyloides winchesi</i> Morgan, 1928	Бурозубка обыкновенная	2,6	3	0,08
	Кутора обыкновенная	у 1	2	0,25
Отряд Spirurida Chitwood, 1933				
Семейство Acuariidae Railliet, Henry et Sisoff, 1912				
<i>Skrjabinoclava soricis</i> (Tiner, 1951)	Бурозубка обыкновенная	2,6	1	0,03
Семейство Spirocercidae Chitwood et Wehr, 1932				
<i>Ascarops strongylina</i> (Rudolphi, 1819), larvae	Бурозубка обыкновенная	2,6	1	0,03
Отряд Strongylida Diesing, 1851				
Семейство Heligmonellidae Durette-Desset et Chabaud, 1977				
<i>Longistriata depressa</i> (Dujardin, 1845)	Бурозубка обыкновенная	29,0	1–28	1,87
	Бурозубка малая	у 2	4–8	2,40

Общими для всех трех видов землеройковых млекопитающих, пойманных в 2018 г. на берегах мелиоративных каналов, проходящих на выгонах, не оказалось ни одного вида гельминтов. Больше всего таких видов (6 видов: по 3 вида трематод и нематод) выявлено между обыкновенной бурозубкой и обыкновенной куторой, меньше (1 вид нематод) – между обыкновенной и малой бурозубками, и вообще ни одного вида – между малой бурозубкой и обыкновенной куторой (табл. 2).

Таким образом, исследованиями 2018 г. установлено, что у 3-х видов землеройковых млекопитающих, обитающих на берегах мелиоративных каналов, проходящих на выгонах, паразитирует 27 видов гельминтов, включающих 7 видов трематод, по 10 видов цестод и нематод. Наиболее богатым видовым составом гельминтов выделяется обыкновенная бурозубка (22 вида), численность которой наиболее высокая (3,8 особей на 100 л-с). Пять видов гельминтов, обнаруженных только у малой бурозубки (2 вида) и обыкновенной куторы (3 вида), дополняют видовой состав паразитических червей землеройковых млекопитающих.

В целом гельминтофауна землеройковых млекопитающих, населяющих берега мелиоративных каналов, проходящих на выгонах, включает характерные для этой группы животных виды гельминтов. Из них только четыре вида гельминтов обнаружены на личиночной стадии, из которых один вид (*A. strongylina*) имеет ветеринарное значение. Для остальных 23 видов гельминтов землеройковые млекопитающие являются дефинитивными хозяевами.

Исследование гельминтофауны землеройковых млекопитающих проводится в рамках выполнения темы «Влияние антропогенной нагрузки на видовой состав и численность гельминтов и их хозяев землеройковых млекопитающих, населяющих берега мелиоративных каналов в Белорусском Полесье» (№ госрегистрации 20162544 от 28.06.2016 г.).

ЛИТЕРАТУРА

1. Шималов, В. В. Гельминтофауна насекомоядных млекопитающих (Mammalia: Insectivora) берегов каналов на мелиорированных территориях / В. В. Шималов // Паразитология. – 2007. – Вып. 3. – С. 201–205.
2. Шималов, В. В. Мониторинг гельминтофауны насекомоядных млекопитающих берегов мелиоративных каналов Белорусского Полесья / В. В. Шималов // Паразитология. – 2012. – Вып. 6. – С. 472–478.
3. Шималов, В. В. Мониторинг гельминтофауны землеройковых млекопитающих, населяющих берега мелиоративных каналов в смешанных лесах Белорусского Полесья / В. В. Шималов // Сахаровские чтения 2017 года: экологические проблемы XXI века: материалы 17-й междунар. науч. конф. – Минск, 2017. – Ч. 2. – С. 59–60.

4. Шималов, В. В. Мониторинг гельминтофауны землеройковых млекопитающих, населяющих берега мелиоративных каналов на пахотных землях Белорусского Полесья / В. В. Шималов // Сахаровские чтения 2018 года: экологические проблемы XXI века: материалы 18-й междунар. науч. конф. – Минск, 2018. – Ч. 2. – С. 188–189.

5. Шималов, В. В. Гельминтофауна куторы обыкновенной (*Neomys fodiens*) в Беларуси / В. В. Шималов // Весці НАН Беларусі. Сер. біял. навук. – 2015. – № 4. – С. 111–115.

ИНВАЗИЯ ОМЕЛЫ БЕЛОЙ (*VISCUM ALBUM L.*) В БЕЛАРУСИ, ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЕЕ ЧИСЛЕННОСТИ И ВОЗРАСТНОЙ СТРУКТУРЫ

INVESTION OF UMELA WHITE (*VISCUM ALBUM L.*) IN BELARUS, DETERMINATION OF ITS SIZE AND AGE STRUCTURE

В. А. Юрель, Ю. Г. Лях

V. Yurel, Y. Liakh

*Белорусский государственный университет, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ,
г. Минск, Республика Беларусь
vladislav.yurel@outlook.com*

Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus

Приводится краткая характеристика растения, которое получило широкое распространение в южных регионах Республики Беларусь. Ныне омела вошла в разряд активных инвазивных растений. От ее влияния страдают насаждения, парки с ценной и редкой дендрофлорой, защитные полосы вдоль дорог, сады. В определенной степени омела белая (*Viscum album L.*) паразитирует и на плодовых деревьях. Преимущество садовых деревьев в том, что птиц, а они являются главным звеном в распространении семян омелы, привлекают обилие плодов (яблоки, груши), которые в больших количествах остаются на деревьях после сбора урожая. Ведь семена омелы не только переносятся с плодами (ягодами) паразитического растения, но и семенами, которые остаются в кронах омелы после разрушения ягод. В этом случае распространение семян идет продолжительный период времени. Изучение степени поражения плодовых деревьев омелой и явилось нашей задачей, результаты этих исследований нашли отражение в данной публикации.

This paper provides a brief description of the plant, which is widespread in the southern regions of the Republic of Belarus. Now mistletoe has entered the category of active invasive plants. Plantations, parks with valuable and rare dendroflora, protective lanes along the roads, gardens suffer from its influence. To a certain extent, white mistletoe (*Viscum album L.*) parasitizes on fruit trees. The advantage of garden trees is that birds, and they are the main link in the distribution of mistletoe seeds, attract an abundance of fruits (apples, pears) that remain in large quantities on the trees after harvest. After all, mistletoe seeds are not only transferred with the fruits (berries) of a parasitic plant, but also with seeds that remain in the mistletoe crowns after the destruction of the berries. In this case, the spread of seeds is a long period of time. The study of destruction degree of fruit trees mistletoe was our task, the results of these studies are reflected in this publication.

Ключевые слова: омела белая, инвазивные растения, паразитический организм, садовые деревья, зеленые насаждения, типы популяций.

Keywords: mistletoe, invasive plants, parasitic organism, garden trees, green plantings, types of populations.

Омела белая (*Viscum album*) – вечнозеленый полупаразитный кустарник семейства ремнецветниковых, образующий полушаровидной формы кусты на различных, преимущественно лиственных деревьях. Растет в западных и южных районах Европы, СНГ, на Кавказе. Встречается также в юго-западных, центральных и южных регионах европейской части России, в Беларуси, на Украине (чаще всего – в Крыму).

В условиях умеренного климата растение может достигать 100–150 см в диаметре. Стебель голый, цилиндрический, желто-зеленого цвета. Ветви деревянистые, вилкообразно разветвленные, расположенные супротивно; листья сидячие, супротивные, толстокожие, с ясно заметными 3–4 продольными жилками, желто-зеленые, зимующие; растения двудомные, цветки мелкие, невзрачные, скученные по 3–6 на верхушке стебля и в развилинах стеблей, тычиночные крупнее пестичных; плод – сочная, блестящая, шаровидная ненастоящая ягода с клейкой мякотью, с одним или несколькими семенами.

Паразитарные цветущие растения представляют собой уникальную экологическую адаптацию, эволюционировав от независимой функции к возрастающей зависимости от других высших растений. Считается, что омела вызывает существенное снижение энергии роста, потерю декоративности и урожайности древесных культур, а также является причиной уменьшения продолжительности жизни насаждений – приводит к частичному или сплошному высыханию деревьев [1].

На протяжении всей истории омелы выращивались и почитались как лекарственные травы и религиозные символы. Появление этих растений на деревьях вблизи человеческого жилья считалось большой удачей в плане защиты от невзгод. В отличие от этого, в последние годы возросло ее значение именно как паразита древесных культур и древесных декоративных растений, хотя лекарственные свойства омелы до сих пор используются в медицине. Углубленное изучение химического состава различных частей растения и их плодов открывают новые возможности использования ее лечебных свойств.

Биологами виды омелы изучаются в плане контроля за их патогенным воздействием и получением представления об эволюционной роли, которую играет это семейство паразитных цветковых растений. Уникальные характеристики омелы, которые давно интересуют биологов-садоводов, направлены на выяснения уникальной устойчивости и сопротивляемости к внешним факторам и неподверженности к заболеваниям, от которых страдают плодовые деревья [3; 4].

В любом случае омела вызывает ухудшения санитарного состояния (преждевременное засыхание, резкое снижение скорости роста, а в последствии и урожайности плодовых деревьев) и эстетического вида древесных растений [2].

Омела распространяется при помощи птиц, охотно поедающих ее ягоды. Они являются важным источником питания для них в зимнее время. Слизистый виктин приклеивает семя, после прохода через пищеварительную систему птицы. В ряде случаев ягоды омелы опадают и прикрепляются к веткам того же или соседнего дерева. Очищая клюв о кору деревьев, птицы оставляют на ней приставшие к клюву семена, которые приклеиваются к веткам и прорастают.

Важным является то, что омела, в отличие от многих паразитов растений, которые получают питательные вещества, разрушая клетки хозяина, связывается с сосудистой системой хозяина. Часть питательных веществ, которые омела использует для своей вегетации, создает утечку ресурсов, что повышает восприимчивость растения-хозяина к другим патогенным организмам. Морфологические сдвиги, которые вызываются внедрением чужеродного организма, нарушают защитные функции или изменяют гормональный баланс, что ведет к гипертрофии, отмиранию частей дерева или формированию различных новообразований.

Еще одним признаком заражения омелой является отмирание ветки выше точки прикрепления. Долгое время причиной этому считался недостаток поступления воды и питательных веществ. Однако дальнейшие исследования показали, что омела активно вытягивает питательные вещества из этой части ветки. Отмирание позволяет не только поглощать больше питательных веществ, но также создает отверстие в кроне, что увеличивает поступление света к омеле.

В целом, молодая древесина более подвержена к заражению омелой, поскольку в нее легче вторгнуться. Старая древесина при заражении более подвержена разрыву, чем молодая. Масса самого паразита может быть настолько велика, что старая сухая ветка может сломаться, что еще больше усугубит ситуацию, путем проникновения в дерево новых патогенных организмов.

В нашем случае экологическое значение омелы белой рассматривается в большей степени как паразитический организм распространяющий свое негативное влияние именно на плодовые деревья.

В последнее время *V. album* получила широкое распространение на территории Республики Беларусь, особенно на южной ее части, куда, в свою очередь, пребывает с территории Украины. В данный момент *V. album* следует рассматривать как потенциального паразита плодовых деревьев, так как почти в каждом районе республики заложены плодовые сады [4].

Исследование по определению численности и возрастной структуры проводили с использованием методики, разработанной Ю. И. Вергелесом и И. А. Рыбалкой [5].

Исследование проводилось на участке в центральной части г. Столбцы. На этом участке расположены жилые дома, хозяйственные постройки и учреждения дошкольного образования. В процессе исследования определялась численность омелы и ее возраст. Для отображения численности омелы нами использовалась шкала численности (табл. 1).

Таблица 1 – Определение численности *V. album* L. на отдельных деревьях и в группе деревьев

Индекс численности	Количество кустов омелы	Индекс численности	Количество кустов омелы
1	1–5	5	41–80
2	6–10	6	81–160
3	11–20	7	161–320
4	21–40	8	321–640

Для отображения приблизительного возраста *V. album* L. использовали популяционно-демографический коэффициент $K[j-g-s]$, который отражает соотношение ювенильных растений (j), растений генеративного возраста (g) и сенильных растений (s). Его запись производилась с помощью цифр 0, 1, 2, и 3.

Также были собраны данные расположения зараженных деревьев на учетной территории (рис. 1). Цифрами обозначены номера деревьев, на которых обнаруживался паразит.

Нами для обследования было выделено 46 участков (точек) произрастания деревьев с явно выраженным паразитированием омелы белой. На этих участках установлены 64 дерева, в кронах которых находилась омела.



Рисунок 1 – Схема определения численности и возрастной динамики омелы белой (*Viscum album L.*)

Типы популяций:

- угасающая – 3;
- стабильная – 5;
- растущая с двумя возрастными группами – 7;
- одновозрастная с молодыми растениями – 1;
- растущая – 34;
- стабилизирующаяся – 6;
- стабильная с двумя возрастными группами – 1;
- равновозрастная со старыми растениями – 3;
- стабилизирующаяся с двумя возрастными группами – 1;
- растущая с разрывом поколений – 3;

Результаты наблюдений представлены в табл. 2. Как следствие из данной таблицы, можно предположить, что в дальнейшем, без вмешательства человека, количество популяций и численность *V. album L.* в этих популяциях будет только расти.

Рост численности паразита в черте города имеет негативные последствия для деревьев, а единственным методом борьбы является механическое удаление. Полное удаление *V. album L.* из биоценозов также несет негативные последствия. Так как длительный период присутствия этого растения не оставил без последствий хоть и паразитарный, но все таки биоценоз. В связи с этим необходим научный подход в плане постепенного освобождения деревьев от омелы. Одновременно обращая внимания на возможные негативные моменты, которые могут возникнуть в этот период.

Возможен вариант стадийной ликвидации в одном, наиболее пораженном районе, со 100 % освобождением деревьев от паразитарного растения.

В этом случае мониторинг происходящих в таком районе всех как положительных, так и отрицательных моментов обязателен.

Таблица 2 – Типы популяций *V. album*

Номер точки	Количество деревьев	Индекс численности	K[j-g-s]	Тип популяции по динамике
1	1	3	122	Угасающая
2	1	2	231	Стабильная
3	1	1	123	Угасающая
4	1	1	123	Угасающая
5	1	1	210	Растущая с двумя возрастными группами
6	2	1	100	Одновозрастная с молодыми растениями
7	1	2	231	Стабильная
8	4	4	321	Растущая
9	1	5	321	Растущая
10	1	5	321	Растущая
11	1	5	321	Растущая

Номер точки	Количество деревьев	Индекс численности	K[j-g-s]	Тип популяции по динамике
12	1	3	210	Растущая с двумя возрастными группами
13	2	3	210	Растущая с двумя возрастными группами
14	1	4	321	Растущая
15	1	3	312	Стабилизирующая
16	1	3	021	Стабильная с двумя возрастными группами
17	2	5	321	Растущая
18	1	4	321	Растущая
19	2	3	211	Растущая
20	1	2	210	Растущая с двумя возрастными группами
21	4	5	321	Растущая
22	1	4	321	Растущая
23	1	3	321	Растущая
24	3	2	321	Растущая
25	3	2	211	Растущая
26	1	1	001	Равновозрастная со старыми растениями
27	1	1	001	Равновозрастная со старыми растениями
28	1	1	110	Стабилизирующая с двумя возрастными группами
29	1	2	312	Стабилизирующая
30	1	4	312	Стабилизирующая
31	1	3	211	Растущая
32	2	2	321	Растущая
33	2	3	211	Растущая
34	2	3	312	Стабилизирующая
35	1	1	001	Равновозрастная со старыми растениями
36	1	1	201	Растущая с разрывом поколений
37	2	2	201	Растущая с разрывом поколений
38	1	2	231	Стабильная
39	1	3	210	Растущая с двумя возрастными группами
40	1	5	321	Растущая
41	1	4	321	Растущая
42	1	1	312	Стабилизирующая
43	1	3	132	Стабильная
44	2	2	321	Растущая
45	1	1	210	Растущая с двумя возрастными группами
46	1	3	231	Стабильная

Учитывая степень распространения и интенсивность паразитирования на деревьях омелы белой в Гродненской, Брестской, Гомельской и южные регионы Минской и Могилевской областей желательна провести учеты мест произрастания омелы.

В настоящее время необходима разработка методов для контроля численности *V. album* L., а также, в случае зачистки территорий от паразитического растения, определить направления биологического мониторинга последствий. Регистрация и анализ положительных или отрицательных процессов, возникающих в результате снижения численности омелы белой, позволит избежать нежелательных биологических проявлений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лях, Ю. Г. Омела белая (*Viscum album*) и ее экологическое значение в Республике Беларусь / Ю. Г. Лях, В. А. Юрель // Сахаровские чтения 2018 года: экологические проблемы XXI века: материалы 18-й междунар. науч. конф. – Минск, 2018. – Т. 2. – С. 152–154.
2. Юрель, В. А. Распространение омелы белой (*Viscum album* l.) в ландшафтах Беларуси и роль зеленой инфраструктуры / В. А. Юрель, Ю. Г. Лях // VIII Междунар. науч.-практ. конф. «Эколого-биологические аспекты состояния и развития Полесского региона». г. Мозырь, 26 октября 2018. – Мозырь, 2018. – С. 91–94.

3. *Рибалка, І. О.* Дослідження впливу омели білої (*Viscum album L.*) на приріст біомаси дерев (на прикладі тополі канадської, *Populus deltoids Moench.*) / І. О. Рибалка, Ю. І. Вергелес // Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористання – 2017. – № 2 (16). – С. 72–77.

4. *Ігнатюк, О. М.* Ураження омелою білою (*Viscum album L.*) яблуні домашньої (*Malus domestica*) та інших плодових і ягідних культур / О. М. Ігнатюк. // Сільське господарство та лісівництво. Овочівництво та грибництво, сучасний стан та тенденції розвитку – 2016. – № 3. – С. 156–163.

5. *Вергелес, Ю. І.* Методичні вказівки до виконання розрахунково-графічної роботи «Комплексна порівняльна ландшафтно-екологічна характеристика ділянок міської території, що належать до різних функціональних зон» / Ю. І. Вергелес, І. О. Рибалка. – Харків: ХНАМГ, 2011. – 18 с.

**ЯДЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
И РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ**

ПРОГРАММНО-АППАРАТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАДИАЦИОННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ МЕСТНОСТИ

SOFTWARE AND HARDWARE MODELING RADIOACTIVE CONTAMINATION OF AREAS

Е. В. Быстров, Е. А. Коновалов, Д. И. Комар, С. В. Прибылев
E. Bystrov, E. Konovalov, D. Komar, S. Pribylev

*Научно-производственное унитарное предприятие «АТОМТЕХ»,
г. Минск, Республика Беларусь
info@atomtex.com
ATOMTEX SPE, Minsk, Republic of Belarus*

Представлены назначение и основные возможности и функции разработанного программно-аппаратного комплекса «SimRad», позволяющего имитировать виртуальные источники гамма-излучения, радиоактивное загрязнение местности и оценивать параметры радиационного поля. Приводятся результаты проверки корректности генерации программой поля мощности дозы для заданных источников посредством Монте-Карло моделирования.

The paper presents the purpose and the main features and functions of the developed software and hardware complex «SimRad», which allows to simulate virtual sources of gamma radiation, radioactive contamination of the area and evaluate the parameters of the radiation field. The results of checking the correctness of the generation of the dose rate field by the program for given sources by means of Monte-Carlo simulation are given.

Ключевые слова: источники гамма-излучения, программно-аппаратный комплекс «SimRad», Монте-Карло моделирование.

Keywords: sources of gamma radiation, software and hardware complex «SimRad», Monte-Carlo simulation.

Важным элементом обеспечения готовности аварийно-спасательных формирований к реагированию и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций с радиационным фактором на объектах атомной отрасли является уровень профессиональной подготовки личного состава.

Персонал служб специального назначения, обеспечивающих реагирование на ядерные и радиационные аварии и инциденты должны уметь точно и правильно оценивать радиационную обстановку в этих условиях, принимать грамотные решения для того, чтобы минимизировать потери личного состава и гражданского населения, а также определить время начала аварийно-спасательных и других неотложных работ.

С целью эффективной подготовки персонала к действиям используются практико-ориентированные методы и средства. В настоящее время к числу таких продуктов относятся широко используемые системы программного обеспечения.

В докладе представлено разработанное программно-аппаратное средство моделирования радиоактивного загрязнения местности «SimRad». Программа «SimRad» позволяет имитировать виртуальные источники ионизирующего излучения и радиоактивное загрязнение местности с расчётом распределения интенсивности гамма-излучения по заданным параметрам источника. Время расчета зависит от количества источников и размеров учебной площадки. Корректность расчета результирующего распределения интенсивности излучения от точечных и площадных источников была проверена посредством Монте-Карло моделирования. Программное средство разрабатывалось с использованием эмпирической информации о поверхностных загрязнениях местности радионуклидами [1; 2].

Возможности и функции программы:

- задание параметров учебной площадки на картах OpenStreetMap, Google, Яндекс;
- расположение источников гамма-излучения;
- моделирование точечных источников гамма-излучения с радионуклидом ^{137}Cs ;
- моделирование поверхностного загрязнения почвы радионуклидом ^{137}Cs ;
- генерирование поля мощности дозы гамма-излучения в зоне учебной площадки;
- отслеживание положения и дозиметрических параметров тренируемого личного состава;
- отслеживание положения знаков ограждения, устанавливаемых личным составом.

На рис. 1 приведен скриншот главного окна программы «SimRad».



Рисунок 1 – Главное окно программы «SimRad»

Требования к участку местности и оснащению специальных служб, для обеспечения работы программного комплекса:

- площадь учебной площадки – не более 4 км²;
- размер одной из сторон учебной площадки – не более 2 км;
- количество знаков ограждения на одного тренируемого – до 100 шт;
- защищенный, карманный всепогодный компьютер для тренируемого с установленной программой «SimRadMobile» для симуляции радиационного монитора (поискового дозиметра);
- ноутбук для тренера с программой «SimRad» для формирования задания и контроля хода учений;
- связь 3G для передачи данных между тренером и тренируемым.

Контроль участников:

- отображение списка участников;
- местоположение каждого участника;
- мощность дозы в точке нахождения каждого участника;
- координаты знаков ограждения, установленных каждым участником (рис. 2).

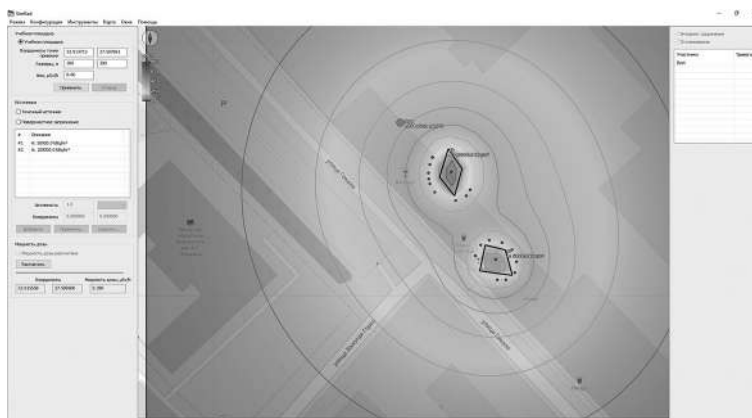


Рисунок 2 – Контроль расстановки знаков ограждения участниками тренировок

Мобильная версия программы «SimRadMobile» для моделирования радиационного монитора, устанавливается на КПК. Она позволяет имитировать работу реального поискового дозиметра-радиометра гамма-излучения. Программа позволяет работать в двух режимах: поисковый режим и режим измерения мощности дозы. Имеет возможность выбора блоков детектирования из широкого набора. Каждый блок детектирования характеризуется индивидуальной чувствительностью и диапазоном измерения мощности дозы по аналогии с реальным прибором (из состава дозиметра-радиометра MKC-AT117M).

Пользователь программы «SimRadMobile» получает следующую информацию:

- мгновенную скорость счета импульсов гамма-излучения;
- среднюю скорость счета импульсов гамма-излучения и погрешность;
- мощность дозы гамма-излучения и статистическую погрешность измерения;
- накопленную дозу.

Пользователь имеет возможность устанавливать и удалять виртуальные ограждения.

При движении участника на местности, в автоматическом режиме составляется карта загрязнения местности. Координаты местоположения участника определяются из встроенного в КПК GPS – модуля (рис. 3).



Рисунок 3 – КПК с рабочим окном программы «SimRadMobile»

Проверка корректности генерации программой поля мощности дозы гамма-излучения от заданных источников проводилась посредством Монте-Карло моделирования с помощью кода MCNP [3]. Была разработана Монте-Карло модель поверхности почвы для площадки 50х50 метров, на которой размещались источники гамма-излучения Cs-137 излучения.

Результаты сличения значений мощности дозы, рассчитанных по программе «SimRad» со значениями, полученными Монте-Карло моделированием, приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Сравнение значений мощности дозы, полученных «SimRad» и рассчитанных методом Монте-Карло

Точечный источник (1×10^8 Бк)			Поверхностная активность (1×10^6 Бк/м ²) Площадь загрязнения 50х50 м (левый нижний угол в координате 0;0)					
Расстояние, м	Мощность дозы, мкЗв/ч		Отклонение, %	Координаты, м		Мощность дозы, мкЗв/ч		Отклонение, %
	SimRad	М.-К.		х	у	SimRad	М.-К.	
0,1	8,99	10,3	-12,7	10	10	1,695	1,903	-10,9
0,2	8,78	10,01	-12,3	20	10	1,787	1,958	-8,7
0,5	7,36	8,38	-12,2	60	10	0,234	0,223	4,9
1	4,6	5,29	-13,0	80	10	0,077	0,068	12,4
1,5	2,83	3,28	-13,7	60	40	0,238	0,22	8,2
2	1,84	2,12	-13,2	80	40	0,077	0,068	13,4
3	0,919	1,05	-12,5	10	55	0,386	0,372	3,8
5	0,353	0,391	-9,7	100	100	0,016	0,014	14,3
10	0,0905	0,0953	-5,0	70	70	0,061	0,052	16,7
20	0,0226	0,0226	0,0	10	50	1,105	1,056	4,6
50	0,0035	0,0032	9,4	10	45	1,59	1,736	-8,4

В массиве данных, приведенных в табл. 1, прослеживается хорошая сходимость результатов, полученных с помощью Монте-Карло моделирования и рассчитанных программой «SimRad».

Данный программный продукт может быть эффективно использован при тренировках личного состава специализированных служб, обеспечивающих реагирование на ядерные и радиационные аварии и инциденты.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бекман, И. Н. Ядерная индустрия: курс лекций / И. Н. Бекман. – М.: Энергоатомиздат, 2005. – 75 с.
2. Израэль, Ю. А. Гамма-излучение радиоактивных выпадений / Ю. А. Израэль, Е. Д. Стукин. – М.: Атомиздат, 1967. – 224 с.
3. Briesmeister, J. F. MCNP-A General Monte Carlo N-Particle Transport Code, Version 4B. LA-12625-M. – Los Alamos: Ed. Los Alamos National Laboratory, 1997. – 736 с.

ДЕТЕКТИРОВАНИЕ СОЛНЕЧНЫХ НЕЙТРИНО: ДЕЙСТВУЮЩИЕ И ПРОЕКТИРУЕМЫЕ НЕЙТРИННЫЕ ТЕЛЕСКОПЫ

DETECTION OF SOLAR NEUTRINO: EXISTING AND PROJECTED NEUTRINO TELESCOPES

Д. С. Василевская^{1,2}, О. М. Бояркин¹

D. Vasilevskaya^{1,2}, O. Boyarkin¹

¹Белорусский государственный университет, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ,
г. Минск, Республика Беларусь

²Институт подготовки научных кадров Национальной академии наук Беларуси,
г. Минск, Республика Беларусь
Daro.vasilek@gmail.com

¹Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus

²Researchers Training Institute National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Republic of Belarus

Рассмотрена работа нейтринных телескопов, детектирующих солнечные нейтрино, и их характеристики. Описано состояние проектирующихся детекторов, представлены их характеристики.

The work of neutrino telescopes that detect solar neutrinos and their characteristics is considered. The state of the projected detectors and their characteristics are described.

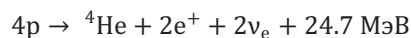
Ключевые слова: нейтринный телескоп, солнечное нейтрино, Байкальский нейтринный телескоп, Borexino, Super-Kamiokande, Баксанская нейтринная обсерватория, SNO+, Байкал.

Keywords: neutrino telescope, solar neutrino, Baikal neutrino telescope, Borexino, Super-Kamiokande, Baksan Neutrino Observatory, SNO +, Baikal.

Цель данной работы – провести анализ научной литературы и исследовать характеристики действующих и проектируемых нейтринных телескопов, детектирующих солнечные нейтрино.

Нейтрино образуются в ходе различных ядерных реакций, поэтому их можно условно разделить по происхождению. Один из источников нейтрино – распад ядер. Другой источник – атмосфера Земли. Верхние слои атмосферы постоянно бомбардируются частицами, прилетающими из космоса (в основном протонами). Энергии их таковы, что они порождают цепочки ядерных реакций, одним из продуктов которых могут быть нейтрино. Источником нейтрино также является Солнце, Солнечные нейтрино помогают понять процессы, происходящие внутри Солнца и других звезд.

Солнечные нейтрино – нейтрино, образующиеся на Солнце в результате термоядерной реакции горения водорода с образованием ⁴He:



и в результате CNO-цикла.

На рис. 1 показан спектр нейтрино, рождающихся в реакциях горения водорода и в результате CNO-цикла. Образующиеся на Солнце нейтрино регистрируются земными детекторами, что подтверждает протекание на Солнце реакций с образованием нейтрино. Однако поток солнечных нейтрино оказывается в 2–3 раза меньше того, что следует из расчетов светимости Солнца.

Результаты экспериментов с солнечными нейтрино служат указанием на осцилляции нейтрино – превращение $\nu_e \rightarrow \nu_\mu, \nu_\tau$ при прохождении через вещество Солнца и на пути к Земле

Основываясь на современных представлениях об эволюции Солнца и составе солнечного вещества, можно утверждать, что 98% солнечной энергии генерируется в результате реакций pp-цепочки, а CNO-цикл поставляет лишь 2% солнечной энергии. Зная величину энергии, выделяющейся в одном акте образования ядра ⁴He (около 25 МэВ), и величину полной энергии, излучаемой с поверхности Солнца в секунду – солнечную светимость $L = 2.4 \cdot 10^{39}$ МэВ/с, можно оценить поток нейтрино Φ , падающий на поверхность Земли:

$$\Phi = \frac{(2 \div 3)}{27 \cdot 4\pi R^2} L \sim 10^{11} \frac{\text{нейтрино}}{\text{см}^2} \cdot \text{с};$$

где R – расстояние от Земли до Солнца.

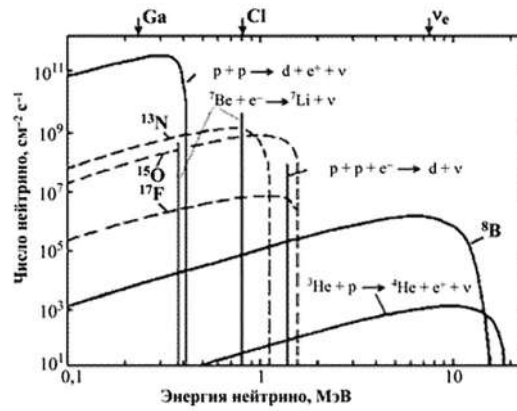
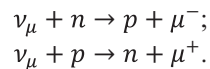


Рисунок 1 – Спектр нейтрино, образующихся на Солнце в результате горения водорода в реакции $4p \rightarrow \alpha$ и в CNO-цикле

Все существующие методы детектирования нейтрино направлены на получение информации о свойствах лептонов и адронов, рождаемых ими при взаимодействии нейтрино с веществом детектора. При взаимодействии нейтрино с веществом детектора их энергия передаётся либо электрону, либо адрону. Так, при столкновении нейтрино с электроном, в электрон уходит большая часть энергии нейтрино (примерно 80 %). Электрон при движении испускает вторичные γ -кванты посредством тормозного излучения. Испущенные фотоны в свою очередь могут превращаться в e^-/e^+ и μ^-/μ^+ пары. Далее новые лептоны повторяют последовательность, и вскоре появляется огромное количество частиц меньшей энергии. Вся их совокупность называется электромагнитным ливнем. Энергия, переданная адрону, вызывает поток других адронов, называемый адронным ливнем. Рождающиеся в ливнях частицы теряют энергию, продвигаясь в среде [1].

Детектирование мюонных треков осуществляется с помощью установок, помещенных глубоко под поверхностью Земли. Это позволяет отделить вклад от атмосферных мюонов и нейтрино, а также от космических лучей, которые иначе могли бы попасть в детектор сверху. Нейтрино пролетают сквозь Землю и взаимодействуют с веществом Земли, в результате чего рождается мюоны, которые и детектируются [1].

Многие современные детекторы по регистрации внеземных нейтрино детектируют черенковский свет по вторичным заряженным частицам. Исходная реакция в зависимости от целей детектора варьируется. Это может быть рассеяние нейтрино на электронах вещества: $e^- + \nu_i \rightarrow e^- + \nu_i$, взаимодействие по каналу заряженных токов: $\nu_e + d \rightarrow p + p + e^-$, реакция по каналу нейтральных токов: $\nu_i + d \rightarrow n + p + \nu_i$, или реакции, используемые в наиболее крупных детекторах, например на нейтринном телескопе Байкал:



По детектированию черенковского света в среде возможно детектирование мюона. Регистрация электронов и таонов в схожих реакциях сложнее и даёт менее точное угловое распределение. Преимущество мюонов перед другими частицами в том, что они имеют малые энергетические потери в среде (по сравнению с электронами) и большее время жизни (по сравнению с тау-лептонами). Например, если высокоэнергетичный мюон способен преодолеть около 10 км в скале, то электроны или адроны той же энергии и в аналогичной среде остановятся через 10 м [1].

В силу того, что речь идет о больших энергиях (>100 ГэВ), можно считать, что траектории начальных и конечных частиц с большой точностью совпадают, таким образом, по трекам нейтрино можно определить местоположение в пространстве их источника. В настоящее время нейтринные телескопы, основанные на регистрации черенковского излучения от мюона, рожденного нейтрино, обладают наибольшими эффективными объемами по сравнению с другими типами детекторов.

В этой статье мы рассматриваем следующие действующие нейтринные телескопы, детектирующие солнечное нейтрино:

1. Байкальский нейтринный телескоп (РФ);
2. Borexino (Италия);
3. Super-Kamiokande (Япония);
4. Баксанская нейтринная обсерватория (РФ).

Также дается описание следующих проектируемых нейтринных телескопов:

1. SNO+ (Канада);
2. Байкал (GVD);
3. Super-Kamiokande 2.0.

Байкальский нейтринный телескоп – нейтринная обсерватория, находящаяся на дне озера Байкал. В данный момент продолжается строительство кубокилометровой версии (=IceCube).

По данным ИЯИ РАН нейтринный телескоп NT-200 имеет следующие характеристики: глубина составляет – 1100–1200 м, количество фотодетекторов – 11 струн. В настоящее время ведется поиск: нейтрино очень высоких энергий ($E > 100$ TeV), магнитных монополей, нейтрино из WIMP аннигиляции в центре Земли.

Проектируется гига-объемный детектор БАЙКАЛ (GVD): эффективный объем ~ 1 км³ ($E > 100$ TeV), струны ~ 90 , фотодетекторы ~ 1500 [2].

Эксперимент Borexino – эксперимент по физике элементарных частиц, нацеленный на изучение низкоэнергетических (~ 860 кэВ) солнечных нейтрино, рождающихся на Солнце в результате одной из реакций протон-протонного цикла: ${}^7\text{Be} + e^- \rightarrow {}^7\text{Li} + \nu_e$ [3].

Эксперимент позволяет глубже понять процессы, происходящие в ядре Солнца, а также помогает определить параметры нейтринных осцилляций. Впервые в режиме реального времени наблюдались солнечные нейтрино с энергией менее 1 МэВ, рождаемые в ядерных реакциях в центре Солнца. Детектор представляет собой ряд концентрических слоев защиты, в центре которых находится нейлоновая сфера диаметром 8,5 м, наполненная 300 т чрезвычайно низкофонового жидкого сцинтиллятора и просматриваемая 2200 фотоумножителями, установленными на сфере из нержавеющей стали, окружающей сцинтиллятор. Стальная сфера окружена слоем сверхчистой воды для защиты от распадов урана и тория, находящихся в горной породе. Вода служит также черенковским детектором мюонов космических лучей [3].

Super-Kamiokande или Super-K. В нем детектируется черенковское излучение, образующееся в процессе нейтринно-электронного рассеяния. Порог регистрации нейтрино, обусловленный фоном, составляет 7,5 МэВ. Таким образом, этот детектор чувствителен лишь к части высокоэнергичных нейтрино, образующихся в результате распада: ${}^8\text{Be} \rightarrow {}^8\text{Be}^* + \nu_e + e^+$. Детектор размещён в цинковой шахте Камиока, в 290 км к северу от Токио. Детектор Super-Kamiokande представляет собой резервуар из нержавеющей стали в форме цилиндра высотой 41,4 м и диаметром основания 39,3 м, заполненный 50 тыс. т специально очищенной воды. На стенах резервуара размещены 11 146 фотоумножителей. Детектор также оснащён огромным количеством электроники, компьютеров, калибровочных устройств и оборудованием для очистки воды [4].

Планируется создать и ввести в действие Super-Kamiokande 2.0 к концу 2026. Он будет в 20 раз больше Super-Kamiokande. В нем планируется использовать около 99 000 фотоумножителей [4].

Баксанская нейтринная обсерватория расположена в Баксанском ущелье Кавказского горного хребта (Приэльбрусье). Направления научных исследований:

- 1) изучение внутреннего строения и эволюции Солнца, звезд, ядра Галактики и других объектов Вселенной путём регистрации их нейтринного излучения (нейтринная астрономия);
- 2) поиск новых частиц и сверхредких процессов, предсказываемых современными теориями элементарных частиц, на недоступном другим методам уровне чувствительности;
- 3) исследование космических лучей высоких энергий (гамма-астрономия).

Обсерватория располагает следующими установками:

- 1) баксанский подземный сцинтилляционный телескоп объемом 3000 м³ на глубине 300 м под поверхностью;
- 2) галлий-германиевый нейтринный телескоп – радиохимический детектор солнечных нейтрино с мишенью из металлического галлия массой 60 т;
- 3) установка «Андырчи» для регистрации широких атмосферных ливней;
- 4) комплекс наземных установок КОБЕР (включает в себя Большой мюонный детектор, сцинтилляционный телескоп и нейтронный монитор), предназначенный для исследования жёсткой компоненты космических лучей и широких атмосферных ливней [2].

SNO+ (Канада) будет новым жидкостным сцинтилляционным детектором в килотонном масштабе. Детектор будет расположен примерно в 2 км под землей на руднике VALE Creighton недалеко от Садбери, (Онтарио, Канада). Сердцем детектора SNO+ будет акриловая сфера диаметром 12 м с приблизительно 800 т жидкого сцинтиллятора, который будет плавать в водяной бане. Этот объем будет контролироваться примерно 10 000 фотоумножителями. SNO + будет выглядеть почти точно так же, как SNO (детектор солнечных нейтрино, отключённый в 2006) [5].

«Байкал», ARCA (предназначен для наблюдения нейтрино ТэВ-ных и ПэВ-ных энергий, от астрофизических объектов) и IceCube (нейтринная обсерватория, построенная на антарктической станции Амундсен-Скотт, цель – обнаружение астрофизических нейтрино), расположенные в разных полушариях, планируется объединить в Глобальную нейтринную обсерваторию, которая будет собирать и объединять данные со всех трех установок для совместного анализа и исследования природных потоков нейтрино.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бояркин, О. М., Бояркина, Г. Г. Физика частиц -2013: Квантовая электродинамика и Стандартная модель. – Изд. стереотип. – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2015 – 440 с.
2. Институт ядерных исследований Российской академии наук [Электронный ресурс]. URL: <http://www.inr.ru/index.html> (дата обращения: 23.02.2019).
3. Borexino Experiment Official Web Site [Electronic resource]. URL: <http://borex.lngs.infn.it/> (date of access: 25.02.2017).
4. Super-Kamiokande [Electronic resource]. URL: <http://www-sk.icrr.u-tokyo.ac.jp/sk> (date of access: 23.02.2017).
5. SNO+ Detector [Electronic resource]. URL: <https://snoplus.phy.queensu.ca> (date of access: 23.02.2017).

**АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УЧЕТА И КОНТРОЛЯ
ЯДЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ «АТОМИС КИПЕР»
AUTOMATED NUCLEAR MATERIAL ACCOUNT
AND CONTROL SYSTEM “АТОМИС КИПЕР”**

***М. С. Веренчикова¹, Е. М. Хаджинов^{1,2}, А. А. Беспалый¹,
А. В. Тереня¹, Т. С. Стельмак¹, О. М. Хаджинова²
M. Verenchikova, Y. Khajynau, A. Biaspaly,
A. Tsiarenia, T. Stselmak, O. Khajynava***

¹Прикладные системы, г. Минск, Республика Беларусь

*² Белорусский государственный университет, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ,
г. Минск, Республика Беларусь*

khadzhinov@appsys.net

¹Applied Systems ltd., Minsk, Belarus

²Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus

Нигде в мире нет более контролируемой и регламентируемой области, чем контроль и учет ядерных материалов. Жизненный цикл любой тепловыделяющей сборки длится более 10 лет, на нее оформляется более 200 официальных документов. Ручная подготовка такого объема документов и отчетов требует массы усилий и сопряжена со значительным риском внесения ошибок. Atomic Keeper – это современная информационная система, предназначенная для учета и контроля ядерных материалов, которая соответствует всем международным стандартам. Atomic Keeper имеет гибкую структуру, позволяющую адаптировать процедуру учета под любой процесс документооборота на предприятии и под любой вариант национальных норм. Хорошо проработанная система визуализации дает ясное представление о текущей ситуации с топливом внутри реактора, в бассейне выдержки и в хранилище свежего топлива, а также предоставляет детальную информацию о местоположении и состоянии любой ТВС на любой момент времени [1].

There is hardly anything in the world that would be controlled so strictly as nuclear materials. The lifecycle of every unit of nuclear fuel, which is more than 10 years long, is described in more than 200 official documents. Every step is thoroughly regulated. Manual preparation of all those documents and reports process entails significant costs and high risk of errors. Atomic Keeper is a modern information system for accounting and control of nuclear materials that fully complies with all international standards. Atomic Keeper has an adaptive architecture, which allows configuring the system in accordance with the requirements and regulations of a particular object and the national legislation norms. The well-thought data visualization system provides a clear overview of the actual situation at the reactor core, cooling pools, and nuclear fuel storage facilities and detailed information on the location and state of each accounting unit at any particular time [1].

Ключевые слова: ядерный материал, учет и контроль, МАГАТЭ, автоматизированная система, АЭС, ВВЭР, ЗБМ, КТИ, главный журнал, ОИИК, СНК, МБО.

Keywords: nuclear material, accounting and control, IAEA, automation system, NPP, PWR, MBA, KMP, general ledger, ICR, PIL, MBR.

Атомная электростанция является не только сложным технически, но и опасным объектом, поскольку выполнение основной задачи атомной электростанции – выработка электроэнергии – основано на использовании ядерных материалов. Ядерные материалы несут в себе угрозу как для жизни, здоровья и деятельности человека, так и для окружающей среды. Дополнительные сложности вызывает тот факт, что ядерные материалы могут также использоваться для производства ядерного оружия. Данные причины обусловили особое отношение к ядерным материалам на объектах использования атомной энергии, в том числе и на атомных электростанциях. Обращение с ядерными материалами на АЭС регламентируется нормами, правилами и рекомендациями на национальном и международном уровнях. С целью недопущения переключения значимых количеств ядерных материалов и подтверждения заявленной деятельности на атомных электростанциях:

- 1) все этапы обращения с ядерными материалами документируются, то есть весь комплекс транспортно-технологических работ и процедур, выполняемых с ядерными материалами на протяжении всего их жизненного цикла на АЭС, подлежит документированию и сохранению данной информации на протяжении установленного времени;
- 2) выполняется учет количества ядерных материалов и изменение данного количества, периодически проводятся физические инвентаризации имеющихся ядерных материалов;
- 3) формируются отчетные документы, направляемые в государственный компетентный орган системы учета и контроля ЯМ и в МАГАТЭ;

4) периодически на АЭС проводятся инспекции со стороны МАГАТЭ;

5) обеспечивается контроль за сохранностью ядерных материалов, предотвращение их несанкционированного использования и хищения.

Ряд из указанных процедур учета и контроля ядерных материалов (например, регистрация операций и работ с ЯМ, документальное сопровождение, формирование отчетности) могут быть автоматизированы, что и обусловило появление автоматизированных или информационно-аналитических систем учета и контроля ядерных материалов. Основным недостатком существующих систем можно назвать отсутствие универсальности и адаптируемости (гибкости). Так, при построении систем, позволяющих вести учет и контроль ядерных материалов, разработчик (поставщик) системы совместно с представителями атомной электростанции собирает материалы о том, какие работы и процедуры выполняются или будут выполняться на АЭС с ЯМ, какова будет последовательность действий при их осуществлении, какие данные и сведения необходимо фиксировать, какие документы (содержание, формат и иное) необходимо составлять и иное. После сбора и анализа данной информации в системе кодируются четкие последовательности действий, которые соответствуют транспортно-технологическим работам и процедурам обращения с ЯМ. В случае изменений в процедурах обращения с ядерными материалами либо при отсутствии необходимых данных в момент разработки системы (например, на строящейся АЭС могут быть известны не все нюансы работы с ЯМ во время последующей эксплуатации), возникают сложности с актуализацией системы и, соответственно, возможностью ее использования.

При разработке автоматизированной системы «Atomic Keeper» (далее АС УиК ЯМ «Atomic Keeper») был выбран несколько иной подход – выявлены и закодированы не целые последовательности действий, соответствующие той или иной операции с ЯМ на конкретной АЭС, а элементарные независимые друг от друга шаги (в понятиях системы «блоки»), из которых могут быть составлены последовательности, удовлетворяющие нуждам той или иной станции. Таким образом, изменение регламента обращения с ЯМ на АЭС не скажется на возможности регистрации данных в системе, достаточно будет изменить количество блоков или их расположение друг относительно друга в последовательности. Благодаря своей элементарности блоки являются универсальными и могут быть использованы на различных атомных электростанциях. За каждым из блоков закреплен один или несколько шаблонов документов с набором основных полей, заполняемых в блоке, что дает возможность получать автоматически заполненные рабочие документы.

В отличие от систем-аналогов, в которых регистрация событий осуществляется постфактум, то есть только после реального выполнения работ с ЯМ специалистами АЭС, а подготовка необходимых рабочих документов выполняется вручную, в данной системе регистрация события может начаться до совершения реальных действий, а на основании известных к этому моменту данных могут быть сформированы и частично заполнены рабочие документы. Созданные документы могут быть использованы во время реального совершения действия для ввода данных, которые становятся известными только в процессе выполнения работ, например, фактические результаты измерений параметров ЯМ, точные дата и время совершения действий и иное. Далее полученные значения вносятся в систему, регистрация события завершается, значения перезаписываются в базе данных. Возможность получения рабочих документов (с/без частично заполненными данными) существенно облегчает деятельность специалистов АЭС, учитывая количество и сложность данных документов.

Отличительной особенностью данной системы учета и контроля ЯМ от систем-аналогов является поддержка возможности просмотра записей отчета об изменениях инвентарного количества ядерных материалов на этапе ввода данных о выполненных (или планируемых) работах с ЯМ. В системах-аналогах имеется возможность зарегистрировать уже выполненные работы и на их основании получить автоматически генерируемый отчет, который направляется государственному компетентному органу системы учета и контроля ЯМ и МАГАТЭ. Обнаружить ошибку в отчете можно только после генерации отчета. В данной же системе еще на этапе ввода данных о выполненных (или планируемых) работах с ядерными материалами отображаются записи будущего отчета. Обнаружив ошибку в введенных данных, ее можно исправить тут же и еще раз просмотреть обновленные записи будущего отчета. Таким образом, снижается вероятность ввода ошибочных данных, получения некорректного отчета и его отправления в сторонние организации.

В отличие от систем-аналогов в данной системе реализована возможность создания, модифицирования и применения схем загрузок и перегрузок реактора. В схемах задается то, из каких ячеек активной зоны реактора необходимо выгрузить отработавшее ядерное топливо, между какими ячейками активной зоны необходимо выполнить перестановку ядерного топлива, а также в какие ячейки активной зоны нужно загрузить свежее ядерное топливо и какими свойствами (процент обогащения) загружаемое топливо должно обладать. Схемы не составляются специалистами АЭС, ответственными за учет и контроль ядерных материалов, но на основании данных схем разрабатываются рабочие документы, планируется осуществление подготовительных работ со свежим ядерным топливом, в систему вносятся данные о всех перестановках ядерных материалов, выполненных по схеме. В АС УиК ЯМ «Atomic Keeper» реализована возможность создания схем и их использования во время ввода данных о работах по загрузке (перегрузке) активной зоны реактора, что выражается в автоматическом заполнении данных о перестановках ядерных материалов и автоматической подготовке рабочих документов. Операторам системы останется только указать точные дату и время перестановок.

Отличительной особенностью системы является реализация визуального представления локаций (местоположений) ядерных материалов. Отличие заключается в применении различных цветовых шкал, соответствующих

наиболее важным параметрам ядерных материалов, для отображения распределения ядерных материалов с учетом значений данных параметров. Представление визуальной информации и реализация группировки ядерных материалов по значениям параметров дает возможность быстро анализировать данные, не переходя в иные модули системы. Так, за несколько секунд можно ответить на вопрос о количестве свободных ячеек в помещении или о количестве ядерных материалов определенного типа или с определенным значением интересующего параметра.

В отличие от систем-аналогов для многих сущностей системы (уведомления, устройства индикации вмешательства, операции) реализованы жизненные циклы, смены статусов и состояний, что приближает систему к реальности.

Значительное число функциональных возможностей (например, возможность автоматического обновления изотопного состава ядерного топлива, ведение списка кампаний энергоблоков, возможность регистрации всех стадий жизненного цикла устройств индикации вмешательства, ведение учетных карточек, ведение Главного и Вспомогательного журнала, ведение отчета ЛП, возможность создания корректирующих справок к отчетным документам) по отдельности встречается в системах-аналогах, но в данной системе реализована и поддерживается каждая из них. Поддержка нотификаций (модуль «Уведомления») отсутствует в системах-аналогах.

Применение системы возможно на атомных электростанциях с водо-водяным энергетическим реактором (ВВЭР), являющихся одними из наиболее распространенных на сегодняшний день. Список ядерных материалов ограничивается ураном и плутонием (возможность включения иных элементов реализуема). Описание системы приведено с учетом указанных факторов.

Системы-аналоги:

- NUCMAT, Армения [2].
- АС УиК ЯМ на Игналинской АЭС [3].
- АС УиК ЯМ АЭС «Бушер».
- Компьютерная программа учета и контроля ядерных материалов с модулем определения изотопного состава для АЭС с реакторами типа ВВЭР-1000.

Автоматизированная система учета и контроля ядерных материалов «Atomic Keeper», разработанная в ООО «Прикладные системы», представляет собой клиент-серверное приложение, предназначенное для автоматизации процедур учета и контроля ядерных материалов, централизованного хранения и обработки данных по обращению с ЯМ на атомной электростанции, формирования отчетной и учетной документации, а также предоставления достоверной информации для планирования и осуществления деятельности по учету и контролю ЯМ на территории АЭС [3].

Система выполняет следующие задачи:

1) сбор, обработку и хранение информации о свойствах и характеристиках ядерных материалов, используемых на атомной электростанции;

2) формирование и ведение учетных и отчетных документов;

3) предоставление информации о количестве ядерных материалов в местах их нахождения.

К основным функциям, которые выполняет система, относятся следующие:

1) учет характеристик каждой учетной единицы, ведение истории их изменения;

2) учет местоположения каждой учетной единицы;

3) регистрация операций, работ и особых учетных процедур, выполняемых с учетными единицами;

4) регистрация всех перемещений учетных единиц;

5) обеспечение возможности создания, модификации и применения схем загрузок и перегрузок (во время регистрации работ с активной зоной реактора);

6) формирование рабочей документации, необходимой специалистам АЭС до, во время или после выполнения работ с ядерными материалами в действительности;

7) предоставление данных о количестве ядерных материалов во всех ЗБМ и КТИ;

8) формирование отчетной документации о наличии ядерных материалов и изменение количества ядерных материалов в виде отчетов установленной формы (ОИИК (ICR), СНК (PIL), МБО (MBR));

9) ведение учетных документов (Главный и Вспомогательный журналы, учетные карточки, картограммы размещения ядерных материалов);

10) поддержка возможности коррекции данных о местоположении и изотопном составе ядерных материалов (с отражением в отчетных и учетных документах);

11) обеспечение информационного сопровождения инспекций и физических инвентаризаций, проводимых на территории АЭС;

12) обеспечение проверки вводимых (выбираемых) данных на соответствие валидационным критериям.

Система состоит из следующих взаимосвязанных модулей (подсистем):

1) модуль «Операции»;

2) модуль «Карточки»;

3) модуль мониторинга текущего состояния ядерных материалов;

4) модуль «Журналы»;

5) модуль «Отчеты»;

6) модуль «Кампании»;

- 7) модуль «Устройства индикации вмешательства»;
- 8) модуль «Справочники»;
- 9) модуль «Уведомления».

АС УиК ЯМ «Atomic Keeper» имеет клиент-серверную архитектуру с «тонкими» клиентами. В качестве «тонкого» клиента используется веб-браузер. На клиентском компьютере (рабочей станции) выполняются интерфейсы пользователей, проходят предварительную проверку вводимые данные. Сервер управляет доступом к базе данных [3]. Функционирование системы обеспечивается следующим программным обеспечением:

- операционная система Windows Server 2016;
- СУБД MS SQL Server 2016;
- Net framework 4.5;
- IIS.

Система реализована с использованием следующих технологий:

- .NET Framework 4.5;
- платформа ASP.NET MVC 5;
- СУБД MS SQL Server;
- языки разметки HTML5, CSS3;
- языки программирования C#, Transact-SQL, JavaScript (ES6).

Построение архитектуры системы реализовано по MVC-шаблону («Model-View-Controller» паттерн) с разделением данных приложения, пользовательского интерфейса и управляющей логики на три отдельных компонента. Таким образом, в системе можно выделить следующие уровни:

- пользовательского интерфейса;
- бизнес-логики;
- базы данных.

Верхним уровнем является уровень интерфейса пользователя. На этом уровне система содержит формы ввода/вывода информации, функции проверки корректности вводимых данных до их обработки на стороне сервера. Интерфейс реализуется на языке разметки HTML5/CSS3 и с помощью языков программирования TypeScript, JavaScript. Отрисовка контейнеров и оборудования с их содержимым на страницах мониторинга текущего состояния ядерных материалов выполняется с помощью canvas-элемента (элемент языка разметки HTML5), предназначенного для создания растрового двухмерного изображения с помощью JavaScript-скриптов.

На уровне бизнес-логики система содержит программные коды, выполняющие функции поддержки необходимых операций. Уровень бизнес-логики написан на языке C#.

Уровень базы данных состоит из таблиц, представлений, хранимых процедур, функций, триггеров, реализованных на языке Transact-SQL и необходимых для полноценной работы системы учета и контроля. Связь уровня бизнес-логики и уровня базы данных происходит с помощью O/RM от Microsoft Entity Framework и синтаксиса LINQ.

В качестве ключевых свойств автоматизированной системы учета и контроля ядерных материалов «Atomic Keeper», разработанной ООО «Прикладные системы», можно указать следующее [3]:

Универсальность. Система ориентирована не только на учет ядерных материалов, но и на мониторинг происходящего. Это позволяет руководителям объекта или регулирующего органа наблюдать картину в целом.

Соответствие международным нормам. Система отвечает требованиям МАГАТЭ:

- соглашение о всеобъемлющих гарантиях МАГАТЭ (INFCIRC/153/Corrected);
- рекомендации по физической ядерной безопасности, касающихся физической защиты ядерных материалов и ядерных установок (INFCIRC/225/Rev.5).

Локализация. Все формы, справочники и отчеты могут быть переведены на другой язык без изменения исходных кодов.

Адаптируемость. Операции по работе с топливом в «Atomic Keeper» легко изменить и подстроить под изменившийся регламент. Система может быть адаптирована под другой объект без привлечения разработчиков и без внесения изменений в исходные коды Системы.

Самодиагностика. Система поставляется с набором автоматизированных тестов с открытым кодом, предназначенных для проведения самодиагностики и приемки новой версии. Найденные в процессе самодиагностики ошибки сохраняются в отчете с достаточным количеством информации, позволяющим локализовать проблемную область на стороне разработчика без использования базы данных заказчика.

Конфиденциальность. Реализованы возможности по адаптируемости и самодиагностике, которые позволяют надежно поддерживать Систему, оперативно исправлять возникающие отказы и поставлять новые версии без контакта разработчиков с информацией ограниченного распространения, принадлежащей атомной станции.

Соответствие нормам законодательства Республики Беларусь. Организация-разработчик ООО «Прикладные системы» имеет лицензию на право осуществления деятельности по технической и (или) криптографической защите информации.

Автоматизированная система учета и контроля ядерных материалов «Atomic Keeper», разработанная ООО «Прикладные системы» (г. Минск), в скором времени будет поставлена на РУП «Белорусская АЭС».

ЛИТЕРАТУРА

1. Atomic Keeper – Automated nuclear material account and control system [Электронный ресурс] : Applied systems. – URL: <http://www.appsys.net/en/products/atomickeeper> (дата обращения: 28.02.2019).
2. NUCMAT HELP [Электронный ресурс]. – URL: http://www.nucmat.com/NUCMAT_help/index.htm. (дата обращения: 28.02.2019).
3. Кузнецов, В. Н. Учет и контроль ядерных материалов на Игналинской АЭС [Электронный ресурс] / В. Н. Кузнецов, С. Г. Монахов // Dysnai-2000.– URL: <http://www.dysnai.org/Reports/2000-2004/2000/4.pdf>. (дата обращения: 28.02.2019).
4. Хаджинов, Е. М., Веренчикова, М. С., Беспалый, А. А., Тереня, А. В. Автоматизированная система учета и контроля ядерных материалов «Atomic Кеерег» // Свидетельство о регистрации компьютерной программы №1033. – Национальный центр интеллектуальной собственности РБ. – Дата подачи 26.03.2018. Дата регистрации 09.04.2018.

СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К ОБЕСПЕЧЕНИЮ РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ: ИЕРАРХИЧЕСКАЯ МАТРИЦА НОРМАТИВНЫХ ПРАВОВЫХ АКТОВ «АВАРИЙНАЯ ГОТОВНОСТЬ И РЕАГИРОВАНИЕ»

SYSTEM APPROACH TO ENSURING RADIATION SAFETY: HIERARCHICAL MATRIX OF REGULATORY LEGAL ACTS «EMERGENCY PREPAREDNESS AND RESPONSE»

М. Г. Герменчук, Е. К. Нилова, А. А. Загороднюк
M. Germenchuk, E. Nilova, A. Zagorodnuk

*Центр по ядерной и радиационной безопасности МЧС Республики Беларусь,
г. Минск, Республика Беларусь
secnrs@mchs.gov.by
Center for Nuclear and Radiation Safety, Minsk, Republic of Belarus*

Проведен сравнительный анализ систем нормативно-правового регулирования в части аварийной готовности и реагирования Республики Беларусь и Российской Федерации с учетом требований Международного агентства по атомной энергии.

A comparative analysis of regulatory systems in terms of emergency preparedness and response of the Republic of Belarus and Russian Federation in accordance with requirements of the International Atomic Energy Agency was carried out.

Ключевые слова: радиационная безопасность, аварийная готовность и реагирование.

Keywords: radiation safety, emergency preparedness and response.

Для обеспечения социально-приемлемого уровня радиационной безопасности населения [1] и окружающей среды на национальном уровне, в том числе для эффективного аварийного реагирования, Республика Беларусь располагает широкой нормативной правовой и нормативной технической базой. Эта база начала формироваться как необходимый элемент обеспечения радиационной безопасности населения и окружающей среды после катастрофы на Чернобыльской АЭС. Разработанная для этих целей законодательная база позволяет обеспечить надлежащий уровень радиационной безопасности на территориях, подвергшихся «чернобыльскому» радиоактивному загрязнению.

Однако в последние годы появились новые угрозы и риски в области обеспечения радиационной безопасности, которые связаны с тремя причинами [2]. Во-первых, после катастрофы на Чернобыльской АЭС международное сообщество обращает особое внимание на необходимость создания эффективной системы аварийного планирования, во-вторых, события на АЭС Фукусима-1 еще раз подтвердили необходимость готовности к реагированию на радиоактивное загрязнение за счет переноса на дальние расстояния в трансграничном контексте, в-третьих, Беларусь приступила к строительству Белорусской АЭС. Следует также обратить внимание на рост опасности международного радиологического терроризма [3].

Внешний аварийный план Республики Беларусь должен обеспечить надлежащий уровень аварийной готовности с учетом изменяющегося состава рисков и угроз [4]. На этом этапе Республика Беларусь нуждается в современной нормативной правовой базе для эффективного управления аварийными ситуациями, построенной с учетом национального опыта, в соответствии с международными нормами и стандартами МАГАТЭ, а также практики Российской Федерации.

Научной основой эффективного аварийного планирования и реагирования является системный подход, основанный на постоянном анализе существующих и потенциальных рисков и угроз радиационной безопасности и оценки готовности системы реагирования на чрезвычайные ситуации. В Республике Беларусь на постоянной основе организован обмен информацией между тремя системами мониторинга: мониторинга окружающей среды, за который отвечает Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды (далее – Минприроды), мониторинга и прогнозирования чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера, за который отвечает Министерство по чрезвычайным ситуациям (далее – МЧС) и социально-гигиенического мониторинга, за который отвечает Министерство здравоохранения (далее – Минздрав). Такая схема обмена позволяет оценивать как угрозы и риски (система мониторинга и прогнозирования чрезвычайных ситуаций), так и последствия их воздействия на человека и окружающую среду (системы мониторинга окружающей среды и социально-гигиенического мониторинга) (рис. 1).

Согласно Концепции национальной безопасности Республики Беларусь, основными потенциальными либо реально существующими угрозами в радиоэкологической сфере являются: «возникновение на территории Республики Беларусь, либо вблизи ее границ, крупномасштабных чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера, радиоактивное загрязнение почв, земель, вод, недр, растительности и атмосферы» [5].

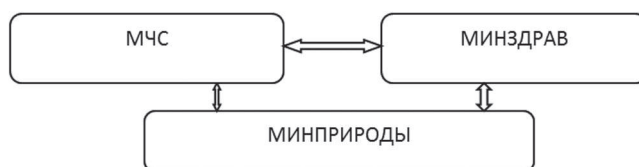


Рисунок 1 – Структурная схема обмена информацией

Эти угрозы имеют долгосрочный характер и реально реализовались, например, во время испытаний ядерного оружия в окружающей среде в период 1944–1982 гг., катастрофы на Чернобыльской АЭС в 1986 году, катастрофы на Фукусимской АЭС в 2011 году, и сохраняют свой статус потенциальных угроз вследствие того, что вокруг границ страны две действующие АЭС (Ровенская и Смоленская), а также Чернобыльская и Игналинская АЭС, которые не являются действующими, но продолжают оставаться источником угрозы и радиационной опасности (рис. 2). Белорусская АЭС также рассматривается как потенциальный источник угрозы радиационной безопасности.



Рисунок 2 – Зоны влияния на территорию Республики Беларусь приграничных АЭС [2]

Угрозы и риски радиационной безопасности подразделяются на внутренние и внешние.

Основными внутренними источниками угроз и рисков являются:

- высокое радиоактивное загрязнение окружающей среды вследствие катастрофы на Чернобыльской АЭС;
- объекты хранения и захоронения радиоактивных отходов на территории страны (в том числе, объект «Эко-рес», могильники радиоактивных отходов дезактивации в зонах «чернобыльского» загрязнения и т. д.);

- Белорусская АЭС;
- источники ионизирующего облучения (ИИИ), в том числе, утерянные;

Основными внешними источниками угроз и рисков радиационной безопасности являются:

- трансграничный перенос загрязняющих веществ на территорию Республики Беларусь воздушными и водными потоками (transnational emergency);
- международный ядерный терроризм;
- перемещение через территорию страны радиоактивных материалов, в том числе несанкционированное;
- размещение вблизи границ Беларуси крупных экологически, в том числе радиационно-опасных объектов и угроза возникновения на них ядерной или радиологической аварийной ситуации (nuclear or radiological emergency);
- захоронение ядерных отходов на сопредельных территориях (waste storage, disposal and disposition).

Примерами реализации этих угроз являются: объекты захоронения радиоактивных отходов на промышленной площадке Чернобыльской АЭС (Украина), объекты для захоронения радиоактивных отходов разной степени опасности на промышленной площадке Игналинской атомной электростанции в Литве (ИАЭС) и т. д.

Схема управления рисками радиационной безопасности предполагает, что оценки уязвимости, существующей и планируемой деятельности, анализ и определение рисков и, главное, возможных вариантов их снижения, требуют комплекса мер по предупреждению и нейтрализации этих угроз и рисков (рис. 3).

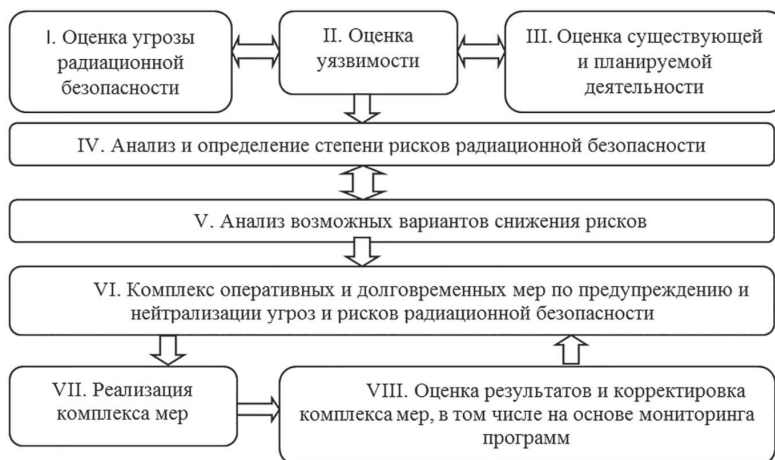


Рисунок 3 – Схема управления рисками радиационной безопасности

Важно отметить, что «Комплекс оперативных и долговременных мер по предупреждению и нейтрализации угроз и рисков радиационной безопасности», помимо других мер, например, функционирования системы радиационного мониторинга окружающей среды, включает в себя мероприятия по аварийному реагированию (emergency response arrangements), а также систему нормативных правовых актов в области аварийной готовности.

Для совершенствования системы нормативных правовых актов в области аварийной готовности необходимо провести анализ национальной и международной нормативной правовой базы, учесть опыт реагирования на чрезвычайные ситуации в прошлом с выявлением недостатков системы: аварии на АЭС Три-Майл-Айланд, Чернобыльской и Фукусимской АЭС, аварии в Гоянии и т. д.

Анализ показывает, что необходимо предусмотреть и выстроить адекватную нормативную базу, используя подход «сверху вниз»: от указов и законов в области лицензирования, обеспечения радиационной и ядерной безопасности и защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера до нормативных технических актов, определяющих порядок проведения выполнения измерений, сбора, обработки и передачи информации и инструкций по аварийной готовности и реагированию. При этом следует учесть опыт создания такой базы в других странах, прежде всего в Российской Федерации, Украине и Армении, а также рекомендации МАГАТЭ.

В рамках проведения системного анализа нормативных документов Республики Беларусь и Российской Федерации, регламентирующих обеспечение радиационной безопасности в части аварийной готовности и реагирования, с учетом требований МАГАТЭ сформирована иерархическая матрица нормативных правовых актов «Аварийная готовность и реагирование» (далее – иерархическая матрица).

Основными нормативными документами международной системы аварийной готовности и реагирования являются Конвенция об оперативном оповещении о ядерной аварии и Конвенция о помощи в случае ядерной аварии или радиационной аварийной ситуации. В дополнение к ним действует целый ряд стандартов безопасности, процедур, протоколов и методик, подготовленных МАГАТЭ.

Требования безопасности МАГАТЭ по аварийной готовности и реагированию представлены в документе «Готовность и реагирование в случае ядерной или радиологической аварийной ситуации» (GSR Part 7) [6], разработанном МАГАТЭ совместно с Продовольственной и сельскохозяйственной организацией ООН (FAO), Международной организацией труда (ILO), Управлением по ядерной энергии Организации экономического сотрудни-

чества и развития (OECD/NEA), Панамериканской организацией. Как и в любой стране-участнице, являющейся членом МАГАТЭ, в Республике Беларусь национальная система аварийной готовности и реагирования учитывает требования к обеспечению необходимого уровня готовности и реагирования на ядерную или радиационную аварийную ситуацию GSR Part 7.

Реализация требований GSR Part 7 обеспечивается двумя руководствами по безопасности – «Организация готовности к ядерной или радиационной аварийной ситуации» (GS-G-2.1) [7] и «Критерии для использования при подготовке и реагировании в случае ядерной или радиационной аварии» (GSG-2) [8], разработанными МАГАТЭ совместно с FAO, ILO, PAHO, OCHA и WHO.

Указанные руководства по безопасности являются документами, поясняющими требования GSR Part 7, например, рекомендуемые размеры аварийных зон, общие и эксплуатационные критерии принятия защитных и других мер и пр.

МАГАТЭ также разработаны технические регламенты и руководства по эксплуатации, облегчающие применение стандартов безопасности. Они касаются широкого спектра технических вопросов, с которыми сталкиваются специалисты при планировании и выполнении противоаварийных действий [6].

План управления радиационными авариями для международных организаций JPLAN, представляющий собой комплексный межведомственный механизм, определяет рамки межведомственной системы аварийной готовности и реагирования, определяет методы координации действий с четким определением обязанностей и возможностей участвующих международных организаций при подготовке и реагировании на ядерную или радиационную аварийную ситуацию, что учтено в нормативных правовых актах Республики Беларусь.

В матрице нормативно-правовых актов для Республики Беларусь в иерархическом порядке представлены четыре уровня документов в части аварийной готовности и реагирования в сравнении с системами нормативно-правового регулирования Российской Федерации и рекомендаций МАГАТЭ (рис. 4).



Рисунок 4 – Схематическое представление иерархической матрицы нормативных правовых актов «Аварийная готовность и реагирование»

При формировании иерархической матрицы учтены также актуализированные документы МАГАТЭ, проанализированные в рамках Module 16 «Emergency preparedness and response» проекта «Basic Professional training course», организованном МАГАТЭ.

При анализе системы нормативного правового регулирования Российской Федерации учитывались результаты выполнения проекта «Сравнительный анализ Белорусских и Российских регулирующих требований в области ядерной и радиационной безопасности атомных станций» (INSC project: BY3.01/13 (BE/RA/08)).

При выполнении анализа законодательной базы Республики Беларусь был учтен перечень нормативных правовых актов, в том числе технических нормативных правовых актов, не только связанных с вопросами аварийной готовности и реагирования, но и в целом направленных на обеспечение радиационной безопасности, в том числе при планировании радиационной защиты при инцидентах, включая проектные и запроектные аварии.

На основании использования системного подхода к обеспечению радиационной безопасности населения и территорий в части формирования нормативной правовой и нормативной технической базы можно сделать следующие выводы:

- иерархическую матрицу необходимо постоянно актуализировать с учетом новых угроз и рисков в области обеспечения радиационной безопасности;
- актуализацию необходимо осуществлять на основе постоянного **анализа** систем нормативного правового регулирования в части аварийной готовности и реагирования Российской Федерации, Республики Армения и требований МАГАТЭ;
- необходимо постоянно оценивать состояние и готовность системы реагирования на чрезвычайные ситуации актуальному составу действующих и потенциальных рисков и угроз, чтобы в полной мере отвечать требованиям

и критериям реагирования на чрезвычайные ситуации, и для обеспечения адекватной защиты работников, аварийно-спасательных служб, населения и окружающей среды в случае возникновения ядерной или радиационной чрезвычайной ситуации;

• иерархическая матрица нормативных правовых актов в режиме постоянных обновлений и дополнений является основой для анализа эффективности и совершенствования внешнего аварийного плана Белорусской АЭС, в том числе в трансграничном контексте.

ЛИТЕРАТУРА

1. О радиационной безопасности населения: закон Республики Беларусь, 5 янв. 1998 г. № 122-3 // Нац. реестр правовых актов Республики Беларусь. – 2001. – 2/656.
2. Герменчук, М. Г. Управление системой радиационного мониторинга окружающей среды / М. Г. Герменчук. – Минск: МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ, 2018. – 132 с.
3. Глоссарий МАГАТЭ по вопросам безопасности. Терминология, используемая в области ядерной безопасности и радиационной защиты / Международное агентство по атомной энергии. – Вена, 2007. – 226 с.
4. Об утверждении плана защитных мероприятий при радиационной аварии на Белорусской атомной электростанции (внешнего аварийного плана): постановление Совета Министров Республики Беларусь, 22 март. 2018 г. № 211 // Нац. реестр правовых актов Республики Беларусь. – 2018. – 5/44949.
5. Концепция национальной безопасности: указ Президента Республики Беларусь, 9 ноября 2010 г. № 575 // Нац. реестр правовых актов Республики Беларусь. – 2010. – 1/12080.
6. Готовность и реагирование в случае ядерной или радиологической аварийной ситуации / Общие требования безопасности МАГАТЭ GSR. – 2016. – Part 7. – 160 p.
7. Arrangements for Preparedness for a Nuclear or Radiological Emergency // IAEA Safety Standards Series. – 2007. – No. GS-G-2.1. – 159 p.
8. Критерии для использования при обеспечении готовности и реагирования в случае ядерной или радиологической аварийной ситуации / Серия норм МАГАТЭ по безопасности № GSG-2. – 2011. – 132 p.

МИКРОСТРУКТУРА БЫСТРОЗАТВЕРДЕВШИХ ФОЛЬГ СПЛАВОВ Al – Sn MICROSTRUCTURE OF RAPIDLY SOLIDIFIED FOILS OF Al – Sn ALLOYS

О. В. Гусакова, А. Н. Скибинская, Ю. М. Шульга
O. Gusakova, H. Skibinskaya, Y. Shulya

*Белорусский государственный университет, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ,
г. Минск, Республика Беларусь
ol.gusakova@gmail.com*

Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus

Проведены исследования быстрозатвердевших фольг эвтектического и заэвтектических сплавов системы алюминий–олово. Установлено, что эвтектический и околоэвтектические сплавы характеризуются однородностью микроструктуры по толщине фольги, в то время как для заэвтектических наблюдается четко выраженная слоистость микроструктуры. Сравнительный анализ фольг и массивных образцов эвтектического сплава показал, что сверхбыстрая закалка приводит к существенному измельчению структурных составляющих по сравнению с традиционными методами.

Research of rapidly solidified foils of eutectic and hypereutectic alloys of the aluminum-tin system were carried out. It was determined that eutectic and near-eutectic alloys are characterized by homogeneity of the microstructure across the foil thickness, while for hypereutectic alloys well-defined lamination of the microstructure is observed. A comparative analysis of foils and massive samples of eutectic alloy showed that ultrafast hardening leads to a significant fining of structural components compared with traditional methods.

Ключевые слова: алюминий, олово, эвтектика, сверхбыстрая закалка.

Keywords: aluminum, tin, eutectic, rapid solidification.

Сплавы на основе алюминия с оловом получили широкое применение в качестве высокотемпературных припоев для пайки изделий из алюминия в различных отраслях промышленности в том числе и в атомной энергетике [1]. Однако такие сплавы, полученные традиционными методами, зачастую характеризуются недостаточной пластичностью и слабой сопротивляемостью коррозии, вызванными неоднородностью структуры, характерной для аномальных эвтектик.

В последнее время для направленного модифицирования структуры и свойств используются сильно неравновесные условия кристаллизации, которые реализуются в таких методах, как сверхбыстрая закалка из расплава (СБЗР), лазерная, ионно-плазменная, компрессионно-плазменная обработка поверхности и др.

Известно, что метод СБЗР приводит к однородному распределению компонент в сплавах и формированию мелкодисперсной микроструктуры, что в свою очередь ведет к улучшению механических свойств и коррозионной стойкости [2]. Поэтому использование метода сверхбыстрой закалки из расплава является перспективным для создания высокотемпературных припоев с улучшенными характеристиками.

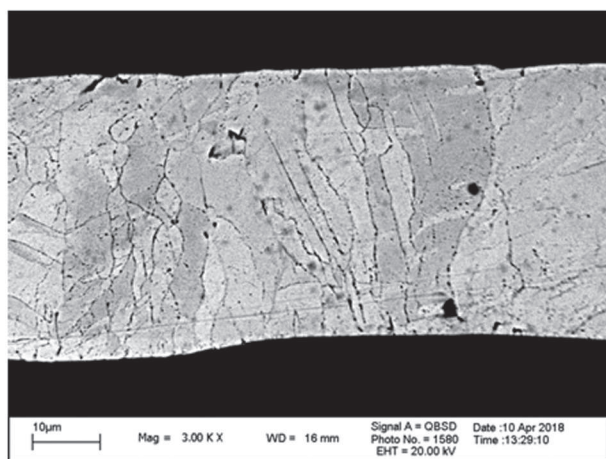
В связи с этим целью данной работы является исследование микроструктуры и распределения компонент в быстрозатвердевших фольгах сплавов Al–X ат. % Sn (X = 97,8; 96,7; 94,1; 90,7)

Фольги были синтезированы методом сверхбыстрой закалки из расплава при выплескивании капли расплава на внутреннюю поверхность полого вращающегося медного цилиндра. Фольги имели толщину 50–60 мкм, ширину до 15 мм и длину 8–10 см. Скорость охлаждения в данном методе составляет 10^5 К/с. Для сравнения также исследовались сплавы полученные при затвердевании расплава в графитовой изложнице с сечением 3×6 мм². Скорость охлаждения расплава при таких условиях оценивается равной 10^2 К/с.

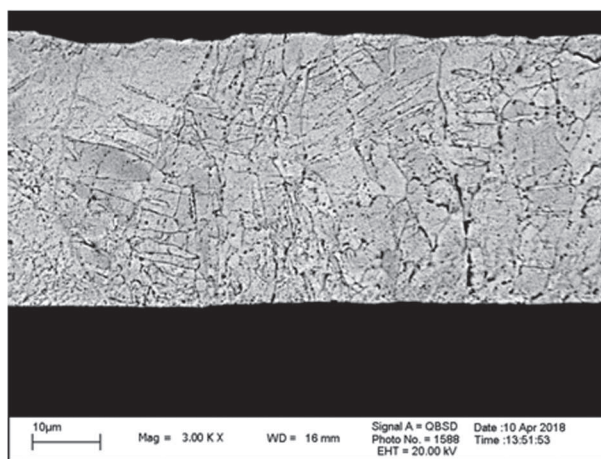
Для определения элементного состава и распределения компонент использовался энергодисперсионный микроанализатор Aztec Energy Advanced X-Max 80.

Наблюдение за микроструктурой двух сторон фольги, а также поперечного сечения фольги и массивных образцов осуществлялось с помощью растрового электронного микроскопа марки LEO 1455VP с использованием детектора отраженных электронов.

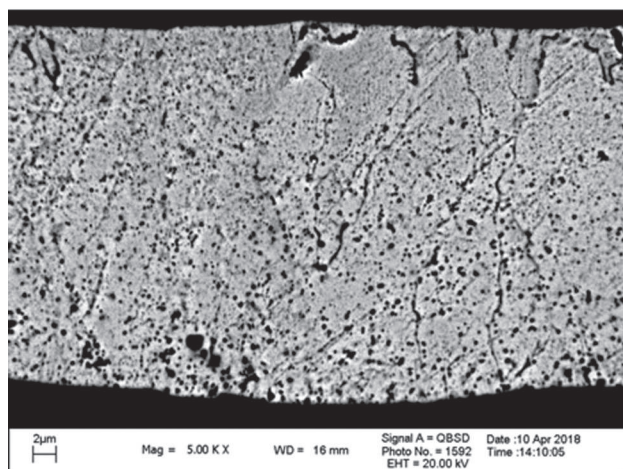
На рис. 1 представлен вид микроструктуры в поперечном сечении исследуемых быстрозатвердевших фольг сплавов системы Al-Sn эвтектического и заэвтектических составов. Темные включения на микрофотографиях представляют собой фазу алюминия. Сплавы с содержанием олова 97,8 ат. % и 96,7 ат. % характеризуются мелкими включениями алюминия располагающимися преимущественно по границам зерен вытянутых вдоль направления кристаллизации. При увеличении содержания алюминия (уменьшении содержания олова) средний размер зерен уменьшается на порядок. Также в фольгах сплава Al–96,7 ат. % Sn внутри зерен наблюдаются двойники, также обранные включениями алюминия.



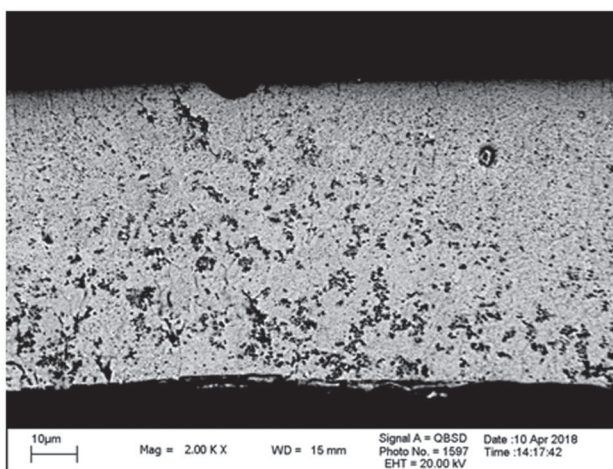
Al – 97,8 ат. % Sn



Al – 96,7 ат. % Sn



Al – 94,1 ат. % Sn



Al – 90,7 ат. % Sn

Рисунок 1– Вид поперечных сечений фольг сплавов Al-Sn различных составов

Поскольку не обнаружено неоднородности распределения компонент и слоистости микроструктуры по толщине фольги, можно предположить, что фольги кристаллизуются с образованием пересыщенного твердого раствора алюминия в олове при безразделительном затвердевании. Выпадение включений алюминия по границам зерен происходило в твердом состоянии при распаде пересыщенного твердого раствора.

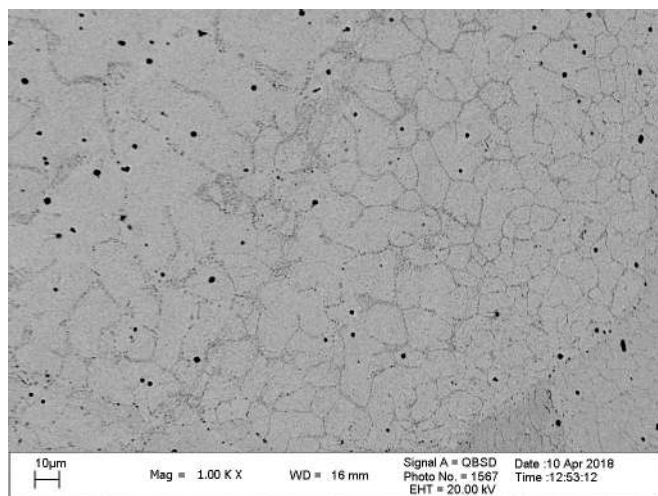
Фольги сплава Al –94,1 ат. % Sn характеризуются более крупными равноосными включениями алюминия. Также обращает на себя внимание тот факт, что включения, находящиеся у свободно затвердевающей стороны (нижняя часть микрофотографии), в 2–3 раза больше включений, расположенных у стороны фольги, прилегающей к кристаллизатору (верхняя часть микрофотографии).

Фольги сплава Al –90,7 ат. % Sn характеризуются еще более выраженной слоистостью микроструктуры. У стороны, прилегающей к кристаллизатору, наблюдаются мелкие равноосные однородно распределенные включения алюминия. В то время, как у свободно затвердевающей стороны алюминий распределен крайне неравномерно в виде крупных (0,2–0,4 мкм) включений, расположенных на границах крупных равноосных зерен.

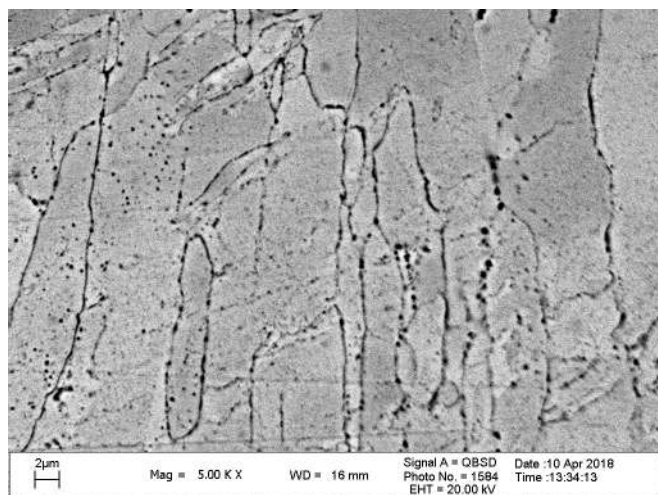
Неоднородность микроструктуры по толщине обусловлена изменениями условий затвердевания по толщине. Максимальная скорость охлаждения расплава и теплоотвода обеспечивается в слое, непосредственно прилегающем к кристаллизатору, и здесь могут реализовываться условия безразделительной кристаллизации и образование пересыщенного твердого раствора. Однако из-за выделения скрытой теплоты кристаллизации и формирования затвердевшего нижнего слоя фольги переохлаждение расплава уменьшается. Конечная стадия затвердевания протекает при уменьшенном переохлаждении расплава и градиенте температур, что приводит к формированию более неоднородной микроструктуры и крупных включений алюминия.

Поскольку наибольшее применение получил сплав эвтектического состава Al – 97,8 ат. % Sn, были проведены подробные сравнительные исследования данного сплава полученного при различных скоростях охлаждения расплава.

На рис. 2 представлен вид микроструктуры у стороны, прилегающей к кристаллизатору исследуемой быстрозатвердевшей фольги, а также массивного образца, полученного при скорости охлаждения 10^2 К/с сплава Al-Sn эвтектического состава.



$T = 10^2$ K/c



$T = 10^5$ K/c

Рисунок 2 – Микроструктура сплава Al – 97,8 ат. % Sn, полученного при различных скоростях охлаждения

В массивном образце включения алюминия достигают 3 мкм и располагаются преимущественно по границам зерен олова, средний размер которых 15 мкм. В быстрозатвердевших фольгах размер включений алюминия не превышает 0,5 мкм, и они располагаются как по границам, так и в объеме зерна. На рис. 3 приведены микроструктура и распределение алюминия и олова по линии сканирования.

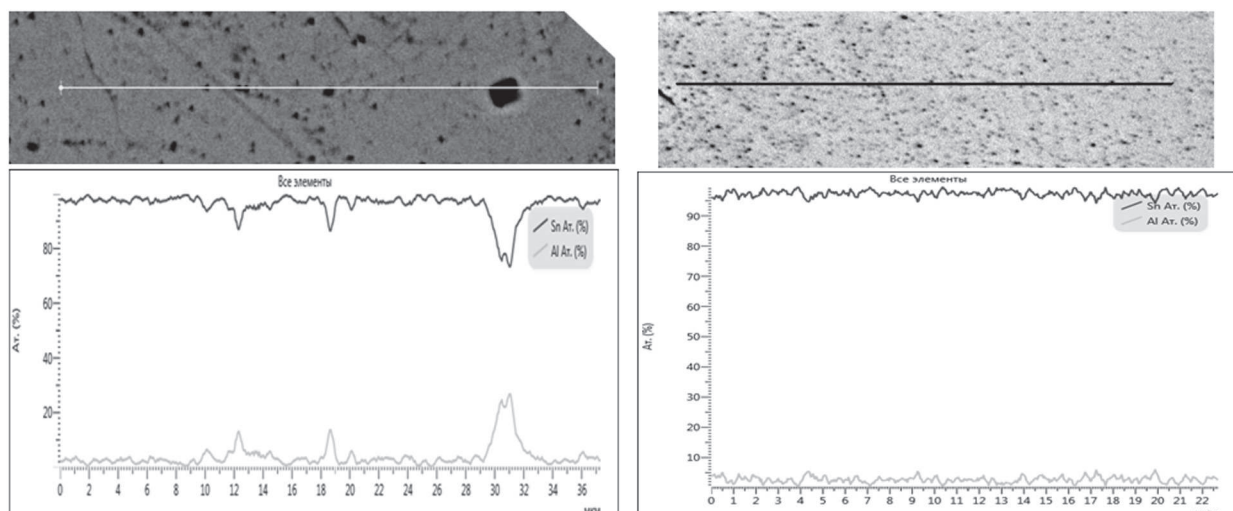


Рисунок 3 – Микроструктура и распределение элементов в массивном образце (а), полученном при скорости охлаждения расплава 10^3 К/с в фольгах (б), полученных при скорости охлаждения расплава 10^2 К/с эвтектики Al–Sn.

Таким образом, кристаллизация эвтектического сплава системы Al–Sn методом сверхбыстрой закалки из расплава, при скорости охлаждения расплава 10^5 К/с приводит к формированию дисперсной частиц алюминия, размер которых не превышает 500 нм равномерно распределенных по объему зерна и на его границах, в отличие от образцов, полученных при скорости охлаждения расплава 10^2 К/с, в которых размер включений Al достигает 3 мкм. Быстрозатвердевшие фольги характеризуются вытянутой в направлении растекания расплава формой зерен в отличие от массивных образцов с равноосными зёрнами. Фольги сплавов заэвтектического состава характеризуются ярко выраженной слоистостью микроструктуры.

ЛИТЕРАТУРА

1. Md Ershadul Alam Development of extremely ductile lead-free Sn-Al solders for futuristic electronic packaging applications / Md Ershadul Alam, Manoj Gupta // *Electronic Materials Letters*. – 2014. – Vol. 10 I. 2. – P. 515–524.
2. Гусакова, О. В. Структура и свойства быстрозатвердевших фольг сплавов системы Sn – Zn – Bi / О. В. Гусакова, В. Г. Шепелевич // *Перспективные материалы*. – 2010. – № 2. – С. 74–80.

РАДИАЦИОННЫЙ КОНТРОЛЬ ЛЕСНОЙ ПРОДУКЦИИ RADIATION FOREST PRODUCT CONTROL

А. В. Домненкова¹, Л. Н. Карбанович²
A. Domnenkova¹, L. Karbanovich²

¹Белорусский государственный технологический университет, г. Минск, Республика Беларусь

²Государственное учреждение по защите и мониторингу леса «Беллесозащита»,
г. Минск, Республика Беларусь
adomnenkova@gmail.com

¹Belarusian State Technological University, Minsk, Republic of Belarus

²State institution for the protection and monitoring of forests «Bellesozashita»,
Minsk, Republic of Belarus

Радиационная обстановка в лесном хозяйстве Республики Беларусь ежегодно контролируется на всех лесохозяйственных объектах в зонах радиоактивного загрязнения. Основным фактором, ограничивающим лесопользование в Республике Беларусь, является превышение республиканских допустимых уровней содержания радионуклидов в лесной продукции. Ежегодно в лесхозах Беларуси проводится радиационный контроль заготавливаемой и реализуемой лесной продукции: древесины и изделий из нее, березового сока, грибов, ягод, меда.

The radiation situation in the forestry of the Republic of Belarus is annually monitored at all objects in the areas of radioactive contamination. The main factor limiting forest use is the excess of republican permissible levels of radionuclides in forest products. Belarusian forestry enterprises annually conduct radiation monitoring of harvested forest products: wood and wood products, birch sap, mushrooms, berries, honey.

Ключевые слова: радиоактивное загрязнение, радиационный контроль, лесная продукция.

Keywords: radioactive contamination, radiation monitoring, forest products.

В результате аварии на Чернобыльской атомной электростанции значительная часть (более 20 %) лесного фонда Республики Беларусь подверглась радиоактивному загрязнению. Леса прочно удерживают выпавшие радионуклиды, препятствуют выносу их за пределы территорий.

Загрязненный лесной фонд является источником радиационной опасности для населения.

В табл. 1 представлено распределение территории лесного фонда Республики Беларусь по зонам радиоактивного загрязнения на 01.01.2018 г.

Таблица 1 – Распределение территории лесного фонда Республики Беларусь по зонам радиоактивного загрязнения

N	Наименование организации	Общая площадь, тыс. га	Всего загрязнено тыс. га, (%)	Площадь радиоактивного загрязнения, тыс. га, (%)			
				I зона	II зона	III зона	IV зона
				1–5 Ки/км ²	5–15 Ки/км ²	15–40 Ки/км ²	40 и более Ки/км ²
1	Министерство лесного хозяйства Республики Беларусь	8417,0	1356,3 (16,1)	948,7 (11,3)	290,0 (3,4)	116,6 (1,4)	1,0 (<0,1)
2	Управление делами Президента Республики Беларусь (ГНУ «НП Припятский», ГЛХУ «Красносельское»)	757,2	59,6 (7,9)	59,6 (7,9)			
3	Министерство обороны Республики Беларусь	89,7	0	0	0	0	0
4	Министерство по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь (ПГРЭЗ)	216,1	216,1 (100)	43,2 (20,0)	95,0 (44,0)	51,9 (24,0)	26,0 (12,0)
5	Национальная академия наук Беларуси	41,5	0	0	0	0	0
6	Исполкомы	14,9	0	0	0	0	0
7	Министерство образования Республики Беларусь	27,5	0	0	0	0	0
Всего:		9563,9	1632,0 (17,1)	1051,5 (11,0)	385,0 (4,0)	168,5 (1,8)	27,0 (0,3)

Лесная продукция заготавливаемая в зонах радиоактивного загрязнения представляет основную опасность. В работе представлены результаты измерения активности лесной продукции, заготовленной на загрязненных территориях в 2018 г., в сравнительной характеристике с республиканскими допустимыми уровнями содержания радионуклидов в продукции [3; 4].

Для рационального использования природных ресурсов на загрязненных радионуклидами территориях лесного фонда в соответствии с «Правилами ведения лесного хозяйства в зонах радиоактивного загрязнения» организована особая система ведения лесохозяйственной деятельности, обеспечивающая в течение длительного времени эффективное проведение лесохозяйственных мероприятий, безопасные условия труда и получение нормативно чистой продукции. В зависимости от уровня радиоактивного загрязнения, предусмотрен большой объем мероприятий, направленных на обеспечение радиационной безопасности работников леса и населения, пользующегося продукцией леса [2].

Комплекс защитных мероприятий обеспечивающих радиационную безопасность населения, включает шесть групп:

1) организационно-технические – организация системы радиационного контроля земель лесного фонда, мониторинг радиационной обстановки в лесном фонде, контроль содержания радионуклидов в лесных ресурсах.

Радиационный мониторинг лесного фонда осуществляется на постоянных пунктах наблюдения, которые образуют первичную сеть радиационного мониторинга леса.

Объектами радиационного мониторинга являются лесная подстилка, почва, растения и их части, грибы, ягоды. Контролируемыми параметрами являются мощность дозы гамма-излучения, активность цезия в объектах радиационного мониторинга леса. Основными задачами радиационного мониторинга леса являются изучение динамики и факторов, влияющих на накопление цезия-137 в контролируемых объектах.

2) технологические защитные мероприятия включают малолюдные технологии, соблюдение сезонности при производстве лесохозяйственных работ, их механизация, охрана лесов от пожаров. Эти меры требуют дополнительных финансовых затрат. Это обусловлено тем, что работники, привлекаемые к работам в зонах радиоактивного загрязнения, должны пройти обучение по правилам радиационной безопасности, использования средств ин-

дивидуальной защиты и личной гигиены, все работающие обеспечиваются средствами индивидуальной защиты и индивидуальными дозиметрами, иметь медицинское заключение о допуске по состоянию здоровья к работе [2].

3) ограничительные мероприятия включают нормирование содержания радионуклидов в лесных ресурсах, ограничение доступа населения в загрязненные леса, ограничение времени работы в зонах с повышенным радиационным фоном для снижения дозовых нагрузок.

Нормирование содержания радионуклидов в лесных ресурсах осуществляется в соответствии РДУ/ЛХ-2001 [4] и РДУ-99 [3].

Нормирование содержания радионуклидов в древесном сырье и пищевой продукции леса дает эффект снижения доз облучения, не требуют дополнительных затрат, но ограничительные мероприятия приводят к экономическим потерям за счет сокращения объемов использования лесных ресурсов.

4) информационные мероприятия включают научные исследования, подготовку и повышение квалификации специалистов лесного хозяйства, постоянное информирование населения через СМИ о радиационной обстановке в лесном фонде и возможности использования лесной продукции.

5) социально-экономические мероприятия включают охрану труда, производственную санитарную, улучшение качества жизни и медико-санитарное обслуживание работающих;

6) предупредительные защитные мероприятия включают зонирование территорий вокруг АЭС и других радиационно-опасных объектов.

В связи с высоким уровнем остаточного радиоактивного загрязнения значительных территорий Республики Беларусь после аварии на ЧАЭС долгосрочный прогноз радиоактивного загрязнения лесной продукции, вносящей вклад в дозу внутреннего облучения населения, проживающего на этих территориях, является актуальной задачей.

Служба радиационного контроля проводит ежегодное уточнение радиационной обстановки на территории лесного фонда Министерства лесного хозяйства (Минлесхоза) Республики Беларусь.

В 2018 г. Службой проведено радиационное обследование земель на площади 100,6 тыс. га в 1264 лесных кварталах 37 лесхозов 5 государственных производственных лесохозяйственных объединений. По результатам обследования территория радиоактивного загрязнения лесного фонда Минлесхоза уменьшилась на 40,8 тыс. га и составляет на 01.01.2019 г. 1315,5 тыс. га или 15,6 % от общей. Наибольшая часть (69,95 %) территорий радиоактивного загрязнения лесного фонда отнесена к I зоне с плотностью загрязнения почв цезием-137 от 1 до 5 Ки/км², 21,77 % – II зоне (5–15 Ки/км²), 8,21% – к III зоне (15–40 Ки/км²). К IV зоне (40 Ки/км² и более) отнесена площадь лесного фонда 0,9 тыс. га.

В 44 лесхозах (214 лесничествах) территории лесного фонда отнесены к зонам радиоактивного загрязнения [1; 2].

В настоящее время основным фактором, ограничивающим лесопользование, является превышение республиканских допустимых уровней содержания радионуклидов в лесной продукции (РДУ/ЛХ-2001, РДУ-99), а также требований, установленных потребителями древесного топлива, производителями изделий из древесины, реализуемых в странах ЕАЭС (Таможенного союза) [2–5].

Система контроля радиоактивного загрязнения лесного фонда включает две подсистемы: радиационный контроль и радиационный мониторинг. Контроль радиоактивного загрязнения в лесах осуществляет служба радиационного контроля Минлесхоза, включающая 39 аккредитованных и аттестованных структурных подразделений (отделы, лаборатории, посты), которые выполняли весь комплекс работ в 45 лесхозах отрасли.

Объектами радиационного контроля являются: земли лесного фонда, участки лесного фонда и лесные ресурсы, лесная продукция и продукты ее переработки, объекты лесного хозяйства и рабочие места, сельскохозяйственное сырье и корма, пищевые продукты, лекарственно-техническое сырье.

Ежегодно в лесхозах проводится радиационный контроль заготавливаемой и реализуемой лесной продукции, в первую очередь древесины и изделий из нее, а также пищевой продукции леса – березового сока, грибов, ягод, меда. Всего в 2018 г. измерено 39 953 (2017 г. – 44 569) проб, в том числе 37 324 пробы лесной продукции (93,4 %) (в 2017 г. 41 400, в 2016 – 42 489), 1493 – почвы, 870 – прочих.

В общем объеме контролируемой лесной продукции древесина и изделия из нее составляют 89,3 % (33 325 проб), в том числе: 30 822 пробы деловой древесины и дров, 1927 – пиломатериалов. Измерено содержание радионуклида цезий-137 в пищевой продукции леса: 1561 пробе грибов), 897 – ягод, 410 – мяса охотничьих животных, 586 – березового сока.

Основной объем контролируемой лесной продукции – древесины, отобранной на лесосеках – приходится на лесхозы Гомельского и Могилевского ГПЛХО (89,8 %), в которых отмечены случаи превышения допустимых уровней содержания цезия-137 в деловой древесине (1480 Бк/кг) – 1,0 и 0,1 %, дровах (740 Бк/кг) – 5,53 и 0,9 % соответственно.

Доля контролируемых проб лесной продукции, превышающих допустимые уровни содержания цезия-137, уменьшилась для большинства видов, осталась на прежнем уровне для ягод черники, дикорастущих грибов, дичемясной продукции. Радиационный контроль ягод и грибов проводится на территориях в I зоне (1–5 Ки/км²), рекомендованной для их сбора [2]. Содержание цезия-137 в грибах, собранных при плотности более 5 Ки/км², в большинстве случаев (до 80 %), превышает допустимый уровень (370 Бк/кг), при максимальном превышении в 62 раза (22828 Бк/кг) [3; 4].

Значительный процент проб (до 40 %) с превышением РДУ-99 в дикорастущих ягодах и грибах остается практически неизменным на протяжении многих лет, что связано со стабильно высоким удельным весом цезия-137 в лесной подстилке и верхних минеральных слоях почвы (до 70 % от общего запаса цезия-137 в лесной почве) [3].

Удельный вес лесной продукции с превышением допустимых уровней содержания цезия-137 за 2012–2018 гг. представлен в табл. 2.

Таблица 2 – Удельный вес лесной продукции с превышением допустимых уровней содержания цезия-137 за 2012–2018 гг. [3–5]

Наименование лесной продукции, продукции охоты	Удельный вес лесной продукции с превышением допустимых уровней содержания цезия-137, %						
	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Деловая древесина	0,7	1,3	1,4	2,0	1,0	1,0	0,6
Дрова	2,3	3,2	3,6	5,9	4,5	4,9	3,5
Второстепенные лесные ресурсы							
Новогодние деревья	2	2	1	0,9	0,5	0	0
Продукция побочного лесопользования							
Клюква	18	29	22	22,5	28	41,5	16,9
Черника	26	29	28	39,8	30,6	30,7	30,0
Грибы	46	47	46	41,9	36,3	45,9	43,8
Лектхсырье	23	31	19	7,2	20	9,3	14,3
Продукция охоты							
Мясо охотничьих животных	19	28	33	6,9	4,7	3,4	5,4

Наибольшие значения удельной активности цезия-137 и доля проб, превышающих допустимые уровни РДУ-99, установлены для этих видов продукции на всей территории лесного фонда с плотностью загрязнения 1 Ки/км² и более. Сравнение средних по областям и максимальных уровней содержания цезия-137 в дикорастущих грибах показывает, что эти показатели остаются самыми высокими в лесхозах Гомельского (690 Бк/кг – среднее и 12 336 Бк/кг – максимальное) и Брестского ГПЛХО (1605 Бк/кг и 27 563 Бк/кг). Максимальные уровни содержания цезия-137 в ягодах черники не превысили 1838 Бк/кг, клюквы – 436 Бк/кг.

Одним из видов контролируемой продукции является продукция охоты – мясо охотничьих животных, добытых в лесохозяйственных хозяйствах с территориями охотничьих угодий в зонах радиоактивного загрязнения. Содержание цезия-137 в мясе охотничьих животных зависит от вида, особенностей рациона питания, среды обитания. Как правило, в наибольшей степени загрязнено цезием-137 мясо дикого кабана, в наименьшей – лося, косули. За период наблюдений не установлено превышений допустимого уровня содержания цезия-137 в мясе оленя, в мясе зайца доля проб с превышением 500 Бк/кг составила 1,9 % за семь лет (8 проб из 414 измеренных).

К самым «чистым» лесным пищевым продуктам относится березовый сок – со средним содержанием радионуклида цезия-137 менее 14 Бк/кг при норме 370 Бк/кг. В 2017–2018 гг. содержание цезия-137 в меде контролировалось в 2 лесхозах Брестского, 7 – Гомельского, 6 – Могилевского и 2 – Минского ГПЛХО. Содержание цезия-137 в меде, заготовленном на пчелопасеках лесхозов, не превышало допустимый уровень в 3700 Бк/кг, среднее значение – 50 Бк/кг.

Сравнение измеренных значений удельной активности цезия-137 в лесной продукции с установленными в республике допустимыми уровнями в течение последних лет показывает, что доля проб деловой древесины с превышением этих уровней не превысила 2 %, дров – 6 %, в дикорастущих ягодах и грибах находится в пределах 18–41 % и 35–45 % соответственно.

Для долгосрочного прогноза поведения радионуклидов в лесных экосистемах необходимо знать динамику снижения активности лесных почв в зависимости от времени и других факторов, от которых может зависеть активность лесной продукции. Результаты исследования радиационной обстановки за 2005–2018 гг. показали уменьшение площади в среднем на 2,0 % в год, которое обусловлено уменьшением плотности загрязнения почв цезием-137. Согласно прогнозу на 2046 г., площадь территорий Беларуси с плотностью радиоактивного загрязнения более 37 кБк/м² составит 829,3 тыс. га. В зону радиоактивного загрязнения территории по-прежнему будет попадать большая площадь лесных массивов, следовательно, проблема повышенного содержания цезия-137 в лесной продукции будет актуальна и в 2046 г.

Рекомендован обязательный радиационный контроль лесной продукции, заготовленной на загрязненных территориях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Карбанович, Л. Н. Радиационная обстановка с лесном фонде / Л. Н. Карбанович // Лесное и охотничье хозяйство. – 2016. – Вып. IV. – С. 12–14.
2. Правила ведения лесного хозяйства на территориях, подвергшихся радиоактивному загрязнению в результате катастрофы на Чернобыльской АЭС. – Минск, 2016. – 16 с.

3. Республиканские допустимые уровни содержания радионуклидов цезия-137 и стронция-90 в пищевых продуктах и питьевой воде (РДУ-99): ГН 10-117-99. – Минск, 1999. – 4 с.
4. Республиканские допустимые уровни содержания цезия-137 в древесине, продукции из древесины и древесных материалов и прочей пищевой продукции лесного хозяйства (РДУ/ЛХ-2001): ГН 2.6.1.10-1-01-2001. – Минск, 2001. – 7 с.
5. Республиканский допустимый уровень содержания цезия-137 в лекарственно-техническом сырье (РДУ/ЛТС-2004): ГН 2.6.1.8-10-2004. – Минск, 2004. – 2 с.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ДЕТЕКТОРОВ ИОНИЗИРУЮЩХ ИЗЛУЧЕНИЙ МЕТОДОМ МОНТЕ-КАРЛО

SIMULATION OF CHARACTERISTICS OF DETECTORS OF IONIZING RADIATION BY THE MONTE-CARLO METHOD

А. И. Дубровский¹, В. А. Береснева²
A. Dubrovsky¹, V. Beresneva²

¹*Белорусский государственный университет, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ,
г. Минск, Республика Беларусь*

²*Объединенный институт энергетических и ядерных исследований – Сосны Национальной
академии наук Беларуси, г. Минский район, Республика Беларусь
a1dubrovskii@gmail.com*

¹*Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus*

²*Joint Institute for Power and Nuclear Research – Sosny of National Academy of Sciences of Belarus,
Minsk region, Republic of Belarus*

В свете развития информационных технологий во всем мире широкое применение находят неаналитические численные методы расчета с использованием мощных вычислительных систем. В частности, весьма эффективным сегодня представляется использование метода Монте-Карло для моделирования переноса ионизирующих излучений и радиационных взаимодействий.

In the state of progressive extension of information technologies around the world, non-analytic methods of calculation are widely used by means of powerful computer systems. In particular, it is very effective today to use the Monte Carlo method to simulate the transport of ionizing radiations and radiation interactions.

Ключевые слова: метод Монте-Карло, моделирование, ионизирующее излучение.

Keywords: Monte-Carlo method, modeling, ionizing radiation.

Современные компьютеры и вычислительные системы сегодня, как правило, обладают достаточным количеством ресурсов для решения сложных и трудоемких задач путем моделирования случайных процессов. Это особенно актуально в сфере ядерной индустрии, когда постановка реального эксперимента является дорогостоящей и трудноосуществимой физически. В частности, разработка приборов радиационного контроля – это сложный и наукоемкий процесс, который может быть в значительной степени упрощен использованием Монте-Карло кодов, с целью детального исследования взаимодействия ионизирующих излучений с детектирующими материалами.

Грамотная реализация модельного эксперимента позволяет быстро подобрать материал детектора, его объем, форму, вспомогательные конструктивы и их геометрические параметры так, чтобы в результате сборки характеристики будущего дозиметрического и/или спектрометрического прибора полностью соответствовали предъявляемым к нему требованиям. Иными словами, путем несложных экспресс-расчетов можно быстро и эффективно определить некоторые характеристики детектора еще на стадии планирования прибора радиационного контроля, что значительно упрощает и удешевляет процесс его разработки.

На сегодняшний день среди наиболее популярных Монте-Карло кодов можно выделить MCNP и GEANT4 [1]. Каждый из них имеет ряд преимуществ и недостатков, а также свою специфику написания модели (ее геометрию и физическую составляющую). Кроме того, существуют разные типы задач, связанных с регистрацией ионизирующих излучений, которые с большей или меньшей степенью точности могут быть решены при помощи MCNP и GEANT4. Поэтому для обсчета детектора, который предположительно ляжет в основу прибора, следует отдать предпочтение тому Монте-Карло коду, который может лучше справиться с поставленной задачей.

Была разработана модель детектора гамма-излучения, которая представляет собой цилиндрический кристалл иодида натрия 40×40 мм в алюминиевой оболочке толщиной 1 мм.

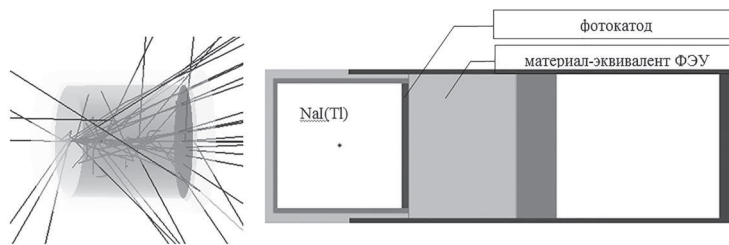


Рисунок 1 – Модель сцинтилляционного гамма-детектора

Полученные методом Монте-Карло амплитудные спектры изотопа Cs-137 и импульсная чувствительность хорошо согласуются с экспериментальными данными (табл. 1). Однако по полученной кривой эффективности фотопоглощения видно ощутимое отклонение в области низких энергий результатов, полученных в расчетах по коду GEANT4. В свою очередь данные, полученные по коду MCNP, имеют хорошую сходимость с экспериментальными во всем рассматриваемом энергетическом диапазоне [2].

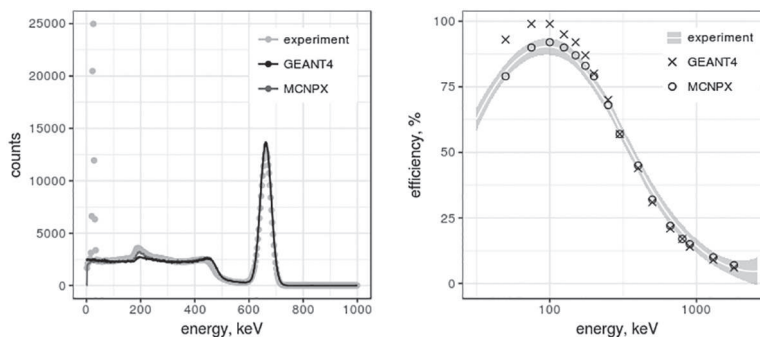
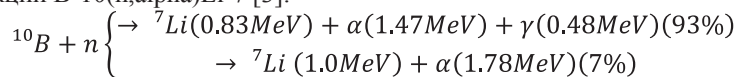


Рисунок 2 – Энергетические спектры изотопа Cs-137 и кривая эффективности регистрации

Также была разработана модель системы нейтронных детекторов на базе борных пленок, в состав которых входит диоксид бора, обогащенный по изотопу ^{10}B , мелкодисперсный сцинтиллятор ZnS и связующее вещество.

Система представляет собой пару цилиндрических световодов (оргстекло), обернутых пленкой. Детекторы вставляются в трубообразный полиэтиленовый замедлитель толщиной 2 см. Детектирование нейтронов происходит посредством реакции $\text{B-10}(n,\alpha)\text{Li-7}$ [3]:



Образующаяся в результате ядерной реакции заряженная частица взаимодействует со сцинтиллятором. Это может быть либо альфа-частица, либо ядро лития, но не обе частицы, поскольку они излучаются в противоположные стороны. Так как пробег этих частиц в детектирующем материале составляет порядка нескольких микрон [4], покрытие должно быть очень тонким.

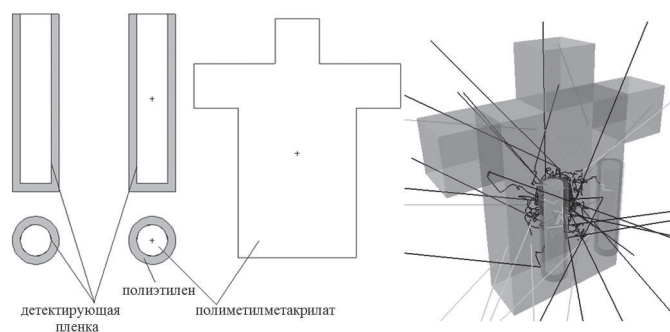


Рисунок 3 – Модель системы нейтронных детекторов на фантоме [5]

В GEANT4 использовалась модель QGSP_BERT_HP, где QGSP – кварк-глюонная струнная модель, BERT – модель внутриядерного каскада Бертини, HP – модель нейтронных взаимодействий с повышенной точностью.

Результаты моделирования показали, что эффективность регистрации тепловых моноэнергетических нейтронов (0,025 эВ) в пленке отличается от заявленной производителем незначительно (в пределах 5 %) и составляет 73 %. Была рассчитана импульсная чувствительность системы нейтронных детекторов (табл. 1).

Таблица – Импульсная чувствительность, рассчитанная ММК

Детектор	BO2:ZnS		NaI(Tl)
Источник	Тепловые нейтроны ($E = 0,025$ эВ), см ²	Cf-252, см ²	Cs-137, cps/мкЗв/ч
MCNP	0,0118	0,0043	767,0
GEANT4	0,0132	0,0046	781,3

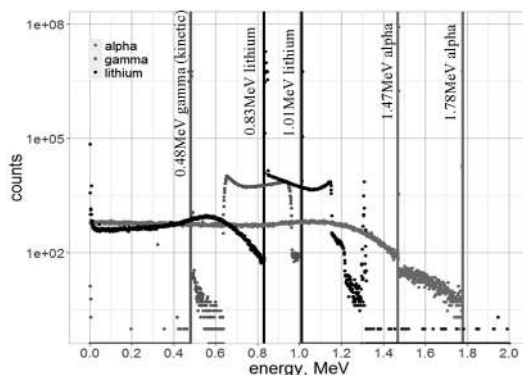


Рисунок 4 – Спектры поглощенных энергий альфа-частиц и ядер лития и кинетических энергий гамма-квантов, полученные с использованием GEANT4

Рассчитанная методом Монте-Карло импульсная чувствительность сцинтилляционного гамма-детектора по изотопу Cs-137 занижена примерно на 10 %. Это обусловлено наличием комптоновского рассеяния от объектов вблизи детектора, которое имеет место при накоплении реального спектра и отсутствует в моделях.

Рассчитанная методом Монте-Карло эффективность регистрации тепловых нейтронов незначительно отличается от заявленной производителем. В модели с источником быстрых нейтронов на фантоме имеется небольшое расхождение между результатами двух кодов.

Метод Монте-Карло позволяет быстро и эффективно прогнозировать характеристики детекторов на самой ранней стадии разработки. Это может в значительной мере снизить себестоимость продукта.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Agostinelli, S.* Geant4 – a simulation toolkit / S. Agostinelli et al. // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section. – 2003. – No. 506. – P. 250.
2. *Allison, J.* Geant4 developments and applications / J. Allison, K. Amako, J. Apostolakis // IEEE Transactions on Nuclear Science Transactions. – 2006. – No. 53. – P. 270.
3. Nuclear energy agency [Electronic resource]. – URL: <http://www.oecd-nea.org/janisweb/>. (date of access: 25.02.2019).
4. *Yehuda-Zada, Y.* Monte Carlo Simulation for Optimizing ⁶LiF:ZnS(Ag) based Neutron Detector Configuration / Y. Yehuda-Zada [et al.] // 27. Conference of the Nuclear Societies in Israel. Program and Papers, 2014 – Israel, 2014. – P. 268–271.
5. American National Standard Performance Criteria for Backpack-Based Radiation-Detection Systems Used for Homeland Security N42.53-2013 / Accredited by the American National Standards Institute – USA, 2013.

РАДИАЦИОННОЕ ОБСЛЕДОВАНИЕ БЕСХОЗЯЙНЫХ ИСТОЧНИКОВ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ

RADIATION INVESTIGATION OF OWNERLESS IONIZING RADIATION SOURCE

И. В. Жук, К. В. Гусак, М. В. Конопелько

I. Zhuk, K. Husak, M. Kanapelka

Объединенный институт энергетических и ядерных исследований –
Сосны Национальной академии наук Беларуси,
Минский р-н, Республика Беларусь
lab13@sosny.bas-net.by

Joint Institute for Power and Nuclear Research – Sosny of National Academy of Sciences of Belarus,
Minsk region, Republic of Belarus

При обнаружении источников ионизирующего излучения для размещения на долговременное хранение необходимо проведение полного радиационного обследования таких источников. Работы по идентификации

источников проводятся, в том числе в специализированной лаборатории научного учреждения «ОИЭЯИ-Сосны». С 2007 г. в специализированной лаборатории была проведена работа по идентификации более десятка источников, которые различались по виду излучения, радионуклидному составу, весогабаритным характеристикам, агрегатному состоянию и активности.

After ionizing radiation source detection it is needed to carry out of radiation investigation for long-term storage. These investigations are carried out in JIPNR-Sosny also. Since 2007 there were investigations of tens of sources which differed by type of radiation, isotope composition, weight-size parameters, aggregate state and activity level.

Ключевые слова: радионуклидный источник, идентификация, активность.

Keywords: radioactive source, identification, activity level.

По состоянию на 31 декабря 2018 г. под надзором находилось 1472 организации, предприятия, учреждения, использующих в своей деятельности 23 700 источников ионизирующего излучения (далее – ИИИ), в числе которых [1]:

- устройства и установки, содержащие закрытые радионуклидные источники (гамма-установки медицинского и промышленного назначения, гамма-терапевтические аппараты медицинского назначения, гамма-дефектоскопы, радиоизотопные приборы, включая радиоизотопные пожарные дымоизвещатели и др.),
- устройства, генерирующие ионизирующее излучение (рентгеновские диагностические и терапевтические аппараты (комплексы), рентгеновские дефектоскопы, генераторы нейтронов, ускорители электронов, источники низкоэнергетического и неиспользуемого рентгеновского излучения и др.),
- радиационные объекты, на которых проводятся работы с открытыми радионуклидными источниками.

Данные ИИИ охвачены единой государственной системой учета и контроля ИИИ в рамках регулирующего органа Республики Беларусь – Департамента по ядерной и радиационной безопасности Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь, в соответствии с принятым в 1999 г. Законом Республики Беларусь «О радиационной безопасности населения».

В то же время возникают случаи обнаружения неучтенных ИИИ. Например, в организациях, которые не зарегистрированы как пользователи ИИИ и не находятся под регулирующим контролем. Часто это является результатом недостаточного надзора в прошлом за радиоактивными источниками в промышленности и медицине, а также от применения их в оборонной деятельности, о которой, как правило, гражданские надзорные органы не имеют должной информации.

Периодически ИИИ обнаруживаются при проведении радиационного контроля на границе. Часто такие предметы являются «семейной реликвией» (например, часы, в которых для свечения циферблата и стрелок использовалось радиоактивное вещество ^{226}Ra), и их владельцы не подозревают об угрозе своему здоровью и невозможности свободного перемещения таких предметов через границу.

Действия и порядок взаимодействия республиканских органов государственного управления, иных государственных органов и организаций в случае обнаружения радиоактивных материалов, ИИИ определяются «Положением о порядке взаимодействия республиканских органов государственного управления, иных государственных органов и организаций при обнаружении источников ионизирующего излучения, а также в случае их задержания при перемещении через Государственную границу Республики Беларусь», утвержденным постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 30.04.2009 № 560 (в редакции постановления Совета Министров Республики Беларусь от 25.01.2017 №73).

При обнаружении ИИИ, а также в случаях их задержания при перемещении через Государственную границу с целью снижения вероятности нанесения ущерба здоровью людей и окружающей среде, предотвращения возникновения радиологических чрезвычайных ситуаций, необходимым является полное радиационное обследование источников. Во многих случаях такое обследование требует применения сложных гамма-спектрометрических и других видов анализа. Поэтому источники, как правило, передаются в Национальную академию наук Беларуси для экспертизы.

Во исполнение постановления Совета Министров Республики Беларусь от 30.04.2009 № 560 и приказа Председателя президиума Национальной академии наук от 15.05.2009 № 64 «Об организации выполнения постановления Совета Министров Республики Беларусь от 30.04.2009 № 560» Государственное научное учреждение «Объединенный институт энергетических и ядерных исследований – Сосны» Национальной академии наук Беларуси (далее — научное учреждение «ОИЭЯИ-Сосны») обеспечивает готовность специализированной лаборатории к проведению работ по идентификации ИИИ.

Издан приказ по научному учреждению «ОИЭЯИ-Сосны» от 04.06.2009 №129, в котором для обеспечения готовности лаборатории «Экспериментальных ядерно-физических исследований и экспертных анализов радиоактивных материалов» к проведению работ по идентификации ИИИ разработан перечень первоочередных мероприятий.

Указанная лаборатория имеет лицензию для работы с ИИИ, возможность временного и постоянного хранения ИИИ с обеспечением физической защиты. В лаборатории трудится персонал с опытом исследований в областях, связанных с ИИИ и гамма-спектрометрией. Специализированная лаборатория оснащена высокочувствительными стационарными X-γ-спектрометрами с планарным и коаксиальным германиевыми детекторами, и современными переносными гамма-спектрометрами со сцинтилляционными детекторами.

Лаборатория аккредитована на право проведения испытаний в Системе аккредитации Республики Беларусь. Аттестат № ВУ/112 2.0464 от 18.08.1998. Срок действия до 7 августа 2020 г.

Научное учреждение «ОИЭЯИ–Сосны» тесно взаимодействует с Департаментом по ядерной и радиационной безопасности Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь при возникновении необходимости идентификации ИИИ.

Ниже приведены конкретные примеры идентификации бесхозных ИИИ, поступивших в научное учреждение «ОИЭЯИ – Сосны» для радиационного обследования в рамках постановления Совета Министров Республики Беларусь от 30.04.2009 № 560.

Идентификация бесхозных источников, обнаруженных на территории ОАО «Белвторчермет». Два предмета, создающие повышенный радиационный фон, были обнаружены 12.06.2017 г. на участке резки шредерной установки ОАО «Белвторчермет» в а/г Гатово [2].

Найденные предметы представляли собой обрезки трубы, предположительно из дюралюминия, внешним Ø30 мм и длиной 8,8—9,4 см и 6,2—7,8 см, содержавшие защитные контейнеры для ИИИ. Внутри труб была нарезана частичная резьба. В одной из труб имелась крышка с резьбой, также предположительно из дюралюминия.

Защитные контейнеры для ИИИ представляли собой бочонки, предположительно из нержавеющей стали, Ø27 мм со снятой фаской в 4 мм и выточкой до Ø23 мм и шириной 4 мм. Вес каждого контейнера составлял 201 г. Каждый защитный контейнер имел канал Ø8—10 мм и глубиной 2 см для размещения ИИИ (канал для размещения непосредственно ИИИ имел Ø 8 мм и глубину 1 см). Канал закрывался пробкой под треугольный ключ. Пробка имела резьбу для фиксации в канале. Каждый защитный контейнер имел в боковой поверхности по 2 отверстия Ø3,5 мм, одно из которых было сквозным, а одно заканчивалось в канале размещения ИИИ. По одному из таких же отверстий, но Ø4 мм, имелось в каждой из дюралюминиевых труб, использовавшиеся, по-видимому, для фиксации защитного контейнера с ИИИ при перемещении его внутри данной трубы. Перемещение защитного контейнера внутри трубы фиксировалось при помощи ступора Ø 3 мм и длиной 3 см.

По результатам поиска и анализа информации не удалось установить, в каких технологических процессах использовались обнаруженные ИИИ.

Оба источника были переданы в СЗАО «Изотопные технологии», имеющее лицензию на проведение такого вида работ, для их разрядки из защитных контейнеров.

По результатам процедуры разрядки удалось установить, что источники не повреждены, поверхностное загрязнение радионуклидами не обнаружено. Геометрические размеры ИИИ—Ø6 мм, высота 10 мм. Также были определены заводские номера данных ИИИ. Других надписей не удалось обнаружить ни на боковых, ни на торцевых поверхностях источников. Корпуса защитных контейнеров также не содержали никаких надписей.

Таким образом, по результатам разрядки не удалось определить ни тип самих ИИИ, ни тип или номер защитных контейнеров, содержавших данные ИИИ.

После разрядки из «родных» защитных контейнеров, источники загрузили в свинцовый защитный контейнер типа КТ-1-10.

Работы по измерению мощности дозы от ИИИ после их разрядки из «родных» защитных контейнеров проводились в специализированной лаборатории научного учреждения «ОИЭЯИ-Сосны». Для измерений использовался дозиметр-радиометр МКС-АТ6130А. Значение мощности дозы гамма-излучения на расстоянии 1 м от источника 1 составило (0,55±0,15) мкЗв/ч, на расстоянии 1 м от источника 2 — (0,51±0,14) мкЗв/ч.

Гамма-спектрометрические измерения радионуклидного состава и активности ИИИ выполнялись на гамма-спектрометре на основе полупроводникового Ge(Li)-детектора. По результатам измерений было установлено, что оба источника содержат радионуклид ¹³⁷Cs с активностью (4,0±0,7) МБк и (3,9±0,7) МБк по состоянию на 27.07.2017.

Далее был проведен анализ информации из литературных источников о производстве и применении радионуклида ¹³⁷Cs в промышленности и медицине.

До 1991 г., в период существования СССР, поставка ИИИ пользователям осуществлялась исключительно всесоюзным объединением «Изотоп» (далее – в/о «Изотоп»). Так, согласно каталогу в/о «Изотоп» [3], под ИИИ на основе радионуклида ¹³⁷Cs, имеющими вышеуказанные внешние размеры, подпадают 11 источников типа ИГИ-Ц-3. Данные по этим ИИИ приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Данные по ИИИ на основе радионуклида ¹³⁷Cs, поставлявшихся в/о «Изотоп»

№ п/п	Код	Тип источника	МЭД (1 м), мЗв/ч	Активность, Бк
1	701718 2044	ИГИ-Ц-3	0,41	6,40E+06
2	701718 2001	ИГИ-Ц-3	0,83	1,28E+07
3	701718 2002	ИГИ-Ц-3	2,09	3,20E+07
4	701718 2003	ИГИ-Ц-3	4,32	6,65E+07
5	701718 2004	ИГИ-Ц-3	8,28	1,28E+08
6	701718 2005	ИГИ-Ц-3	20,9	3,20E+08
7	701718 2047	ИГИ-Ц-3	14,4	2,12E+08
8	701718 2006	ИГИ-Ц-3	43,2	6,65E+08
9	701718 2007	ИГИ-Ц-3	82,8	1,28E+09
10	701718 2008	ИГИ-Ц-3	208,8	3,20E+09
11	701718 2009	ИГИ-Ц-3	295,2	4,50E+09

Измеренные активности радионуклида ^{137}Cs в обоих ИИИ меньше, чем активность источника № 1, самого слабого ИИИ из каталога в/о «Изотоп», имеющего активность 6,40 МБк. Очевидно, что активность радионуклида ^{137}Cs в исследуемых ИИИ значительно уменьшилась ввиду распада радионуклида ^{137}Cs .

Для определения возраста источника предположим, что данные ИИИ имеют тип одного из первых трех источников из каталога в/о «Изотоп» (№ 1–№ 3), имеющих наименьшие активности.

Обратный пересчет активности исследуемых ИИИ к активностям первых трех источников из каталога показал следующее:

- при первоначальной активности 6,40 МБк они должны были быть произведены в период с 5.11.1988 по 16.03.2004 для ИИИ с активностью $(4,0 \pm 0,7)$ МБк и в период с 28.07.1987 по 11.04.2003 для ИИИ с активностью $(3,9 \pm 0,7)$ МБк;
- при первоначальной активности 12,8 МБк, они должны были быть произведены в период с 25.11.1958 по 15.03.1974 для ИИИ с активностью $(4,0 \pm 0,7)$ МБк и в период с 28.07.1957 по 11.04.1973 для ИИИ с активностью $(3,9 \pm 0,7)$ МБк;
- при первоначальной активности 32,0 МБк они должны были быть произведены в период с 30.03.1919 по 20.07.1934 для ИИИ с активностью $(4,0 \pm 0,7)$ МБк и в период с 29.11.1917 по 14.08.1933 для ИИИ с активностью $(3,9 \pm 0,7)$ МБк.

Очевидно, что третий вариант из анализа исключается. Периодом выпуска данных источников является или период с 1987 г. по 2004 г. или период с 1957 г. по 1974 г.

Таким образом, в результате идентификации бесхозных источников, обнаруженных на территории ОАО «Белворчермет», определен радионуклидный состав источников (^{137}Cs), их тип (ИГИ-Ц-3) и активность $((4,0 \pm 0,7)$ МБк и $(3,9 \pm 0,7)$ МБк по состоянию на 27.07.2017.

После идентификации данные источники переданы в УП «Экорес» для долговременного хранения.

Идентификация бесхозного источника, обнаруженного в зеленой зоне г. Минска по адресу ул. Я. Лучины, 46. Бесхозный источник ионизирующего излучения был обнаружен 15.08.2016 в зеленой зоне г. Минска по адресу ул. Я. Лучины, 46 [4].

Обнаруженный бесхозный ИИИ – источник в защитном контейнере – блок бета-источника типа ББИ-30-6, который представляет собой металлический цилиндр диаметром 6,5 см и высотой 8,2 см. Вес цилиндра – 1,993 кг.

Блок бета-источника был передан в СЗАО «Изотопные технологии», имеющее лицензию на проведение такого вида работ, для разрядки источника из защитного контейнера.

По результатам процедуры разрядки удалось установить, что источник не поврежден, загрязнение поверхности блока бета-источника не обнаружено.

Геометрические размеры обоих ИИИ – $\varnothing 12,7$ мм, высота 19 мм. Также был определен заводской номер источника и год выпуска – 1990. На корпусе источника также выгравирована надпись С1. Никаких других надписей не удалось обнаружить ни на боковых, ни на торцевых поверхностях источника.

Защитный блок ББИ-30-6 был опломбирован.

После разрядки из блока ББИ-30-6, источник загрузили в свинцовый защитный контейнер типа КТ-1-15 и возвращен в специализированную лабораторию научного учреждения «ОИЭЯИ-Сосны» для дальнейшей экспертизы.

Согласно справочным данным, блоки бета-источника типа ББИ входят в состав радиоизотопного бета-реле и используются для построения агрегатно-унифицированных систем радиоизотопных релейных приборов. Такие системы широко используются в промышленности, например, для сигнализации уровня жидкости, твердых и сыпучих материалов в закрытых емкостях, определения наличия детали, счета деталей, проходящих по конвейеру, блокировки прессов при подаче сразу двух заготовок вместо одной и ряда других задач.

Согласно надписи на блоке, данный блок бета-источника имеет тип ББИ-30-6-IP64. Надпись «ББИ» расшифровывается как блок бета-источника; «30» – величина в мКи, которую не должна превышать активность ИИИ, размещаемого в таком блоке; «6» – расстояние в см от ИИИ до входного окна в блоке бета-источника; маркировка «IP-64» означает класс защиты, в том числе от пыли и попадания влаги, которую обеспечивает данный блок. Непосредственно активное вещество находится в блоке в защищенной герметичной банке. Рассчитанная плотность блока при указанных выше габаритных размерах составляет около $7,3$ г/см³, что соответствует плотности стали.

Измерения мощности дозы от источника после разрядки проводились дозиметром-радиометром МКС-АТ6130А. Значение мощности дозы гамма-излучения на расстоянии 1 м от источника составило $(0,24 \pm 0,07)$ мкЗв/ч.

Определение радионуклидного состава и активности источника проводилось путем анализа информации, содержащейся в маркировке данного источника.

Также были проведены гамма-спектрометрические измерения источника (после его разрядки) и блока бета-источника на спектрометре на основе полупроводникового Ge(Li)-детектора. Измерения, как следовало ожидать, показали, что в источнике отсутствуют гамма-излучающие радионуклиды.

Анализ формы и геометрических размеров источника показал, что согласно каталогу в/о «Изотоп» [3], такие размеры и форму имеют только два типа источников: БИС-1 и БИС-2.

С учетом имеющейся гравировки С1, исследуемый источник относится к типу БИС-1. Тогда, согласно вышеуказанному каталогу, источник содержит радионуклид $^{90}\text{Sr}+^{90}\text{Y}$ с первоначальной активностью $9,25 \cdot 10^8$ Бк.

Так как на корпусе источника выгравирована дата его производства – 1990 г., и учитывая то, что погрешность активности радионуклидов в ИИИ из каталога в/о «Изотоп» не превышает 30 %, в результате пересчета было установлено, что активность исследуемого источника составляет $(4,9 \pm 1,5) \cdot 10^8$ Бк по состоянию на 07.10.2016.

После идентификации источник передан в УП «Экорес» для долговременного хранения.

Таким образом, 2007 г. в специализированной лаборатории была проведена работа по идентификации более десятка ИИИ, поступивших на экспертизу в научное учреждение «ОИЭЯИ–Сосны».

ИИИ, подлежащие экспертизе, различались по виду излучения (альфа, бета, гамма), радионуклидному составу (Cs, Sr, Ra и др.), активности (от 10^4 Бк до 10^{10} Бк) и весогабаритным характеристикам (до 500 кг).

Агрегатное состояние ИИИ, проходивших экспертизу, было твердым (металл, ^{60}Co), жидким (раствор ^{125}I), порошкообразным (^{226}Ra), смесь с грунтом (^{226}Ra).

ЛИТЕРАТУРА

1. Объекты надзора [Электронный ресурс] / Сайт Департамента по ядерной и радиационной безопасности Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь. – Минск. – URL: <https://gosatomnadzor.mchs.gov.by/radiatsionnaya-bezopasnost-istochnikov-ioniziruyushchego-izlucheniya/obekty-nadzora/>. (дата обращения: 20.02.2019).

2. В пункте вторсырья в Гатово нашли два цилиндра с превышением радиационного фона в сотни раз [Электронный ресурс] / Белорусский новостной портал TUT.BY / раздел Общество. – Минск, 2017. URL: <https://news.tut.by/society/547119.html>. (дата обращения: 21.02.2019).

3. Источники альфа-, бета-, гамма- и нейтронного излучений: каталог. – М.: Изд-во В/О «Изотоп», 1980. – 219 с.

4. В Лошице обнаружили предмет со значком «Радиационная опасность» [Электронный ресурс] / Белорусский новостной портал ONLINER. – Минск, 2016. Режим доступа: <https://real.onliner.by/2016/08/16/radiatsionnaya-opasnost>. (дата обращения: 21.02.2019).

РАДОН В ВОЗДУХЕ ЖИЛЫХ ПОМЕЩЕНИЙ НА ТЕРРИТОРИИ БЕЛАРУСИ

RADON IN THE AIR OF RESIDENTIAL PREMISES ON THE TERRITORY OF BELARUS

И. В. Жук, А. А. Сафронова, М. В. Конопелько

I. Zhuk, A. Safronava, M. Konopelko

*Объединенный институт энергетических и ядерных
исследований – Сосны Национальной академии наук Беларуси,
Минский р-н, Республика Беларусь
zhuk@sosny.bas-net.by*

*Joint Institute for Power and Nuclear Research – Sosny National Academy of Sciences of Belarus,
Minsk region, Republic of Belarus*

В работе представлены данные о концентрациях радона в воздухе жилых помещений на территории Беларуси. Исследования проводились с использованием интегрального метода пассивной трековой радиометрии с применением твердотельных трековых детекторов альфа-частиц. В результате исследования установлено, что на территории Беларуси имеется около 2 % эксплуатируемых жилых зданий, в которых среднегодовая эквивалентная равновесная активность радона в воздухе превышает установленный норматив 200 Бк/м^3 , в результате чего население подвергается облучению эффективной дозой выше 10 мЗв/год . Для этих зданий должен быть разработан и реализован комплекс строительных и вентиляционных мер, направленных на ограничение поступления радона в помещения и снижение его концентрации в воздухе.

Experimental data on indoor radon concentrations in residential premises on the territory of Belarus are presented. Passive track detector method was used to carry out the indoor radon monitoring. The research has shown that in about 2 % of residential premises in Belarus the annual equivalent equilibrium radon concentration exceeds the established limit of 200 Bq/m^3 . This results in annual effective doses to population due to radon inhalation higher than 10 mSv . For these premises a set of measures has to be developed and implemented to reduce the radon concentrations.

Ключевые слова: радон, объемная активность, эквивалентная равновесная объемная активность, эффективная доза, облучение населения.

Keywords: radon, volumetric activity, equivalent equilibrium volumetric activity, effective dose, population exposure.

Облучение населения природными источниками излучения является одним из основных факторов радиационного воздействия окружающей среды на человека. За счет радона и продуктов его распада создается около половины общей дозы облучения населения от природных источников излучения. В ряде случаев облучение населения радоном в жилищах приводит к годовым значениям эффективной дозы, превышающей предел дозы для лиц, профессионально работающих с ионизирующим излучением.

Радон-222 – природный радиоактивный газ с периодом полураспада 3,82 сут, который образуется при распаде радия-226 (период полураспада 1600 лет), являющегося членом цепочки распада урана-238. Радон поступает в воздух из земной коры вследствие присутствия в ней урана и радия. Поступление радиоактивного газа в воздух помещений обусловлено геологией территории и факторами, влияющими на разницу давлений снаружи и внутри здания, такими, как скорость воздухообмена, отопление здания и метеорологические условия и др. [1].

По классификации Международного агентства по изучению рака (МАИР) радон входит в число канцерогенных факторов, опасных для человека. Эпидемиологические исследования, проведенные в жилых помещениях, прямым образом подтверждают наличие риска рака легких от воздействия радона [2]. По данным ВОЗ избыточный риск смерти от вызванного радоном рака легких в течение жизни (к возрасту 75 лет) составляет для лиц, никогда не куривших, $0,6 \times 10^{-5}$ на каждый Бк/м³.

В качестве компонента решения проблемы радона международный проект ВОЗ по радону рекомендовал введение референтного уровня в качестве основного инструмента в данном процессе. Национальный референтный уровень устанавливает то значение риска от воздействия радона в помещениях, которое рассматривается как слишком высокий при отсутствии последующих мер защиты.

С учетом имеющихся научных данных, для минимизации угрозы здоровью ВОЗ рекомендует использовать в качестве референтного уровня концентрации радона в воздухе помещений значение 100 Бк/м³ (или 50 Бк/м³ эквивалентной равновесной объемной активности радона $\overline{ЭРОА}_{Rn}$). Однако если преобладающие в стране условия не позволяют достичь этого уровня, то выбранный референтный уровень в любом случае не должен превышать 300 Бк/м³ (или 200 Бк/м³ $\overline{ЭРОА}_{Rn}$) в среднем за год, что, в согласно расчетам Международной комиссии по радиационной защите (МКРЗ), соответствует эффективной дозе облучения приблизительно 10 мЗв/год.

В Беларуси СанПиН «Требования к радиационной безопасности» (Минздрав РБ, 2012) устанавливает норматив 200 Бк/м³ среднегодовой эквивалентной равновесной объемной радона в воздухе эксплуатируемых жилых помещений.

Цель данной работы – исследование уровней объемной активности радона в воздухе жилых зданий на территории Беларуси и выявление зданий, в которых необходимо проведение мер по снижению концентрации радона.

Измерения объемной активности радона ($ОА_{Rn}$) проводились с использованием интегрального метода пассивной трековой радиометрии согласно методике определения объемной активности радона в воздухе жилых и производственных помещений с использованием интегральных радонометров на основе твердотельных трековых детекторов альфа-частиц: МВИ. Мн. 1808-2002. Для измерений $ОА_{Rn}$ в воздухе зданий применялись интегральные трековые радиометры радона на основе пленки LR-115, экспозиция которых в исследуемых помещениях составляла от 2 до 3 месяцев в холодные сезоны года (период отопления зданий). В период с 2004 по 2017 г. выполнено 5086 измерений в 117 административных районах, из них в Минской обл. – 1083 (в жилых помещениях – 619), в Брестской – 413 (в жилых – 372), в Витебской – 665 (в жилых – 545), в Могилевской – 1001 (в жилых – 863), в Гродненской – 900 (в жилых – 712), в Гомельской обл. – 1024 (в жилых – 833).

Оценка верхней границы среднегодовой эквивалентной равновесной объемной активности радона ($\overline{ЭРОА}_{Rn}$) выполнялась в соответствии с методическими указаниями [3]. Из 3944 измерений, выполненных в жилых зданиях, в 89,5 % случаев значение $\overline{ЭРОА}_{Rn}$ составило менее 100 Бк/м³, в 8,5 % – значение $\overline{ЭРОА}_{Rn}$ лежит в пределах 100–200 Бк/м³, в 2 % измерений было обнаружено превышение установленного норматива в 200 Бк/м³ по $\overline{ЭРОА}_{Rn}$ в эксплуатируемых жилых зданиях. При этом средние по районам значения $\overline{ЭРОА}_{Rn}$ не превышают 200 Бк/м³. Полученное распределение частот значений $\overline{ЭРОА}_{Rn}$ в жилых зданиях представлено на рисунке 1.

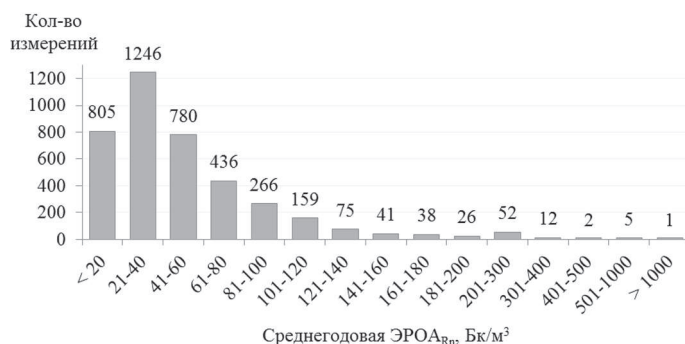


Рисунок 1 – Среднегодовая $\overline{ЭРОА}_{Rn}$ в жилых зданиях на территории Беларуси

Среднее и медианное значения $\overline{ЭРОА}_{Rn}$ в жилых помещениях в Беларуси составляют 56 Бк/м³ и 42 Бк/м³ соответственно. При этом стандартное отклонение составило 54 Бк/м³, что говорит о большом разбросе значений: от 13 до 1052 Бк/м³.

Жилые здания, в которых $\overline{ЭРОА}_{Rn}$ превышает установленный норматив, выявлены в 35 (31 %) административных районах во всех 6 областях Беларуси (рис. 2). Количество измерений, выявивших превышения норматива, составляет от 1 до 20 % в различных регионах. При этом следует отметить, что различные административные районы изучены в разной степени. Пространственный анализ данных показал, что доля зафиксированных превышений норматива по $\overline{ЭРОА}_{Rn}$ выше в районах, где больше плотность измерений. Для получения полного пред-

ставления о радоновой ситуации на территории Беларуси и принятии решений о проведении соответствующих санитарных мер необходимо проведение большего количества измерений на всей территории.

Оценка среднегодовой эффективной дозы облучения населения радоном (E_{Rn}) выполнялась на основании полученных значений $\overline{ЭРОА}_{Rn}$ с использованием коэффициента дозового перехода равного 9×10^{-6} мЗв·ч⁻¹/(Бк·м⁻³) или 0,063 мЗв·год⁻¹/(Бк·м⁻³) при значении коэффициента равновесия $F = 0,5$ и условии пребывания людей в помещениях в течение 80 % времени в соответствии с инструкцией [4].

Оцененное по результатам 3944 измерений в жилых зданиях среднее значение годовой эффективной дозы облучения населения Беларуси за счет радона составляет 3,4 мЗв. В среднем для областей Беларуси были определены следующие значения годовых эффективных доз, получаемых населением за счет присутствия радона в воздухе помещений: по Минской области – 3,5 мЗв/год, по Брестской – 2,3 мЗв/год, по Витебской – 4,6 мЗв/год, по Гродненской – 3,8 мЗв/год, по Гомельской – 2,3 мЗв/год, по Могилевской – 3,6 мЗв/год.

Средние и максимальные значения годовых эффективных доз облучения населения радоном в административных районах, где выявлены превышения установленного норматива среднегодовой концентрации радона в воздухе жилых помещений, представлены на рисунке 3. Как видно из диаграммы, при средних значениях в пределах нормы в отдельных зданиях наблюдаются концентрации радона, приводящие к облучению населения эффективными дозами до 66 мЗв/год.

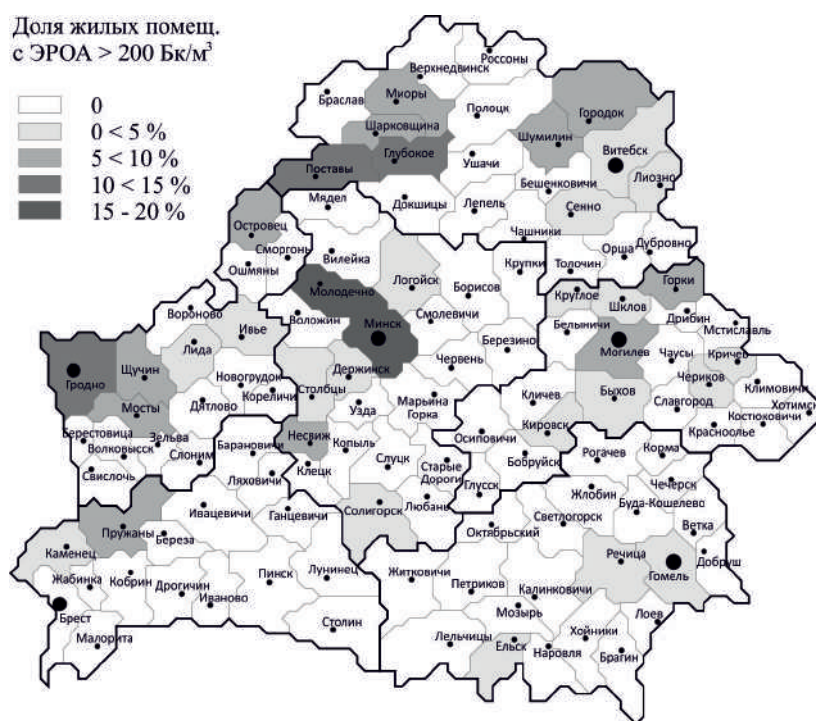


Рисунок 2 – Доля зданий (в % от обследованных) с $\overline{ЭРОА}_{Rn} > 200$ Бк/м³ в административных районах Беларуси

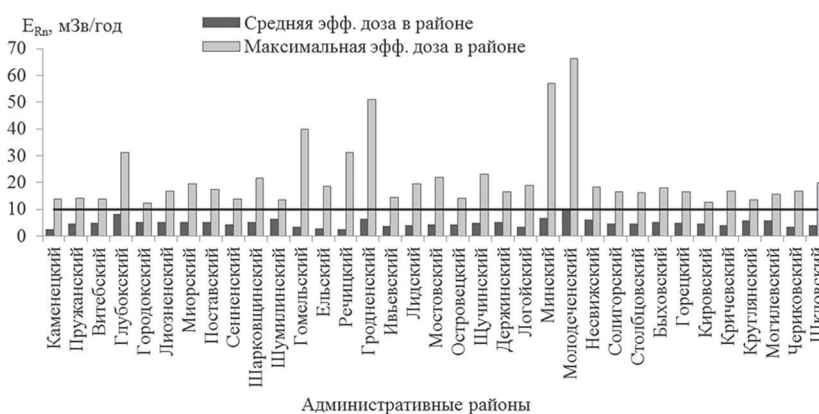


Рисунок 3 – Средние и максимальные годовые эффективные дозы облучения населения за счет ингаляции радона в административных районах, где выявлены превышения установленного норматива в 200 Бк/м³ по $\overline{ЭРОА}_{Rn}$ в эксплуатируемых жилых зданиях

Таким образом, анализ результатов измерений концентраций радона в воздухе помещений, полученных за период 2004–2017 гг., показал, что на территории Беларуси не менее 2 % эксплуатируемых жилых зданий имеют показатель $\overline{ЭРОА}_{Rn}$ в воздухе выше установленного норматива 200 Бк/м³. В результате пребывания в таких по-

мещених население подвергается облучению за счет ингаляции радона эффективной дозой выше референтного уровня 10 мЗв/год. Для этих зданий должен быть разработан и реализован комплекс строительных и вентиляционных мер, направленных на ограничение поступления радона в помещения и снижение его концентрации в воздухе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Риск возникновения рака легкого при облучении радоном и продуктами его распада. Заявление по радону / М. Тирмарш [и др.]. – М.: Изд-во «ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А. И. Бурназяна ФМБА России», 2013. – 94 с.
2. WHO guidelines for indoor air quality: selected pollutants / The WHO European Centre for Environment and Health, Bonn Office, 2010.
3. Проведение радиационно-гигиенического обследования жилых и общественных зданий: МУК РБ № 11-8-6-2002. – Минск, 2002. – 21с.
4. Инструкция 2.6.1.10-12-22-2006. Оценка индивидуальных эффективных доз облучения населения за счет природных источников ионизирующего излучения: утв. п-ем М-ва здравоохран. Респ. Беларусь 17.10.2006 № 123. – Минск, 2007. – 14 с.

ОЦЕНКА ДОЗОВЫХ НАГРУЗОК ТРИТИЯ НА РАЗЛИЧНЫЕ ВОЗРАСТНЫЕ ГРУППЫ НАСЕЛЕНИЯ НА НАЧАЛЬНОЙ СТАДИИ СТРОИТЕЛЬСТВА БЕЛОРУССКОЙ АЭС

ASSESSMENT OF DOSE LOADS FROM THE TRITIUM TO DIFFERENT AGE POPULATIONS AT THE INITIAL STAGE OF CONSTRUCTION OF THE BELARUSIAN NPP

***В. В. Журавков, А. Н. Скибинская, С. С. Позняк
V. Zhuravkov, A. Skibinskaya, S. Poznyak***

*Белорусский государственный университет, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ,
г. Минск, Республика Беларусь
zhvl@mail.ru*

Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus

Представлены обобщенные данные определения фоновых уровней содержания трития в открытых водоёмах в районе строительства Белорусской АЭС, проведенных УО «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета (МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ). Результаты получены на основе разработанной в МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ уникальной методики определения низких активностей трития в воде на жидкостно-сцинтилляционных радиометрах серии TRI-CARB и QUANTULUS [1]. В результате выполнения работы, определена удельная активность трития в открытых водоемах в районе строительства Белорусской АЭС. При этом за весь цикл наблюдений исследовано сто тридцать пять проб поверхностных вод, отобранных на пунктах в зоне наблюдения Белорусской АЭС, выполнено более 675 прямых измерений длительностью 300–500 мин (до статистической погрешности не более 5 %).

The article presents the generalized data for determining the background levels of tritium in open water bodies in the area of the construction of the Belarusian NPP, conducted by the International Sakharov Environmental Institute of the Belarusian State University (MGII them. A. Sakharov BSU). The results obtained on the basis developed in the IPEI them. A.D. Sakharova BSU is a unique method for the determination of low tritium activities in water on the liquid-scintillation radiometers of the TRI-CARB and QUANTULUS series [1].

As a result of the work, the specific activity of tritium in open water bodies in the area of the Belarusian NPP construction was determined. At the same time, for the entire observation cycle, one hundred thirty-five surface water samples were taken at points in the observation zone of the Belarusian NPP, more than 675 direct measurements were made with a duration of 300–500 minutes (no more than 5 % statistical error).

Ключевые слова: тритий, радиоактивность воды, методы измерений, среднее значение удельной активности трития, дозовые нагрузки.

Keywords: tritium, water radioactivity, measurement methods, average value of specific activity of tritium, dose loads.

По международным рекомендациям Международного агентства по атомной энергии (МАГАТЭ) необходимым является проведение радиационного мониторинга в районе размещения атомной электростанции (АЭС) на всех этапах (строительства (оценка «нулевого» фона), эксплуатации и вывода из эксплуатации АЭС). Оценка

«нулевого» фона производится за 2–3 года до пуска АЭС в эксплуатацию и является важным и обязательным направлением, поскольку полученные результаты такого мониторинга в дальнейшем используются для сравнения и оценки влияния АЭС на окружающую среду и население [2; 3].

В настоящее время в Республике Беларусь строится первая атомная электростанция с двумя блоками ВВЭР-1200. Поэтому важным этапом является комплексный экологический мониторинг на период сооружения станции. С 2016 г. и по настоящее время исполняется экологический мониторинг для определения «нулевых» фоновых значений трития в открытых водоемах в районе размещения Белорусской АЭС [4]. Данная работа выполнялась в рамках НИР ГП: «Комплексный экологический мониторинг Белорусской АЭС на период сооружения (Определение содержания трития в пробах поверхностных вод) по заданию ГУ «Республиканский центр по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды». Пробы воды для исследований были предоставлены ГУ «Республиканский центр по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды».

Тритий – это радиоактивный изотоп водорода, который образуется как естественным путем, главным образом в результате взаимодействия частиц космических лучей с атомными ядрами молекул воздуха в верхней атмосфере, так и искусственным, как следствие работы ядерных реакторов и других отраслей промышленности [5, с. 245].

Тритий по ряду причин занимает особое место в вопросах обеспечения радиационной безопасности АЭС. Во-первых, содержание трития в жидких сбросах при нормальной работе АЭС намного превосходит по абсолютному значению содержание всех остальных нуклидов, а в газообразных выбросах в окружающую среду количество трития уступает только количеству радиоактивных благородных газов (РБГ). Во-вторых, в отличие от химически инертных РБГ, инкорпорированный тритий эффективно включается в состав биологической ткани, вызывая мутагенные нарушения как за счет β -излучения средней энергии 5,8 кэВ, так и из-за нарушения молекулярных связей, вызванных заменой изотопа водорода нейтральным гелием, образовавшимся в результате распада трития. В-третьих, тритий обладает большим периодом полураспада (12,6 лет) и является глобальным загрязнителем природных комплексов. Эти и некоторые другие специфические особенности позволяют отнести тритий к числу наиболее радиационно-опасных долгоживущих нуклидов, которые способны загрязнять биосферу не только в пределах непосредственного размещения источника, но и в региональном масштабе [4].

Очевидно, что эти соображения и привели к включению трития в список контролируемых радиологических параметров в новой Директиве ЕС по качеству питьевой воды [5]. В настоящее время проблему тритиевого загрязнения водных экосистем в районах размещения предприятий ядерно-топливного можно считать одной из ключевых в радиэкологии. При работе АЭС тритий поступает в окружающую природную среду и быстро мигрирует из мест первичного загрязнения, поэтому единичные и несистематические измерения его не позволяют выявить реальных масштабов загрязнения водных систем. В связи с этим необходимо проводить регулярный мониторинг трития.

Для определения активности трития в пробах воды использовалась утвержденная Белорусским государственным институтом метрологии «Методика определения удельной активности трития в воде с использованием жидкостно-сцинтилляционных радиометров серии TRI-CARB и QUANTULUS (МВИ.МН 4143)» [1].

Настоящая методика разработана для определения удельной активности трития в воде с использованием жидкостно-сцинтилляционных радиометров серии TRI-CARB и QUANTULUS. Она применима для всех типов воды (реки, озера, родники, подземные воды, включая морскую воду) с объемной активностью трития до 10 Бк/л и предназначена для его мониторинговых исследований в регионе расположения АЭС с момента строительства до снятия с эксплуатации, а также других экологических исследований.

Определение удельной активности трития в воде основано на измерении суммарного бета-счета в энергетическом диапазоне 0–18,6 кэВ с помощью жидкостных сцинтилляционных радиометров, которые обеспечивают непосредственный контакт измеряемого образца (диспергированием или растворением) с жидким сцинтиллятором [1].

Измерения проводились на жидкостно-сцинтилляционном радиометре TRI-CARB 2901 TR. Результат измерений данного прибора является СРМ – импульсы/минуту – и эффективность регистрации – $E_{эфф}$ (%). Эффективность регистрации в среднем равна 40 %.

Из импульсов/минуту необходимо перейти к объемной активности. Это можно сделать, рассчитав распады / минуту – DPM, следующим образом:

$$DPM = \frac{СРМ - СРМ_{фона}}{E_{эфф}} \cdot 100 \left[\frac{\text{распад}}{\text{мин}} \right], \quad (1)$$

где $СРМ_{фона}$ – фоновое значение, которое равно 5,3 имп/мин.

Далее определяем объемную активность по формуле:

$$A_{уд} = \frac{DPM}{60 \cdot V} \cdot 1000 \left(\frac{\text{Бк}}{\text{л}} \right), \quad (2)$$

где V – объем пробы, который равен 5 мл.

В результате выполнения работы были исследованы пробы воды из основных водных объектов района размещения площадки Белорусской АЭС, а именно из реки Вилия у н. п. Малые Свиранки, н. п. Мужилы (сброс воды с АЭС), н. п. Михалишки; из реки Полпа у н. п. Чехи; из реки Газовка у н. п. Гоza; из реки Лоша у н. п. Гервя-

ты, а также были исследованы пробы питьевой воды (колодцы) в н. п. Маркуны, н. п. Валеюны, н. п. Шульники, н. п. Нидяны, н. п. Довняришки.

За 2016–2018 гг. всего было произведено 450 прямых измерений по 300 мин. для 100 проб воды из рек в районе строительства Белорусской АЭС.

Результаты статистической обработки данных показали, что для данных, полученных на радиометре TRI-CARB 2910TR стандартное отклонение повторяемости 0,24 %, а стандартное отклонение промежуточной прецизионности – 0,45 %. Данные результаты подтверждают высокую точность и достоверность полученных экспериментальных данных, следовательно, надежность и корректность разработанной методики определения удельной активности трития в воде. Показано, что среднее значение удельной активности трития для проточных водоемов в 30-километровой зоне строительства Белорусской АЭС составило $4,0 \pm 1,6$ Бк/л., что соответствуют глобальным выпадениям для данных широт.

Кроме измерений объемной активности в пробах воды из рек, были произведены исследования и питьевой воды из колодцев и скважин. После ввода в эксплуатацию Белорусской АЭС концентрация трития в гидрографических объектах в районе площадки АЭС увеличится. Поэтому актуальным является расчет дозовых нагрузок от трития для разных возрастных групп населения, проживающего в районе строительства БелАЭС. Средняя объемная активность трития в пробах питьевой воды из колодцев и скважин равна 4,3Бк/л [5].

При употреблении питьевой воды каждый день активность трития, которая получается в год, рассчитывается по следующей формуле:

$$A = A_{уд} \cdot V \cdot 365 \text{ [Бк/год]}, \quad (3)$$

где V – объем воды, которую употребляет человек в сутки.

Для разных возрастных групп, объем употребляемой воды будет различен.

Годовую эффективную дозу от поступления трития с питьевой водой рассчитаем по формуле:

$$E = V_{ал} \cdot A, \quad (4)$$

где $V_{ал}$ – дозовый коэффициент (Зв/Бк); для разных возрастных групп этот коэффициент имеет свои значения [6].

Результаты расчетов годовой эффективной дозы от поступления трития с питьевой водой для различных возрастных групп населения:

1. Для возрастной группы 0,5–1 год уровень поступления трития дает дополнительную дозовую нагрузку 0,056 мкЗв.

2. Для возрастной группы 1–3 лет уровень поступления трития дает дополнительную дозовую нагрузку 0,048 мкЗв.

3. Для возрастной группы 4–8 лет уровень поступления трития дает дополнительную дозовую нагрузку 0,062 мкЗв.

4. Для возрастной группы 9–13 лет уровень поступления трития дает дополнительную дозовую нагрузку 0,044 мкЗв.

5. Для возрастной группы 14–18 лет уровень поступления трития дает дополнительную дозовую нагрузку 0,070 мкЗв.

6. Для возрастной группы 19–70 лет уровень поступления трития дает дополнительную дозовую нагрузку 0,084 мкЗв.

Для наиболее полной оценки вреда, который может быть нанесен здоровью в результате облучения тритием в малых дозах, определен ущерб (риск). В соответствии с общепринятой в мире линейной беспороговой теорией зависимости риска стохастических эффектов от дозы, величина риска (r_i) пропорциональна эффективной дозе излучения (E , Зв) и связана с дозой через линейные коэффициенты радиационного риска ($rE = 5,3 \times 10^{-2}$ Зв⁻¹) [6]:

$$r_i = E \cdot rE. \quad (5)$$

Используя вышеуказанный подход, найдены риски возникновения злокачественных новообразований при употреблении питьевой воды с малыми количествами трития, которые представлены в табл. (расчет проводился по формуле 5).

Таблица 1 – Риски возникновения злокачественных новообразований при употреблении питьевой воды с малыми количествами трития

Возрастная группа	Риск
0,5–1	$2,96 \times 10^{-9}$
1–3	$2,54 \times 10^{-9}$
4–8	$3,28 \times 10^{-9}$
9–13	$2,33 \times 10^{-9}$
14–18	$3,71 \times 10^{-9}$
19–70	$4,45 \times 10^{-9}$

Приведенная оценка риска на 4 порядка меньше индивидуального пожизненного риска для населения, который составляет 5×10^{-5} .

В результате выполнения работы были исследованы пробы воды из основных водных объектов района размещения площадки Белорусской АЭС, а именно из реки Вилия у н. п. Тартак (возможный максимум радионуклидного загрязнения), у н. п. Мужилы (сброс воды с АЭС), из реки Полпа у н. п. Маркуны 200 метров до впадения в Вилию, из реки Тартак у н. п. Тартак и у н. п. Быстрица (последний крупный н. п. перед границей с Литвой), из реки Газовка у н. п. Гоza, из реки Ошмянка у н. п. Видюны, из реки Лоша у н. п. Островец, у н. п. Белькишки и у н. п. Мацки (место отдыха населения), из Сниганского водохранилища (водохранилище Рачунской ГЭС) и из Ольховского водохранилища (водохранилище Ольховской ГЭС).

Определена удельная активность трития в открытых водоемах в районе строительства Белорусской АЭС, при этом за весь цикл наблюдений испытано сто тридцать пять проб поверхностных вод, отобранных на пунктах в зоне наблюдения Белорусской АЭС, выполнено более 675 прямых измерений длительностью 300–500 мин. (до статистической погрешности не более 5 %) и 11 электролитических обогачений длительностью по 30–40 часов.

Исходя из вышесказанного можно сделать вывод, что удельная активность трития в воде в указанных водоемах соответствуют глобальным выпадениям для данных широт.

ЛИТЕРАТУРА

1. Определение удельной активности трития в воде с использованием жидкосцинтилляционных радиометров серии TRI-CARB и QUANTULUS: метод. указ., В. П. Миронов, В. В. Журавков, под. ред. В. И. Макаревича; РУП «Белорусский государственный институт метрологии». – Минск, 2011. – 13 с. URL: <http://exhibit.metolit.by/node/10043>

2. Журавков, В. В., Миронов, В. П., Скибинская, А. Н. Оценка концентрации трития в водных объектах в районе строительства Белорусской АЭС на основании прямых измерений: материалы XIII Междунар. науч.-техн. конф. «Наука, образование, производство в решении экологических проблем (Экология-2017)» / В. В. Журавков, В. П. Миронов, А. Н. Скибинская; Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т. Том II. – Уфа: ООО «Первая типография», 2017. – С. 72–75.

3. Журавков, В. В., Миронов, В. П., Позняк, С. С., Скибинская, А. Н. Фоновые уровни содержания трития в открытых гидрографических объектах в районе строительства Белорусской АЭС: материалы XII Междунар. науч.-практ. конф. «Актуальные проблемы экологии – 2017» / В. В. Журавков, В. П. Миронов, С. С. Позняк, А. Н. Скибинская. – Гродно, 2017. – С. 198–200.

4. UNSCEAR 2016. Reports to the General Assembly with Scientific Annexes. Biological effects of selected internal emitters. – New York, 2016. – 320 p.

5. ОВОС. Обоснование инвестирования в строительство атомной электростанции в Республике Беларусь. Этап 4: Оценка воздействия на окружающую среду. Раздел 4. Характеристика окружающей среды и оценка воздействий на нее Белорусской АЭС. Поверхностные воды. Количественные и качественные характеристики. Раздел 5. Характеристика окружающей среды и оценка воздействий на нее Белорусской АЭС. Поверхностные воды. Оценка возможного радионуклидного загрязнения водотоков. Трансграничный перенос радиоактивных загрязнений. «БЕЛНИПИЭНЕРГОПРОМ». – Минск, 2009.

6. Момот, О. А. Оценка риска для здоровья при употреблении питьевой воды, содержащей малые количества трития / О. А. Момот, Б. И. Сынзыныс // Вестник калужского университета: ред. кол. В. В. Королев и др. – Калуга, 2017. – С. 96–100.

ОЦЕНКА ПРЕИМУЩЕСТВ ДВУХЗОННОЙ ЗАГРУЗКИ КОНТЕЙНЕРОВ ПРИ ТРАНСПОРТИРОВКЕ И ХРАНЕНИИ ОТРАБОТАВШЕГО ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА БЕЛОРУССКОЙ АЭС

BENEFITS ESTIMATION OF DUAL ZONE CASK LOADING FOR SHIPPING AND STORAGE OF BELARUSSIAN NPP SPENT NUCLEAR FUEL

А. В. Кузьмин, В. Г. Ковалевич

A. Kuzmin, V. Kovalevich

*Объединенный институт энергетических и ядерных исследований –
Сосны Национальной академии наук Беларуси, Минский р-н, Республика Беларусь
avkuzmin@sosny.bas-net.by, kovalevich@sosny.bas-net.by
Joint Institute for Power and Nuclear Research – Sosny of the National Academy of Sciences of Belarus,
Minsk region, Republic of Belarus*

Обращение с отработавшим ядерным топливом (далее – ОЯТ) является одной из наиболее сложных проблем, возникающих при реализации ядерного топливного цикла атомной электростанции (далее – АЭС). Неотъемлемыми этапами любого варианта обращения с ОЯТ Белорусской АЭС будут являться его транспортировка и долговременное хранение. Наиболее распространенной практикой является равномерная за-

грузки используемых для указанных целей контейнеров примерно одинаковыми по своим характеристикам отработавшими тепловыделяющими сборками (далее – ОТВС). Один из возможных вариантов оптимизации загрузки контейнеров с ОЯТ заключается в обосновании и внедрении зонирования размещения ОТВС в них. Наиболее простой, но в то же время отражающей основные преимущества использования неоднородных загрузки контейнеров с ОЯТ, является двухзонная загрузка, рассматриваемая в данной работе. Анализ двухзонной загрузки контейнеров с ОЯТ для условий Белорусской АЭС позволит оценить возможные технические преимущества внедрения указанной технологии.

The management of spent nuclear fuel (SNF) is one of the most difficult problems arising during the implementation of the nuclear fuel cycle of nuclear power plants (NPP). Transportation and long-term storage will be the integral stages of any variant of Belarusian NPP spent fuel assemblies (SNF) management. The most common practice is the uniform cask loading with approximately the same characteristics of SFA. One of the possible options in optimization of SNF cask loading is justification and implementation of zoning of SFA placement. The most simple, but at the same time, reflecting the main advantages of using non-uniform cask loading of SNF, is a dual zone loading, considered in this work. Analysis of dual zone cask loading of SNF for the conditions of Belarusian NPP will allow to assess the possible technical advantages of the implementation of this technology.

Ключевые слова: внешняя и внутренняя зоны, двухзонная загрузка, контейнер, мощность дозы, отработавшая тепловыделяющая сборка, равномерная загрузка.

Keywords: outer and inner zone, dual zone loading, cask, dose rate, spent fuel assembly, uniform loading.

Сооружение и предстоящий ввод в эксплуатацию атомной электростанции в Республике Беларусь определяют необходимость решения вопросов обращения ОЯТ Белорусской АЭС. Обеспечение ядерной и радиационной безопасности при обращении с ОЯТ в сочетании с технико-экономической эффективностью соответствующих пределов являются важными составляющими национальной безопасности Республики Беларусь и залогом успешной реализации проекта Белорусской АЭС.

На современном этапе в мировой практике реализуются две основные концепции открытого и замкнутого ядерного топливного цикла. Некоторые страны избирают «выжидательную» стратегию с отсрочкой на будущее принятие решения о завершении жизненного цикла топлива АЭС [1].

Неотъемлемым этапом любого варианта обращения с ОЯТ является его долговременное хранение, которое в настоящее время рассматривается как обязательный предел при обращении с ОЯТ при любом конечном варианте изоляции накопленных в ОЯТ радионуклидов, значительно облегчающий их окончательную изоляцию [2]. Долговременное хранение ОЯТ не снимает проблему завершающей стадии ядерного топливного цикла АЭС, но может дать, в случае необходимости, отсрочку в принятии решения, позволяющую оптимизировать его в соответствии с меняющимися социально-политическими и экономическими условиями в стране и за ее пределами, с учетом новых научных достижений в развитии технологий переработки, хранения и захоронения ОЯТ.

Основная роль в обеспечении безопасности при хранении и транспортировке ядерных материалов принадлежит конструкции упаковки. Разработанные стандартные упаковки представляют собой упаковочные комплекты для размещения в них радиоактивного содержимого, снабженные защитой для снижения уровня облучения до установленных пределов, обеспечивающие структурную целостность и прочность на протяжении всего времени транспортировки и хранения, исключающие за счет особенностей своей конструкции возможность возникновения самоподдерживающейся цепной реакции деления, как в условиях нормальной эксплуатации, так и при проектных авариях, а также обеспечивающие надлежащее охлаждение ОЯТ [3]. Оптимизация транспортно-технологических операций с ОЯТ привела к разработке металлических контейнеров двухцелевого назначения (хранение и транспортировка), а также и многоцелевого назначения (хранение, транспортировка и окончательное удаление/захоронение) [4; 5].

Наиболее распространенной практикой обращения с ОЯТ является равномерная загрузка контейнера примерно одинаковыми по своим характеристикам и времени выдержки ОТВС. Один из возможных вариантов оптимизации загрузки контейнеров с ОЯТ заключается в обосновании и внедрении зонирования размещения ОТВС в них. Простейшим методом неоднородной загрузки контейнера можно назвать «зонирование», при котором определенные группы мест (зоны) контейнера загружаются отработавшим топливом со схожими характеристиками в пределах каждой зоны, но с различными характеристиками между зонами. Наиболее простой, но в то же время отражающей основные преимущества использования неоднородных загрузки контейнеров с ОЯТ, является двухзонная загрузка, рассматриваемая в данной работе [6].

Одно из технических преимуществ неоднородной, в частности двухзонной загрузки контейнеров, при которой ОТВС с большим временем выдержки размещаются во внешних гнездах топливной корзины, а более «горячие» сборки – во внутренней области, заключается в общем улучшении параметров радиационной защиты. Причиной является экранирование внешними рядами более «холодных» топливных кассет излучения от ОТВС с меньшим временем выдержки и, соответственно, большей активностью продуктов деления, расположенных в центре контейнера.

Таким образом, при неоднородной загрузке контейнеров с ОЯТ за счет небольшого уменьшения активности источника во внешней области около стенки контейнера, по сравнению с однородной загрузкой, за счет экрани-

рования обеспечивается возможность размещения во внутренней зоне в центре контейнера ОТВС с существенно большей активностью продуктов деления. При этом, по сравнению с однородной загрузкой, достигается общее увеличение активности отработавших сборок, которые можно поместить в контейнер без изменения мощности дозы излучения на его поверхности и нормированном расстоянии от нее.

Технико-экономические преимущества неоднородной, в частности двухзонной загрузки контейнеров с ОЯТ Белорусской АЭС основываются на том, что при длительных сроках хранения эффективное время выдержки ОТВС, усредненное по обеим зонам контейнера возрастает со скоростью, которая компенсирует начальное увеличение активности загрузки, вызванное большей начальной средней глубиной выгорания. Это обеспечивает возможность размещения в контейнерах большего общего количества ОТВС с меньшим усредненным остаточным тепловыделением и активностью, чем в варианте с однородной загрузкой ОТВС центральной зоны с меньшим временем выдержки и/или большей глубиной выгорания при одинаковых требованиях к отводу тепла от контейнера и обеспечению радиационной защиты.

Таким образом, решается одна из основных задач оптимизации долговременного хранения ОЯТ – уменьшение общего числа требуемых контейнеров и продолжительности радиационно-опасных работ по их загрузке, в том числе за счет исключения неполной загрузки контейнеров топливом с высокой глубиной выгорания и/или отказа от использования более дорогих моделей контейнеров для его транспортировки и хранения.

Описанное преимущество в обращении с ОЯТ реализуемо в случае возможности разделения всей массы ОТВС на группы, отличающиеся глубиной выгорания или временем выдержки. Согласно оценочным нейтронно-физическим расчетам ОТВС, выгруженные за 60 лет эксплуатации двух энергоблоков Белорусской АЭС по проектной глубине выгорания можно разделить на три группы: с глубиной выгорания до 50 МВт сут/кг U – 494 ТВС (около 230 т тяжелого металла, далее – ТМ, от 50 до 55 МВт сут/кг U – 1980 ТВС (примерно 920 т ТМ), свыше 55 МВт сут/кг U – 2640 ТВС (около 1230 т ТМ), что в сумме составляет 5114 ОТВС общей массой 2380 т ТМ. В проектном стационарном топливном цикле из каждого реактора Белорусской АЭС будет выгружаться 42 ОТВС (первая выгрузка – 48 ОТВС) со средней глубиной выгорания 55,6 МВт сут/кг ТМ.

Одним из ограничивающих факторов является вместимость приреакторного бассейна выдержки ОЯТ, недостаточность которой может существенно ограничить возможность практической реализации долгосрочной стратегии неоднородных загрузок. Емкость бассейна выдержки Белорусской АЭС составляет 732 ячейки для ОТВС и 24 ячейки для герметичных пеналов, что обеспечивает хранения ОТВС в течение 10 лет, а также позволяет обеспечить выгрузку полной активной зоны реактора (163 ОТВС).

Допустимое тепловыделение ОЯТ в контейнере является еще одним ограничивающим фактором при формировании неоднородных загрузок. Размещение более ОТВС с большим остаточным тепловыделением в центральной зоне контейнера приводит к росту температуры топлива и внутренних конструкций по сравнению с однородной загрузкой. Однако проектные пределы по температуре, как правило, проще удовлетворить, чем обеспечить соответствие дозовых нагрузок нормативным требованиям.

Оценку эффективности использования зонирования при размещении ОЯТ в контейнерах произведем путем сравнения параметров и характеристик однородной загрузки примерно одинаковыми по своим свойствам ОТВС с двухзонной загрузкой, когда одинаковое количество ОТВС с разными характеристиками и временем выдержки размещаются осесимметрично в центральной зоне контейнера (внутренняя зона с более «горячим» топливом) и на периферии топливной корзины (внешняя зона с более выдержанным топливом). Рассмотрение простейшей двухзонной загрузки позволит в общем случае качественно и количественно проанализировать основные преимущества зонирования и понять причины их возникновения.

Упрощенное количественное рассмотрение вопросов радиационной безопасности, дозовых нагрузок на персонал полезно для выработки понятных подходов нормативного регулирования и лицензирования неоднородных загрузок контейнеров для хранения и транспортировки ОЯТ. В дальнейшем указанные оценки должны уточняться при выполнении полноценного расчетного обоснования радиационной защиты контейнеров.

Рассмотрим контейнер, лицензированный в установленном порядке и пригодный для размещения ОЯТ ВВЭР-1200, для которого установлены соответствующие проектные пределы при однозонной загрузке, включая проектную лимитирующую кривую зависимости максимальной глубины выгорания загружаемого топлива от времени его выдержки. При выполнении указанных проектных критериев для ОЯТ все нормативные требования обеспечивающие радиационную безопасность и не превышение дозовых пределов для персонала выполняются, что обосновывается в проекте контейнера и проверяется регулирующим органом. Как показывает практика, наибольшие ограничения и наиболее жесткие требования к характеристикам загружаемого в контейнер ОЯТ вытекают из необходимости не превышения норматива по мощности дозы внешнего облучения персонала на расстоянии 1 м от поверхности контейнера.

Предположим, что контейнер равномерно загружен, так что достигается наиболее ограничивающий нормативный предел мощности дозы на расстоянии 1 м от поверхности контейнера. Будем считать, что активность всех загруженных ОТВС одинакова. Поскольку, как указано выше, число ОТВС в центральной и периферийной зонах одинаково, активность, размещенная в этих зонах совпадает. Однако ОТВС внешней зоны экранируют излучение от ОТВС внутренней зоны, выполняя таким образом функцию радиационной защиты. Это означает, что относительный вклад ОТВС внешней зоны в мощность дозы на расстоянии 1 м от поверхности контейнера больше, чем доля, приходящаяся на излучение от ОТВС центральной зоны. Точный расчет указанных вкладов в мощность

дозы осуществляется при проектировании каждого конкретного типа контейнеров посредством специальных компьютерных программ и определяется конструкцией контейнера и его радиационной защитой.

Рассмотрим теперь неоднородную двухзонную загрузку. При этом активность ОТВС периферийной зоны должна быть снижена по сравнению с однородной загрузкой, что приводит к снижению абсолютной величины вклада в мощность дозы на расстоянии 1 м от поверхности контейнера от ОТВС внешней зоны пропорционально большей доле их вклада. За счет этого появляется возможность увеличить активность внутренней экранируемой зоны на величину превышающую уменьшение активности ОТВС внешней зоны. Этим только за счет зонирования загрузки без изменения конструкции контейнера достигается выигрыш в суммарной активности ОТВС, которые можно разместить без превышения установленных нормативных требований.

Приведем количественную оценку повышения эффективности использования мощностей для хранения и транспортировки ОЯТ за счет зонирования загрузок. Пусть φ_0 – доля вклада внешней зоны в полную мощность дозы на расстоянии 1 м от поверхности контейнера, приходящаяся на единичную суммарную активность ОТВС, размещенных в ней. Тогда $1 - \varphi_0$ – доля, приходящаяся на единичную активность во внутренней, центральной зоне. Активность ОТВС внутренней зоны в контейнере с неоднородной загрузкой при одинаковой нормируемой мощности дозы будет превышать активность ОТВС внешней зоны в таком же контейнере с однородной загрузкой в число раз, определяемое мультипликативным фактором

$$\mathcal{F}_0 = \frac{\varphi_0}{1 - \varphi_0}. \quad (1)$$

В действительности это слишком грубая оценка, которую можно уточнить, учтя, что доля вклада ОТВС внешней зоны в полную мощность дозы на нормируемом расстоянии от поверхности контейнера (1 м) немного изменится при переходе от равномерной к двухзонной загрузке и будет равна φ_1 . Соответственно мультипликативный фактор \mathcal{F}_0 , определяемый выражением (1), следует усреднить по возможным значениям доли вклада ОТВС внешней зоны в полную мощность дозы на нормируемом расстоянии от поверхности контейнера. В результате получим более точное выражение, характеризующее повышение эффективности загрузки контейнеров с точки зрения увеличения допустимой активности внутренней зоны по сравнению с внешней:

$$\mathcal{F} = \frac{1}{\varphi_0 - \varphi_1} \ln \frac{(1 - \varphi_1)}{(1 - \varphi_0)} - 1. \quad (2)$$

Предположим, что доля ОТВС, отнесенных к внешней «холодной» зоне, отличается от принятого значения 0,5 и составляет ψ_0 . В этом случае отношение максимальной суммарной активности ОТВС при неоднородной двухзонной загрузке контейнера к суммарной активности ОТВС однородно загруженного контейнера при одинаковых значениях мощности дозы на нормируемом расстоянии от контейнера равно:

$$\frac{A_1}{A_0} = \psi_0 \left(1 - \frac{(\varphi_0 - \varphi_1)}{\varphi_0} \right) + (1 - \psi_0) \left(1 + \mathcal{F} \frac{(\varphi_0 - \varphi_1)}{\varphi_0} \right). \quad (3)$$

Из приведенного выражения следует, что максимально допустимая для размещения в контейнере суммарная активность ОТВС при неоднородной двухзонной загрузке достигается при условии равенства доли вклада каждой ОТВС в суммарную нормируемую мощность дозы от контейнера. Основываясь на указанном принципе, можно разработать оптимальную стратегию выгрузки ОТВС из бассейнов выдержки ОЯТ Белорусской АЭС, которая позволит максимально эффективно формировать и использовать контейнерный парк и избежать чрезмерно высоких требований к радиационной защите контейнеров, что, соответственно, скажется на упрощении процедуры их лицензирования для использования на территории Республики Беларусь для транспортировки и хранения ОЯТ Белорусской АЭС.

ЛИТЕРАТУРА

1. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Spent Fuel Performance Assessment and Research, IAEA-TECDOC-1343. – Vienna: IAEA, 2003. – P. 123.
2. Серия стандартов МАГАТЭ, Обращение с радиоактивными отходами перед захоронением, № GSR. – Вена: МАГАТЭ, 2009. – Ч. 5. – С. 39.
3. Operation and Maintenance of Spent Fuel Storage and Transportation Casks/Containers. – IAEA-TECDOC-1532. – Vienna, 2007. – P. 3–50
4. KO et al. Shielding Analysis of Dual Purpose Casks for Spent Nuclear Fuel Under Normal Storage Conditions. – Nuclear Engineering and Tehnology, v.46. No 4. 2014. P. 547-556.
5. Соколова, И. Д. Контейнеры для хранения и транспортировки облученного ядерного топлива и высокоактивных отходов / И. Д. Соколова // Атомная техника за рубежом. – 2018. № 2. – С. 3–16/
6. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Optimization Strategies for Cask Design and Container Loading in Long Term Spent Fuel Storage, IAEA-TECDOC-1523. – Vienna: IAEA, 2006. – P. 103.

БИОЛОГИЧЕСКИЕ ПЛОЩАДКИ МОНИТОРИНГА РАДИАЦИОННО-ОПАСНЫХ ОБЪЕКТОВ

BIOLOGICAL SITES FOR MONITORING OF RADIATION HAZARDOUS OBJECTS

Н. В. Ларионова, О. Н. Ляхова, В. С. Кум
N. Larionova, O. Lyakhova, V. Kim

*Филиал «Институт радиационной безопасности и экологии» РГП НЯЦ РК
г. Курчатов, Республика Казахстан
Larionova@nnc.kz*

Branch "Institute of Radiation Safety and Ecology" NNC RK, Kurchatov, Republic of Kazakhstan

Представлен опыт применения биологических площадок мониторинга радиационно-опасных объектов на примере площадки «Дегелен» на Семипалатинском испытательном полигоне (СИП). Рассмотрена концентрация радионуклидов ^3H , ^{241}Am , ^{137}Cs , ^{90}Sr и $^{239+240}\text{Pu}$ в различных объектах окружающей среды (в воде, почве и растениях). Установлено, что растения могут указывать на присутствие радионуклидов как в почвенном покрове, так и в поверхностных водах, а также в гораздо более глубоких слоях почвы и грунтовых водах. На основе полученных данных показана возможность применения биологических площадок мониторинга для радиационно-опасных объектов (например, в зонах влияния АЭС).

The operational experience with biological monitoring sites of radiation hazardous objects by the case of the Degelen site at the Semipalatinsk test site (STS) are presented in the paper. It was reviewed the concentration of ^3H , ^{241}Am , ^{137}Cs , ^{90}Sr and $^{239+240}\text{Pu}$ radionuclides in various environmental objects (water, soil and plants). It has been found that the plants can indicate presence of radionuclides both in the soil cover and in the surface water but also in much deeper soil layers and ground water. These data show the possibility of applying of biological monitoring sites' at radiation hazardous objects (e.g. zones of influence of NPP).

Ключевые слова: Семипалатинский испытательный полигон (СИП), мониторинг, радионуклиды, ^3H , ^{241}Am , ^{137}Cs , ^{90}Sr , $^{239+240}\text{Pu}$.

Keywords: Semipalatinsk Test Site (STS), monitoring, radionuclides, ^3H , ^{241}Am , ^{137}Cs , ^{90}Sr , $^{239+240}\text{Pu}$.

Ядерная энергетика – один из основных источников удовлетворения непрерывно растущих энергопотребностей человечества. Однако общий прогресс в развитии ядерной энергетики зависит от решения экологических проблем в области охраны природной среды от радиационного воздействия, связанного с полным ядерным топливным циклом (ЯТЦ). Последнее обусловлено тем, что на некоторых этапах ЯТЦ (от добычи уранового сырья до переработки отработавшего топлива и захоронения радиоактивных отходов) происходит высвобождение радионуклидов в окружающую среду. Таким образом, решение проблемы экологической безопасности работы всех предприятий ЯТЦ, тесно сопряжено с анализом радиационной обстановки, складывающейся на территориях, прилегающих к предприятиям ЯТЦ.

Существующий мониторинг загрязнения окружающей среды вокруг таких объектов, являющийся необходимым условием их эксплуатации, в большинстве случаев отражает ситуацию на определенный момент времени, но не всегда способен дать интегральную оценку за прошедший период. В данной работе рассматривается перспективный с этой точки зрения объект наблюдения – растения. Группы растений определенного видового состава, могут представлять собой биологические площадки мониторинга, характеризующие радиационную ситуацию за определенный отрезок времени, связанный с продолжительностью жизни как отдельных видов растений, так и отдельных их органов. Преимущества использования биологических площадок мониторинга радиационно-опасных объектов заключаются как в простоте исполнения, так и в явной экономической выгоде. По сравнению с существующими и широко используемыми на сегодняшний день методами систем гидрогеологических скважин и постов воздушного мониторинга объектов атомной отрасли, биологические площадки мониторинга не нуждаются ни в постоянном обслуживании, ни в энергетических ресурсах. Поэтому могут представлять большой интерес для всех объектов ядерной энергетики.

Многолетний мониторинг загрязненных территорий в Чернобыле и на Южном Урале позволил детально оценить параметры накопления радионуклидов как сельскохозяйственными культурами, так и естественными растениями этих регионов [1–4]. Результаты исследований перераспределения искусственных радионуклидов в системе «почва–растение» [5], а также изучение возможности использования растений в качестве показателей содержания радионуклида ^3H в грунтовых водах [6] на территории бывшего Семипалатинского испытательного полигона (СИП), привели к мысли о возможности создания биологических площадок мониторинга радиационно-опасных объектов.

Исследования проводились на территории Семипалатинского испытательного полигона (СИП). Для заложения биологических площадок мониторинга выбрана бывшая испытательная площадка «Дегелен», где до настоя-

щего времени существует принципиальная возможность выноса радионуклидов поверхностными и грунтовыми водами из мест проведения подземных ядерных испытаний на условно «чистые» территории (рис. 1).

Участки для заложения биологических площадок мониторинга выбраны в зонах выхода основных ручьев Байтлес (МП2), Карабулак (МП5), Токтакушук (МП3) и Узынбулак (МП4, МП1) за границу площадки «Дегелен», характеризующихся многолетним радиоактивным загрязнением и принципиально разным видовым составом растений (рис.).

Для оценки выноса и механизмов перераспределения радионуклидов по отдельным компонентам каждой площадки проведены полевые работы, включающие: бурение гидрогеологических скважин, заложение почвенных разрезов и отбор проб окружающей среды (вода (поверхностная и грунтовая), почва, растения). Исследуемые виды растений: гигрофиты (тростник (*Phragmites australis*), осока (*Carex melanostachya*), вейник (*Calamagrostis agudinacea*)), произрастающие в зоне поверхностного водотока, и фреатофиты (ива (*Salix triandra*), тополь (*Populus nigra*)), использующие в качестве источника влаги в основном грунтовые воды.

Измерение удельной активности радионуклидов ^{137}Cs и ^{241}Am проводили методом гамма-спектрометрии [7], ^{90}Sr и $^{239+240}\text{Pu}$ – методом радиохимического выделения с последующей бета- и альфа-спектрометрией [8], ^3H – методом жидкосцинтиляционной спектрометрии [9]. Содержание ^3H в растениях определялось в их органической составляющей и свободной воде, полученной из конденсата посредством изготовленной специальной установки, представляющей собой герметичную емкость для загрузки проб растений, снабженную охлаждаемой поверхностью и емкостью для сбора влаги, испаряемой растениями [10].

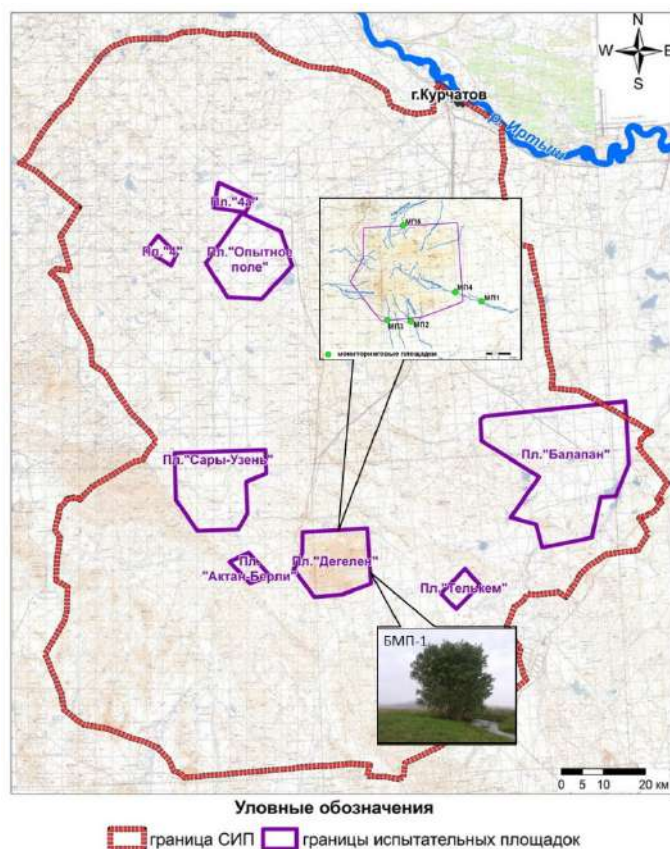


Рисунок – Схема расположения биологических площадок мониторинга вокруг площадки «Дегелен» на территории Семипалатинского испытательного полигона

Содержание ^3H в свободной воде растений и их органической составляющей, а также в поверхностных и грунтовых водах исследуемых площадок представлено в табл. 1.

Из табл. 1 следует, что удельная активность радионуклида ^3H в воде исследуемых площадок варьирует от 35 кБк/кг (р. Байтлес) до 75 кБк/кг (р. Токтакушук), причем в ручьях Байтлес и Узынбулак значения удельной активности в грунтовых водах выше, чем в поверхностных. Более высокие концентрации ^3H отмечаются в свободной воде ивы (*Salix triandra*) и тополя (*Populus nigra*). При этом разница в удельной активности ^3H в органической составляющей исследуемых видов растений не значительна. Определенный интерес представляет собой площадка МП2 (р. Байтлес), где значения удельной активности ^3H в свободной воде ивы (*Salix triandra*) и в грунтовых водах, используемых ею в качестве источника влаги, в среднем 2 раза превышает активность в свободной воде осоки (*Carex melanostachya*) и в питающих ее поверхностных водах. Таким образом, можно предположить, что содержание ^3H в свободной воде растений выбранных групп гигрофитов и фреатофитов в данном случае отражает загрязнение радионуклидом ^3H соответственно поверхностных и грунтовых вод и может быть использовано для косвенной оценки.

Таблица 1 – Удельная активность ^3H в свободной воде и органической составляющей растений, поверхностных и грунтовых водах

Площадки	Вид растения	Удельная активность, кБк/кг			
		растения		поверхностная вода	грунтовая вода
		свободная вода	органическая составляющая		
МП1	<i>Populus nigra</i>	25 ± 2	15 ± 1,5	40 ± 4	60 ± 6
	<i>Calamagrostis arundinacea</i>	20 ± 2	10 ± 1,1		
МП2	<i>Salix triandra</i>	45 ± 4	16 ± 1,7	35 ± 3	60 ± 5
	<i>Carex melanostachya</i>	25 ± 2	13 ± 1,3		
МП3	<i>Salix triandra</i>	35 ± 3	16 ± 1,6	75 ± 7	70 ± 7
	<i>Calamagrostis arundinacea</i>	35 ± 3	13 ± 1,4		
МП4	<i>Salix triandra</i>	35 ± 3	13 ± 1,3	40 ± 4	45 ± 5
	<i>Calamagrostis arundinacea</i>	10 ± 1	7,9 ± 2,5		
МП5	<i>Salix triandra</i>	45 ± 4	17 ± 1,8	60 ± 6	60 ± 5
	<i>Phragmites australis</i>	35 ± 3	14 ± 1,5		

В табл. 2 приведены значения удельной активности радионуклидов ^{241}Am , ^{137}Cs , ^{90}Sr и $^{239+240}\text{Pu}$ в поверхностном слое почвы и слое, расположенном на максимальной глубине почвенного профиля.

Таблица 2 – Удельная активность ^{241}Am , ^{137}Cs , ^{90}Sr и $^{239+240}\text{Pu}$ в почве

Площадка	Слой, см	Удельная активность радионуклидов, Бк/кг			
		^{241}Am	^{137}Cs	^{90}Sr	$^{239+240}\text{Pu}$
МП-1	0–3	<0,75	17±1	99±15	4,6±1,5
	27–30	<0,67	<0,49	9,6±1,4	< 0,5
МП-2	0–3	<0,75	22±1	400±60	4,2±1,3
	12–15	<0,49	0,59±0,29	31±5	3,7±1,2
МП-3	0–3	<0,47	19±1	19±3	8,8±2,8
	45–50	<0,63	<0,34	< 1,1	3,5±1,4
МП-4	0–3	<0,26	23±1	42±6	4,8±1,6
	45–50	1,4±0,4	<0,88	9,9±1,1	4±1,5
МП-5	0–5	7,5±0,7	150±3	1200±200	38±4
	20–25	<0,53	<0,46	210±30	3±1,3

Из табл. 2 следует, что максимальные концентрации ^{90}Sr (до 1200 Бк/кг), $^{239+240}\text{Pu}$ (до 38 Бк/кг), ^{241}Am (до 7,5 Бк/кг) и ^{137}Cs (до 150 Бк/кг) отмечаются в верхнем слое почв. Данное обстоятельство указывает на то, что вынос исследуемых радионуклидов за пределы площадки «Дегелен», в случае его наличия, осуществляется с поверхностными водами.

Количественные значения удельной активности ^{90}Sr и $^{239+240}\text{Pu}$ на всех биологических площадках мониторинга установлены в воде (грунтовой и поверхностной). Причем содержание данных радионуклидов в воде нестабильны и изменяются в довольно широком диапазоне (табл. 3). Также в табл. 3 представлены диапазоны удельной активности радионуклидов ^{241}Am , ^{137}Cs , ^{90}Sr и $^{239+240}\text{Pu}$ в растениях.

Таблица 3 – Удельная активность ^{241}Am , ^{137}Cs , ^{90}Sr и $^{239+240}\text{Pu}$ в воде и в растениях

Площадка	Удельная активность в воде, Бк/кг				Удельная активность в растениях, Бк/кг			
	^{241}Am	^{137}Cs	^{90}Sr	$^{239+240}\text{Pu}$	^{241}Am	^{137}Cs	^{90}Sr	$^{239+240}\text{Pu}$
МП1	<3	<0,03	<1–1,2	<0,0003	<0,6–2,5	<0,8–1,7	41–120	<0,1–4,8
МП2	<3	<0,03	<1–3,3	<0,0004–0,00082	<0,8	<1,6–3,3	23–69	<0,2–4,7
МП3	<3	<0,03	0,25–0,31	<0,00047–0,0025	<0,9–2,6	<1,6–1,5	4,8–51	<0,2–7,5
МП4	<3	<0,03	<1–1,5	<0,0003	<1,6	<1,9	7,8–100	<0,2–1,5
МП5	<3	<0,03	<1–0,15	<0,0002–0,0022	<0,9–1,7	<1,6–1,5	81–350	<0,1–7,4

Содержание радионуклидов в растениях (^{90}Sr до 350 Бк/кг, $^{239+240}\text{Pu}$ до 2 Бк/кг, ^{241}Am до 2,6 Бк/кг, ^{137}Cs до 6,7 Бк/кг) зафиксировано существенно выше, чем в воде, что может быть связано как с их способностью к накоплению из почвы, так и непосредственно из воды. Растения в данном случае, учитывая незначительные коэффициенты накопления (Кн) радионуклидов из почвы [5], могут быть показателями содержания радионуклидов в почвенном покрове и в воде не только на поверхности соответствующих территорий, но и могут характеризовать более глубокие слои почв, а также грунтовые воды. При этом небольшие, но с учетом низких Кн (не более ~0,01) для данного радионуклида, существенные значения ^{241}Am , который не был обнаружен ни в воде, ни в почве для

большинства площадок, указывают на то, что растения в этой ситуации являются единственным показателем возможного выноса данного радионуклида на границе бывшей испытательной площадки «Дегелен».

В результате проведенных исследований определен уровень содержания радионуклидов ^3H , ^{137}Cs , ^{241}Am , ^{90}Sr и $^{239+240}\text{Pu}$ в основных компонентах природной среды на границе бывшей испытательной площадки «Дегелен». Установлено, что основное загрязнение приходится на радионуклид ^3H , концентрации которого в свободной воде и органической составляющей растений, а также поверхностных и грунтовых водах достигают десятков кБк/кг, а содержание ^3H в свободной воде растений гигрофитов и фреатофитов может быть использовано для косвенной оценки загрязнения ^3H соответственно поверхностных и грунтовых вод. Содержание ^{137}Cs , ^{241}Am , ^{90}Sr и $^{239+240}\text{Pu}$ гораздо менее значительно, при этом сравнительно повышенные активности характерны для радионуклида ^{90}Sr в почвах, при этом небольшие, но количественно установленные значения ^{241}Am являются единственным показателем возможного выноса данного радионуклида на границе бывшей испытательной площадки «Дегелен». Полученные данные показывают принципиальную возможность использования растений при мониторинге радиационно-опасных объектов (например, в зонах влияния АЭС).

ЛИТЕРАТУРА

1. Сельскохозяйственная радиэкология / под ред. академика ВАСХНИЛ Р.М. Алексахина и академика ВАСХНИЛ Н. А. Корнеева. – М.: 1991. – С. 56–89.
2. Куликов, И. В. Радиэкология почвенно-растительного покрова / И. В. Куликов, И. В. Молчанова, Е. Н. Караева. – Свердловск: УрО АН СССР, 1990. – С. 61–76.
3. Анненков, Б. Н. Основы сельскохозяйственной радиологии / Б. Н. Анненков, Е. В. Юдинцева. – М., 1991. – С. 56–83.
4. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Quantification of radionuclide transfer in terrestrial and freshwater environments for radiological assessments, IAEA -TECDOC-1616, IAEA. – Vienna, 2009.
5. Larionova, N. V. Transfer of radionuclides to plants of natural ecosystems at the Semipalatinsk Test Site / N. V. Larionova, S. N. Lukashenko, A. M. Kabdyrakova, A. Y. Kunduzbayeva, A. V. Panitskiy, A. R. Ivanova // Journal of Environmental Radioactivity. – 2018. – № 186. – P. 163–170.
6. Larionova, N. V. Plants as indicators of tritium concentration in ground water at the Semipalatinsk test site / N. V. Larionova, S. N. Lukashenko, O. N. Lyakhova, A. O. Aidarkhanov, S. B. Subbotin, A. B. Yankauskas // Journal of Environmental Radioactivity. – 2017. – Vol. 177. – P. 218–224.
7. МИ 5.06.001.98 РК «Активность радионуклидов в объемных образцах. Методика выполнения измерений на гамма-спектрометре МИ 2143-91». – 18 с.
8. Методика определения изотопов плутония-(239+240), стронция-90, америция-241 в объектах окружающей среды: МИ 06-7-98. – Алматы, 1998.
9. ISO 9698-1989 /Е/ «Качество воды – определение активности трития, соответствующей данной концентрации – жидкостной метод сцинтилляционного счета».
10. Установка для извлечения воды из образцов / С. Н. Лукашенко, Н. В. Ларионова, В. П. Зарембо; инновационный патент РК № 29721, 15.04.2015, бюл. № 4.

ИСТОЧНИКИ ПОСТУПЛЕНИЯ ТРИТИЯ В ВОЗДУШНУЮ СРЕДУ В МЕСТАХ ПРОВЕДЕНИЯ ЯДЕРНЫХ ИСПЫТАНИЙ

SOURCES OF TRITIUM INTAKE IN THE AIR ENVIRONMENT IN PLACES OF NUCLEAR TESTING

О. Н. Ляхова, Л. В. Тимонова, З. Б. Сержанова, Н. В. Ларионова
O. Lyakhova, L. Timonova, Z. Serzhanova, N. Larionova

Филиал «Институт радиационной безопасности и экологии» РГП НЯЦ РК,
г. Курчатова, Республика Казахстан
Lyahova@nnc.kz

Branch "Institute of Radiation Safety and Ecology" NNC RK, Kurchatov, Republic of Kazakhstan

Вследствие проведения ядерных испытаний на территории Семипалатинского испытательного полигона, наряду с наиболее известными техногенными радионуклидами цезием-137, стронцием-90, америцием-241, образовалось большое количество трития. Результаты исследований на территории полигона показали, что на сегодняшний день активность трития в поверхностных и подземных водах, растительности, почве составляет от единиц до сотен тысяч Бк/кг. Согласно полученным данным, в местах проведения ядерных испытаний различного характера идет процесс эманации трития в воздушную среду.

Because of nuclear tests conducted at the territory of the Semipalatinsk test site, along with the most-known technogenic radionuclides, cesium-137, strontium-90, americium-241, a large amount of tritium was formed. The results of research on the polygon showed that today the activity of tritium in surface and groundwater, vegetation and soil ranges from a few to hundreds of thousands Bq. According to the data obtained, the emanation of tritium into the air have been found in the places where various types of nuclear tests were carried out. The aim of the research was to study of tritium sources into the air using the example of the Semipalatinsk test site.

Ключевые слова: тритий, эманация, воздух, Семипалатинский испытательный полигон.

Keywords: tritium, emanation, air, Semipalatinsk test site.

Общепринято считать, что влияние радиационно-опасных объектов (РОО) определяется присутствием в воздухе таких техногенных радионуклидов, как ^{85}Kr , ^{60}Co , ^{54}Mn , ^{137}Cs , ^{144}Ce , ^{90}Sr , ^{133}Xe , ^{131}I и др. [1]. Однако в современной литературе все чаще возникает вопрос, касающийся увеличения количества трития (^3H), поступающего в окружающую среду с радиоактивными выбросами и сбросами [2–4]. По общим оценкам, предприятия атомной промышленности и заводы по переработке ядерного горючего выбрасывают в окружающую среду в год около 15 ПБк ^3H в виде жидких отходов и 600 ТБк ^3H в виде газообразных соединений [5]. Любые незапланированные выбросы на АЭС могут увеличить общее содержание ^3H в воздухе примерно на 60 %, что может повлечь за собой увеличение дозовой нагрузки на персонал и население, проживающее на прилегающих территориях, при попадании ^3H в организм при вдыхании и через кожные покровы [6–7].

Помимо прямых выбросов с РОО, ^3H может поступать в воздух в результате различных механизмов трансформации, так называемое вторичное перераспределение между компонентами природной среды. В результате, ^3H может поступать в воздушную среду в составе различных органических и неорганических соединений, а далее напрямую в организм человека при вдыхании и через кожный покров [8].

Целью работы являлась изучение источников поступления трития в воздушный бассейн на примере территории Семипалатинского испытательного полигона (СИП).

За всю историю СИП на его территории было проведено более 450 ядерных испытаний различного характера, в результате чего, наряду с основными техногенными радионуклидами ^{137}Cs , ^{90}Sr , ^{241}Am и др., образовалось значительное количество ^3H . Исследования радиоэкологической обстановки на СИП, проводимые в течение последнего времени, показали, что ^3H является одним из основных радионуклидов, содержащихся в объектах окружающей среды на данной территории.

Исследования выполнялись на основных испытательных площадках СИП и радиоактивно-загрязненных участках, образовавшихся вследствие проведения ядерных испытаний. Это площадки «Дегелен» и «Балапан», где проводились подземные ядерные взрывы (ПЯВ) в штольнях и скважинах, воронка «Атомного» озера, образовавшаяся в результате проведения экскавационного ядерного взрыва в скважине 1004, и русло р. Шаган, характеризующееся высоким содержанием ^3H в объектах окружающей среды.

Основным объектом исследования являлся воздух (атмосферный и почвенный). Дополнительно, на разных этапах работы исследовалась вода (поверхностная и подземная), грунт и растительность.

Выделение различных форм ^3H из воздуха проводилось при помощи коллектора трития «OS1700», который методом 2-стадийного последовательного выделения позволяет отдельно улавливать ^3H в виде НТО и НТ. Определение форм нахождения ^3H в грунтах и растительности проводили различными физико-химическими методами. Формы ^3H , содержащегося в виде свободной воды, выделяли методом дистилляции и выщелачивания, органически-связанные формы ^3H в грунтах – методом автоклавного разложения, в растениях – при помощи специальной системы пробоподготовки Sample Oxydizer, позволяющей извлекать ^3H из органических образцов. Определение удельной активности ^3H в подготовленных образцах проводилось при помощи жидкосцинтилляционного спектрометра Quantulus 1200 с пределом обнаружения 2–4 Бк/кг.

Согласно анализу данных, одним из основных источников поступления НТО в воздух является вода, а в качестве механизма образования выступает процесс прямого испарения водяных паров, содержащих ^3H , с ее поверхности в атмосферу.

Результаты исследований уровня и характера распределения НТО в воздухе в продольном и поперечном направлении относительно русла водотоков, загрязненных ^3H показали, что с увеличением расстояния от мест с максимальной концентрацией ^3H в воде, концентрация НТО в воздухе снижается более чем на порядок. Экспериментально установлено наличие прямой зависимости концентрации НТО в воздухе от концентрации НТО в воде. Полученные данные хорошо согласовывались с данными, проведенными расчетным путем (рис. 1).

Помимо прямого поступления с поверхности воды, одним из источников поступления НТО в воздух могут являться растения, загрязненные ^3H , а в качестве механизма перераспределения выступает процесс транспирации растений. Анализ полученных данных показал наличие хорошей корреляционной зависимости между содержанием НТО в свободной воде растений и в воздухе на участках, загрязненных ^3H , а также зависимости содержания НТО в воздушной среде от продуктивности растительного покрова, содержащего ^3H (рис. 2).

Другим механизмом поступления НТО в воздушную среду могут являться процессы трансформации ^3H , происходящие в почве. Исследования, проведенные на гребне воронки «Атомного» озера показали, что уровень содержания ^3H в воздухе в ряде случаев может зависеть от уровня его содержания в почве. Полученный вывод от-

части подтвержден экспериментальными исследованиями, в ходе которых установлена хорошая корреляционная зависимость между содержанием НТО в почвенном и атмосферном воздухе (рис. 3).

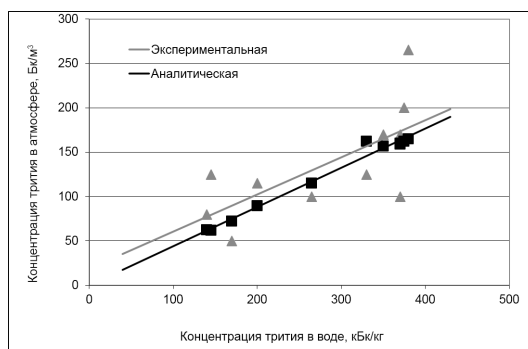


Рисунок 1 – Соотношение концентрации НТО в воде и воздухе

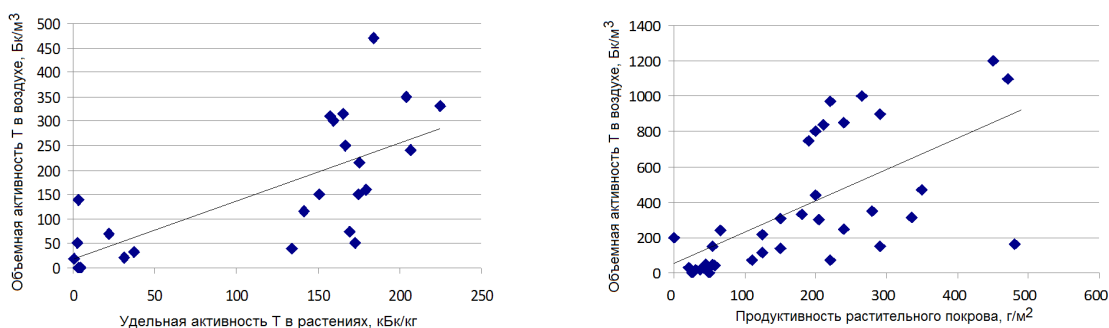


Рисунок 2 – Соотношение концентрации НТО в растительном покрове и воздухе

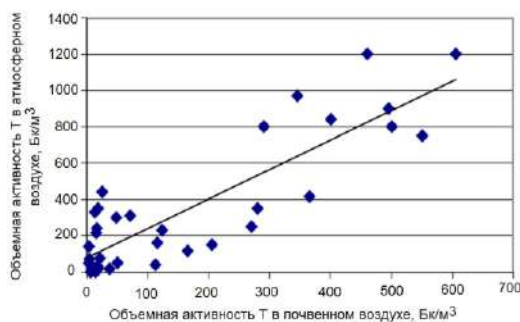


Рисунок 3 – Соотношение концентрации НТО в почвенном и атмосферном воздухе

Вероятнее всего, что в данном случае источником поступления НТО в воздух является грунт, а в качестве механизма образования выступает процесс выщелачивания НТО из грунта в почвенную влагу, с последующим испарением с поверхности грунта.

Исследования уровня содержания НТО в атмосферном и почвенном воздухе также проводились на площадке «Балапан», в местах расположения боевых скважин. На приустьевых участках скважин отсутствуют поверхностные водные объекты, содержание ^3H в грунтах и растительности незначительное (единицы Бк/кг).

Согласно полученным результатам, содержание НТО в атмосферном воздухе достигало 70 Бк/м^3 , а в почвенном – порядка 300 Бк/м^3 . Сделан вывод о возможном влиянии загрязненных ^3H грунтовых вод на тритиевое загрязнение воздушной среды. Удельная активность НТО в подземных водах может составлять от 30 Бк/кг до 400 кБк/кг и более [6; 7]. Вероятно, что в данном случае присутствие НТО в воздухе связано с наличием развитой зоны грунтовых вод, содержащих ^3H . Механизмом перераспределения ^3H в такой системе могут являться процессы капиллярного поднятия загрязненных грунтовых вод с последующим испарением с поверхности грунта.

На территории площадки «Балапан» находится ряд боевых скважин, которым присвоен термин «критические» ввиду выявления эффектов подземной газификации (повышенное содержание газов в почвенном воздухе – CO_2 , CH_4 , H_2S и др.). Данные скважины были определены для исследования содержания НТ в воздушной среде. Основанием послужило предположение, что НТ наряду с другими газами, может поступать из полости скважин в атмосферу.

В результате исследований установлено присутствие НТ в воздухе в местах расположения скважин практически повсеместно, объемная активность составила от 1 Бк/м^3 до 220 Бк/м^3 . В большинстве случаев его содержание превышало содержание НТО.

Результаты, полученные при исследованиях на площадке «Балапан», дали основание к проведению исследования уровня содержания НТ на других радиоактивно-загрязнённых участках СИП. Исследования проведены в русле штольневых водотоков на площадке «Дегелен» и в русле р. Шаган.

Анализ полученных данных вновь показал присутствие НТ в воздушной среде обоих участков, приблизительно в одних и тех же пределах. Объемная активность НТ в атмосферном воздухе составила от 1,4 Бк/м³ до 12 Бк/м³, в почвенном воздухе – от 0,8 Бк/м³ до 16 Бк/м³.

Проведенные исследования свидетельствуют, что процесс поступления и перераспределения ³Н в воздухе может быть различным в зависимости от среды, в которой он содержится, от форм его нахождения в ней, а также от механизмов трансформации или образования ³Н в различных средах.

Таким образом, при рассмотрении источников и механизмов образования НТО в воздушной среде в зоне влияния РОО, в первую очередь, необходимо рассматривать такие процессы как испарение с поверхности воды, испарение с поверхности почвы, особенно в случае неглубокого залегания грунтовых вод, процессы транспирации растений. Рассматривая газообразные соединения ³Н в воздухе, необходимо обращать внимание на процессы жизнедеятельности растений и биологические процессы, происходящие в почве, в результате которых образуется широкий класс органических соединений с различными физико-химическими свойствами. В случае исследований на СИП немаловажную роль в процессах образования и поступления ³Н в воздух играет характеристика проведенного ядерного испытания.

ЛИТЕРАТУРА

1. Старков, В. Д. Радиационная экология / В. Д. Старков, В. И. Мигунов. – Тюмень: ФГУ ИПП, 2007. – 396 с.
2. Вакуловский, С. М. Содержание ⁹⁰Sr, ¹³⁷Cs и трития в Балтийском море в 1972 г. / С. М. Вакуловский, И. Ю. Катрич, С. Г. Малахов и др. // Атомная энергия. – 1975. – Т. 39. – № 3. – С. 183–185.
3. Болсуновский, А. Я. Тритий в водоемах бассейна реки Енисей в зоне влияния Горно-химического комбината Минатома РФ / А. Я. Болсуновский, Л. Г. Бондарева // Экология. – 2005. – № 1. – С. 59–63.
4. Jean-Baptiste, P., Baumier, D., Fourre, E. The distribution of tritium in the terrestrial and aquatic environmental of the Greys-Malville nuclear power plant // Journal of Environmental Radioactivity. – 2007. – Vol. 94. – P. 107–118.
5. Report of the independent Advisory Group on Ionising Radiation. Review of Risks from Tritium. / Documents of the Health Protection Agency Radiation, Chemical and Environmental Hazards, November, 2007. URL: http://www.rachel.org/lib/tritium_risks.070601.pdf.
6. Trevorrow, L. E., Kullen, B. J., Jarry, R. L. Tritium and noble gas fission products in the nuclear fuel cycle // I. Reactors. ANL-8102, 1974.
7. Tritium in the Environment // NCRP No. 62. / National Council on Radiation Protection and Measurements. – 1979. – 78 p.
8. Баталин, Ю. Модель переноса трития в окружающую среду персоналом ядерных объектов / Ю. Баталин, А. Кречетова // Journal of environmental engineering and landscape management. – 2004. – Issue. 1. – Vol. XII. – С. 25–30.
9. Субботин, С. Б. Выявление путей миграции техногенных радионуклидов за пределы испытательной площадки «Балапан» / С. Б. Субботин, С. Н. Лукашенко [и др.]. // [Сборник трудов Института радиационной безопасности и экологии за 2010 г.] / под рук. Лукашенко С.Н. – Вып. 3. – Павлодар: Дом печати, 2011. – С. 161–233
10. Актаев, М. Р., Айдарханов, А. О. и др. Определение источников формирования загрязненных подземных вод площадки «Балапан» на Семипалатинском испытательном полигоне / М. Р. Актаев, А. О. Айдарханов, О. Н. Ляхова, С. Н. Лукашенко // Материалы V Междунар. конф. «Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека». – Томск, 2016. – С. 43

ОЦЕНКА ИНДИВИДУАЛИЗИРОВАННЫХ ДОЗ ВНЕШНЕГО ОБЛУЧЕНИЯ ЛИЦ, ПОДВЕРГШИХСЯ ВОЗДЕЙСТВИЮ РАДИАЦИИ ВСЛЕДСТВИЕ КАТАСТРОФЫ НА ЧАЭС

INDIVIDUALIZED EXTERNAL DOSE ASSESSMENT IN PERSONS AFFECTED AFTER THE CHERNOBYL ACCIDENT

А. Н. Матарас, Л. Н. Эвентова, Н. Г. Власова

A. Mataras, L. Eventova, N. Vlasova

Республиканский научно-практический центр радиационной медицины и экологии человека,

г. Гомель, Республика Беларусь

natalie_vlasova@mail.ru

The Republican Research Centre for Radiation Medicine and Human Ecology,

Gomel, Republic of Belarus

Основой методического подхода оценки индивидуализированных доз внешнего облучения лиц, подвергшихся воздействию радиации вследствие катастрофы на ЧАЭС, являются установленные гендерные и возрастные закономерности формирования дозы внешнего облучения индивида. Выявлены семь половозрастных групп, значительно различающиеся по среднему значению дозы внешнего облучения. Установле-

на связь средней дозы внешнего облучения половозрастной группы со средней дозой внешнего облучения в населенном пункте, выраженная в «коэффициенте индивидуализации», значения которого определены для каждой половозрастной группы. Проведена апробация методического подхода оценки индивидуализированной дозы внешнего облучения. Различие между расчетной и инструментально измеренной дозой внешнего облучения составляет в среднем 21 %.

The basis of the methodical approach to individualized external dose assessment of persons affected in the result of the Chernobyl accident are the revealed gender and age peculiarities in external dose formation. Seven age-gender groups had been identified. The average external doses in these groups significantly differ. Relationship between average external dose of the age-gender groups and such one of a settlement had been revealed. It was expressed in the so-called «coefficient of individualization». Its values had been calculated for each age-gender group. Approval of the method had been conducted. The difference between calculated and instrumentally measured external dose was on average 21 %.

Ключевые слова: доза внешнего облучения, термо-люминесцентная дозиметрия, половозрастная группа, «коэффициент индивидуализации».

Keywords: external dose, thermoluminescent dosimetry, age-gender group, «coefficient of individualization».

Для проведения радиационно-эпидемиологических исследований по установлению зависимости «доза-эффект» необходимо знание индивидуальных накопленных с момента аварии на ЧАЭС доз облучения. В идеале корректная оценка накопленной индивидуальной дозы внешнего облучения может быть выполнена, если имеется достаточная информация по дозам внешнего облучения, полученная по результатам индивидуального дозиметрического контроля (ИДК). Но в действительности такой информации недостаточно, поэтому разработка методического подхода оценки индивидуальных доз внешнего облучения актуальна.

Как показал анализ существующих методик оценки накопленных доз облучения населения, проживающего на загрязнённой территории, сверхконсервативны и в лучшем случае дают усредненные значения дозы [1–3]. В методических указаниях [1] предлагается реконструировать дозы облучения в соответствии с принадлежностью индивида к одной из четырех видов профессий. В методиках [2; 3], индивиду приписываются средние по населенному пункту накопленные дозы облучения для возрастных групп населения, рекомендованных МКРЗ в 1990 г. [4]. Возрастные группы, рекомендованные МКРЗ, сформированы по усредненным антропометрическим данным и с тех пор не пересматривались.

Основным инструментом для проведения радиационно-эпидемиологических исследований является Государственный регистр лиц, подвергшихся воздействию радиации вследствие катастрофы на Чернобыльской АЭС (Госрегистр) [5]. Из 280 тыс. лиц, включенных в Госрегистр, лишь у единиц имеются разрозненные сведения о годовых дозах внешнего облучения. Эти данные не могут служить основой для радиационно-эпидемиологических исследований. Для лиц, включенных в Госрегистр, необходимо реконструировать индивидуализированные дозы внешнего облучения, накопленные с момента Чернобыльской аварии. Это обусловило необходимость разработать методический подход для оценки индивидуализированных доз внешнего облучения. Данную задачу можно решить, изучив закономерности формирования доз внешнего облучения.

Доза внешнего облучения зависит не только от плотности загрязнения радионуклидами территории проживания и жизнедеятельности индивида, но и от социально-обусловленного поведения человека, от его личностных характеристик.

Так как в Госрегистре содержатся сведения о поле и возрасте лиц, исследовали зависимость дозы внешнего облучения от гендерных и возрастных характеристик жителей районов, загрязненных радионуклидами вследствие аварии на ЧАЭС.

Цель исследования – выявить закономерности формирования дозы внешнего облучения с учетом личностных характеристик человека – пола и возраста, на основе которых разработать методический подход оценки индивидуализированной дозы внешнего облучения лиц, подвергшихся воздействию радиации вследствие катастрофы на Чернобыльской АЭС.

В исследовании использованы данные ИДК жителей населенных пунктов Гомельской обл., полученные методом термолюминесцентной дозиметрии сотрудниками Гомельского областного центра гигиены, эпидемиологии и общественного здоровья за период 1988–1991 гг. Объем использованных в настоящем исследовании данных ИДК у жителей 246 населенных пунктов 12 районов Гомельской обл. за 1988 г. и 1990–1991 гг. составил более 15 тыс. измерений.

Для выявления статистически значимых различий в дозах внешнего облучения у мужчин и женщин и различий по возрасту следует объединить данные ИДК за весь период в одну выборку. Для корректности объединения данные индивидуальных годовых доз внешнего облучения жителей пронормировали на плотность загрязнения цезием-137 территории соответствующего населенного пункта по «Базе данных плотностей загрязнения территорий населенных пунктов Республики Беларусь радионуклидами цезия, стронция и плутония по состоянию на 1986 год», сформированной в ГУ «РНПЦ РМ и ЭЧ», рег. свид-во № 58709000639 от 20.05.09 г.

Статистический анализ данных проводили методами прикладной статистики: непараметрические критерии сравнения выборок и их распределений (критерии Колмогорова–Смирнова, ранговый дисперсионный анализ Краскела–Уоллиса).

Обработка данных проводилась с использованием СУБД Microsoft Access и программного пакета для статистического анализа Statistica 8.0.

Первый этап состоял в исследовании гендерных различий в формировании дозы внешнего облучения. Основываясь на результатах теста Колмогорова–Смирнова для двух независимых выборок можно утверждать, что дозы внешнего облучения мужчин и женщин подчиняются законам логнормального распределения, а их распределения различаются с высоким уровнем значимости как для всего исследуемого временного интервала, так и по каждому году в отдельности.

На втором этапе исследовали возрастные различия в формировании дозы внешнего облучения – в выборках, различающихся по полу, выявлены пять возрастных групп. Парное тестирование всех возрастных групп показало, что у детей и подростков в возрасте до 18 лет гендерных различий в средних дозах внешнего облучения нет, что позволило их объединить в одну группу. Аналогично были объединены женщины двух возрастных групп 19–40 и 46–54 лет, и мужчины 19–54 и 60–64 лет. Средние дозы внешнего облучения половозрастных групп представлены в табл. 1.

Таблица 1 – Средние нормированные дозы внешнего облучения половозрастных групп

Половозрастная группа	Пол	Возраст, лет	Средняя нормированная доза внешнего облучения, $(\text{мЗв}\cdot\text{год}^{-1}/\text{кБк}\cdot\text{м}^{-2})\cdot 10^{-3}$
I	Мальчики, девочки	0–18	5,92±0,11
II	Мужчины	19–54, 60–64	8,73±0,11
III	Женщины	19–40, 46–54	7,78±0,14
IV	Мужчины	55–59	10,41±0,35
V	Женщины	41–45	9,62±0,27
VI	Мужчины	≥65	7,65±0,27
VII	Женщины	≥55	7,22±0,11

Среди образованных групп выделяются: группа IV и V, у которых доза внешнего облучения выше среднего значения всей выборки на 35 % и 24 %, соответственно.

Различия в средних дозах внешнего облучения выявленных половозрастных групп наглядно представлены на рис. 1.

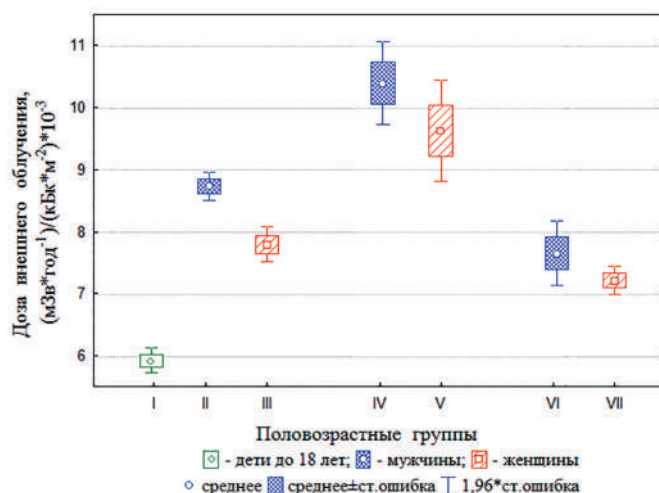


Рисунок 1 – Распределение возрастных групп мужчин и женщин по средней дозе внешнего облучения

На основе выявленных закономерностей формирования дозы внешнего облучения рассчитан «коэффициент индивидуализации», который представляет собой отношение средней дозы внешнего облучения половозрастной группы к средней дозе всей выборки в целом. Значения «коэффициента индивидуализации» для каждой половозрастной группы представлены в табл. 2.

Таблица 2 – Значения «коэффициента индивидуализации»

Половозрастная группа	«Коэффициент индивидуализации», отн. ед.
I	0,77±0,01
II	1,13±0,02
III	1,01±0,02
IV	1,35±0,04
V	1,24±0,05
VI	0,99±0,03
VII	0,93±0,02

Значения «коэффициента индивидуализации» максимальные у групп IV и V, минимальное – у группы I. «Коэффициент индивидуализации» близок к единице: доза внешнего облучения близка к среднему значению в населенном пункте, для группы III и группы VI.

Методический подход оценки индивидуализированной дозы внешнего облучения основан на выявленных гендерных и возрастных закономерностях формирования дозы внешнего облучения. Индивидуализированная доза внешнего облучения определяется произведением «коэффициента индивидуализации» соответствующей половозрастной группы и средней дозы внешнего облучения в населенном пункте проживания человека. Среднее значение дозы внешнего облучения в населенном пункте рассчитывают по данным ИДК или, в случае их отсутствия, по методическим документам соответствующего временного периода [6–9].

Была проведена верификация предлагаемого методического подхода. Рассчитаны индивидуализированные дозы внешнего облучения 30 жителей различных населенных пунктов, находящихся на территориях с плотностью загрязнения цезием-137 от 405 до 878 кБк/м², Кормянского, Ветковского и Брагинского р-нов Гомельской обл., у которых имеются данные об инструментально измеренных дозах внешнего облучения в 1993 г. и не вошедшие в выборку для разработки предлагаемого метода. Сравнительный анализ индивидуальных доз внешнего облучения, полученных по результатам ИДК и рассчитанных по предлагаемому методическому подходу, показал, что различия между ними составили в среднем 21 %.

В результате проведенного исследования установлены значимые различия в формировании дозы внешнего облучения по полу и возрасту. Выявлено семь половозрастных групп с высокой степенью достоверности, различающихся по среднему значению дозы внешнего облучения. Установлена связь среднего значения дозы внешнего облучения половозрастной группы со средним в населенном пункте, выраженная «коэффициентом индивидуализации». Для каждой из групп рассчитано значение «коэффициента индивидуализации».

Предложен методический подход оценки индивидуализированной дозы внешнего облучения лиц, подвергшихся воздействию радиации вследствие катастрофы на ЧАЭС и за весь послеаварийный период, основой которого являются выявленные гендерные и возрастные закономерности формирования дозы внешнего облучения человека.

Апробация методического подхода показала, что реконструированная среднегодовая доза внешнего облучения отличается от инструментально измеренной примерно на 21 %.

В плане развития методического подхода оценки индивидуализированной дозы внешнего облучения целесообразно учитывать профессию человека, но, к сожалению, в Госрегистре такая информация отсутствует.

ЛИТЕРАТУРА

1. Оценка поглощённой дозы внешнего и внутреннего гамма-излучения для лиц, включенных в Белорусский государственный регистр: метод. указ. – Минск, 1993. – 15 с.
2. Реконструкция среднегрупповых и коллективных накопленных доз облучения жителей населенных пунктов Беларуси, подвергшихся радиоактивному загрязнению в результате аварии на ЧАЭС: метод. указ. / В. Ф. Миненко, С. С. Третьякевич, С. В. Трофимик, Т. С. Кухта. – Минск, 2002. – 24 с.
3. Реконструкция средней (индивидуализированной) накопленной в 1986–1995 гг. эффективной дозы облучения жителей населенных пунктов Российской Федерации, подвергшихся радиоактивному загрязнению вследствие аварии на Чернобыльской АЭС в 1986 году: метод. указ. 2.6.1.2004-05 (Дополнение № 2 к МУ 2.6.1.579-96). – Москва, 2005. – 28 с.
4. Age-dependent Doses to Members of the Public from Intake of Radionuclides: Part I: A report of Task Group of Committee 2 of the International Commission on Radiological Protection. Publication 56. International Commission on Radiological Protection. – Oxford: Pergamon Press, 1990. –122 p.
5. О создании Белорусского государственного регистра лиц, подвергшихся воздействию радиации вследствие катастрофы на ЧАЭС: постановление Совета Министров Республики Беларусь № 283 05.05.93 г. – Минск, 1993. – 6 с.
6. Методические основы прогноза уровней облучения населения от радиоизотопов цезия при постоянном проживании на территориях, загрязненных в результате аварии на ЧАЭС / Г. М. Аветисов, Р. М. Бархударов, М. Н. Савкин, И. А. Лихтарев и др. – Москва, 1988. – 22 с.
7. Определение годовых суммарных эквивалентных доз облучения населения для контролируемых районов РСФСР, УССР, БССР, подвергшихся радиоактивному загрязнению в результате аварии на Чернобыльской АЭС: метод. указ. – Москва, 1991. – 16 с.
8. Методика определения величины среднегодовых эффективных доз облучения населения, проживающего на территориях, загрязненных радионуклидами вследствие чернобыльской катастрофы. – Инструкция по применению: утв. 12.03.2004 г., Рег. № 22-0304. – Гомель, 2004. – 12 с.
9. Оценка средней годовой эффективной дозы облучения жителей населенных пунктов, расположенных на территории радиоактивного загрязнения Республики Беларусь, для целей зонирования. Инструкция по применению: утв. 27.06.2008 г., Рег. № 044-0508. – Гомель, 2008. –16 с.

РАДИАЦИОННО-ГИГИЕНИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ НА ОБЪЕКТАХ УРАНОВОГО НАСЛЕДИЯ СЕВЕРНОГО ТАДЖИКИСТАНА

RADIATION AND HYGIENIC MONITORING AT THE FACILITIES OF URANIUM LEGACY SITES OF TAJIKISTAN

*У. М. Мирсаидов¹, М. З. Ахмедов¹, М. М. Махмудова², Ш. Г. Шосафарова¹
U. Mirsaidov¹, M. Akhmedov¹, M. Mahmudova², Sh. Shosafarova¹*

¹Агентство по ядерной и радиационной безопасности Академии наук Республики Таджикистан,
г. Душанбе, Республика Таджикистан

²Таджикский государственный медицинский университет им. Абуали ибн Сино,
г. Душанбе, Республика Таджикистан
info@nrta.tj

¹Nuclear and Radiation Safety Agency of Academy of Science of the Republic of Tajikistan,
Dushanbe, Republic of Tajikistan

²Avicenna Tajik State Medical University, Dushanbe, Republic of Tajikistan

Разработаны стандарты мониторинга, система мониторинга, которая включает анализ почвы, воздуха, воды и растений. Даны оценки потенциальной радиационной опасности площадок уранового наследия для населения г. Истиклол (бывший г. Табошар) и г. Бустон, пос. Дигмай.

Standards for monitoring and a monitoring system have been developed, that includes analysis of soil, air, water and plants. Given assessment of the potential radiation safety of the uranium legacy sites for the population of the Istiklol city (former Taboshar city), city Buston and the village Digmai.

Ключевые слова: мониторинг, радиационная опасность, площадка наследия, оценка, показатели рождаемости.

Keywords: monitoring, radiation safety, legacy sites, assessment, birth rates.

Республика Таджикистан была одной из основных поставщиков по добыче и переработке урановых руд в бывшем СССР. После его распада разработка месторождений ураносодержащих руд в Таджикистане была полностью прекращена. В настоящее время многие территории и места накопления отходов урановой промышленности (хвостохранилища) приобрели статус «площадок уранового наследия». Территория уранового наследия Таджикистана имеет разнообразные виды и включает: площадки хвостохранилищ, отвалы пустых пород и забалансовых руд, карьеры, отходы от кучного выщелачивания (Фабрика бедных руд) и т. д. Кроме того, в Таджикистане имеются шахты, штольни, из которых вытекают ураносодержащие технические воды с содержанием урана 20–60 мг/л.

Сотрудники Агентства по ядерной и радиационной безопасности АН Республики Таджикистан, наряду с процессом регулирования и в качестве регулирующего органа страны по радиационной безопасности, проводят совместно с ГУП «Таджикредмет» мониторинг объектов уранового наследия. Разработаны стандарты мониторинга, система мониторинга, которая включает анализ почвы, воздуха, воды и растений. Даны оценки потенциальной радиационной опасности площадок уранового наследия для населения г. Истиклол (бывший г. Табошар) и пос. Дигмай.

Выполнены работы по измерению мощности дозы гамма-излучения, объёмной активности радона в жилых и общественных зданиях. Составлены радиоэкологические карты территорий, которые находятся вблизи хвостохранилищ. Было установлено, что суммарные эффективные годовые дозы облучения населения в Согдийской области Таджикистана находятся в пределах 3,2–4,2 мЗв/год. В районах хвостохранилищ данные дозы за счет отходов являются более высокими и составляют 9,5–11,5 мЗв/год.

Измерены мощности эквивалентной дозы (МЭД) и концентрации радона на территории Согдийской области Республики Таджикистан (север Таджикистана). Отмечено, что наиболее высокие значения МЭД, более 0,35–0,40 мкЗв/ч, соответствуют расположениям радиоактивных хвостохранилищ и прилегающих к ним территорий.

В некоторых районах северного Таджикистана наблюдается повышенный радиационный фон. Эти районы находятся вблизи радиоактивных хвостохранилищ и отвалов бывших уранодобывающих предприятий СССР. Поверхности некоторых хвостохранилищ, особенно тех, которые не имеют защитных покрытий – Дигмай, Фабрика бедных руд представляют определённую угрозу для окружающей среды и населения, проживающего вблизи указанных объектов, хотя хвостохранилища считаются низкоактивными.

Для изучения радиологической обстановки на территории Северного Таджикистана были проведены радиометрические съёмки территорий (более 1000 замеров) переносными приборами типа: дозиметр RackEye (FHT 1377), дозиметр-радиометр ДКС-96, спектрометр Inspector-1000, дозиметр ДКС-АТ 1123, а измерение радона в воздухе и в воде – с помощью радиометра радона (марки РРА-01М-03) с использованием пробоотборника (типа ПОУ-04). В ходе мониторинга также был использован прибор рН-метр (марки Eijkelkamp 18.28) для определения рН водной среды.

Использованные переносные приборы отвечают требованиям работы в полевых и экспедиционных условиях. Радиационная съемка велась пешим способом, шагом по 20 м по всем изученным территориям.

Среднеарифметическая величина МЭД в исследованных территориях составляет 0,18 мкЗв/ч, что совпадает с естественным радиоактивным фоном и существенной опасности для населения не представляет. Однако имеются некоторые амплитудные «всплески» в местностях (Хамробод и Мирзоробот), где значение МЭД достигает до 0,23 мкЗв/ч. Превышение МЭД в названных местностях от среднеарифметического радиационного фона связано с привносными материалами из южных склонов Кураминских гор за геологические периоды по руслу Уткенсу и Сарым-Сахли-Сай, где имеются крупнейшие месторождения радиоактивных материалов.

По данным измерений МЭД и гамма-излучения на поверхности хвостохранилищ в их существующем состоянии, установлено следующее:

Хвостохранилище I-II очереди (г. Истиклол). Максимальное значение МЭД составляет 0,78 мкЗв/ч при среднем значении 0,68 мкЗв/ч (естественный радиационный фон приблизительно 0,20 мкЗв/ч). Контур арела загрязнения прилегающей территории практически совпадает с контуром хвостохранилища, и только на восточном борту отмечается вынос радиоактивного материала за пределы хвостохранилища. Причиной этого является ветровой вынос пылевых частиц с поверхности хвостохранилища до его консервации.

Хвостохранилище III очереди (г. Истиклол). Значения МЭД на поверхности достигают 0,88 мкЗв/ч, при среднем значении 0,76 мкЗв/ч. Практически на всей территории хвостохранилища значения МЭД превышают 0,70 мкЗв/ч. Отмечается вынос радиоактивного материала за границы хвостохранилища, вызванный климатическими факторами (осадки, ветер). Контур загрязнения прилегающей территории сформировался до консервации хвостохранилища.

Хвостохранилище IV очереди (г. Истиклол). Максимальные значения МЭД на поверхности хвостохранилища достигают 0,98 мкЗв/ч при среднем значении 0,77 мкЗв/ч. На всей поверхности хвостохранилища значения МЭД превышают 0,50 мкЗв/ч. На восточном и западном бортах имеет место вынос радиоактивного материала за пределы территории хвостохранилища. Как и на хвостохранилищах I-II очереди, формирование арела радиоактивного загрязнения прилегающей территории происходило за счет пылевого выноса радиоактивного материала с поверхности хвостохранилища до его консервации.

Хвостохранилище Дигмай. Самые высокие концентрации радона (выше 800 Бк/м³) были измерены на нескольких (открытых) точках хвостохранилища. Повышенные концентрации радона вносят существенный вклад при расчете нагрузки доз по радону и его короткоживущих радиоактивных продуктов распада. Дополнением к нагрузке доз по радону являются его долгоживущие дочерние продукты распада, такие, как ²¹⁰Po, и ²¹⁰Pb, связанные с частицами пыли. В ветровую погоду они разносятся не только по территории хвостохранилища, но и достигают населенных пунктов, расположенных вокруг него.

Проведены исследования радиологической обстановки на территории северного Таджикистана, и по результатам измерений составлена радиологическая карта северного Таджикистана.

Анализ результатов показал, что наиболее высокорadioактивные территории северного Таджикистана со значением МЭД > 0,35–0,40 мкЗв/ч соответствуют координатам расположения радиоактивных хвостохранилищ и прилегающих к ним территорий. Средний радиационный фон вокруг хвостохранилищ и над ними в 6–8 раз превышает естественный радиационный фон и составляет от 0,9 до 1,2 мкЗв/ч.

Составленная информативная радиологическая карта северного Таджикистана имеет народнохозяйственное значение, которая может быть использована министерствами и ведомствами при разработке планов социально-экономического развития территорий, проведении оценок воздействия окружающей среды, а также может использоваться экологами и другими общественными организациями.

В рамках и в процессе составления радиологической карты северного Таджикистана исследовано состояние здоровья населения, проживающего вблизи хвостохранилищ. Как показывают статистические данные, некоторые показатели состояния здоровья населения северного Таджикистана хуже, чем аналогичные показатели здоровья населения других регионов. В частности, отмечены низкие показатели рождаемости и высокие показатели смертности населения, высокие показатели младенческой смертности, заболевания крови, органов дыхания, пищеварения.

В городах и посёлках северного Таджикистана вблизи хвостохранилищ (гг. Истиклол, Бустон, пос. Адрасман, Дигмай) по сравнению со среднестатистическими показателями, показатели рождаемости отличались в сторону снижения, а смертности – наоборот, в сторону повышения. В тех же городах и посёлках, в сравнении со среднереспубликанскими показателями, отмечены высокие показатели заболеваемости населения, в частности, по болезням крови, органов дыхания, эндокринной системы, осложнениями беременности и врожденным аномалиям среди новорожденных.

С учетом различных радиационных факторов рассчитаны годовые дозы облучения населения, проживающего в ближайших от хвостохранилищ населенных пунктах. Ниже приводится оценка радиационной опасности для г. Истиклол.

Установлено, что удельная активность радионуклидов урана и радия в хвостовом материале варьируют: 1405–2140 Бк/кг, 5935–9843 Бк/кг, соответственно. По результатам мониторинга мощности AMBIENTНОГО эквивалента дозы гамма-излучения и объёмной активности радона на объектах г. Истиклол установлено, что мощность AMBIENTНОГО эквивалента дозы гамма-излучения находится в пределах 0,52–1,78 мкЗв/ч, а объёмная активность радона в воздухе – от 20 до 45 Бк/м³.

Показано, что концентрация радона в воздухе над поверхностью хвостохранилищ является невысокой. Однако эксхалиция радона с поверхности почвы всех обследованных хвостохранилищ выше норматива (1 Бк/(м²/с). Результаты измерений объёмной активности радона в воздухе жилых зданий и объектов, находящихся на территории г. Истиклол, показали, что значение объёмной активности радона находится в пределах 44–195 Бк/м³. Высокое значение объёмной активности радона отмечается на бывшем полуразрушенном заводе (1319 Бк/м³). Гамма- и альфа-спектрометрическими исследованиями выявлены средние значения удельной активности урана и радия в почвах для хвостохранилищ и карьера г. Истиклол: ²³⁴U – 65 365 Бк/кг, ²³⁸U – 50 295 Бк/кг, ²²⁶Ra – 3800 Бк/кг. Для оценки доз облучения населения по водному пути принимались средние значения объёмной активности ²³⁴U, ²³⁸U, ²²⁶Ra в водах. Максимальные значения объёмной активности радионуклидов наблюдались в пробах дренажных вод, Бк/м³: ²³⁴U – 530 000, ²³⁸U – 390 000, ²²⁶Ra – 185.

Основной вклад в дополнительную дозу облучения, получаемую населением, проживающим вблизи радиоактивных хвостохранилищ, вносит внешнее облучение во время пребывания на территории зон, где находятся отходы урановой промышленности и внешнее облучение за счет употребления частично загрязнённых продуктов. Кроме того, использованием методов диагностики и лечения также является источником облучения населения.

Наряду с проведением радиационно-гигиенического исследования, выполнен анализ заболеваемости злокачественных новообразований населения районов и городов, расположенных недалеко от хвостохранилищ. Кроме того, дан сравнительный анализ с контрольными, более благоприятными районами. Отмечаются низкие показатели рождаемости и высокие показатели младенческой смертности, заболеваний крови, органов дыхания, пищеварения.

Радиационный контроль и изучение воздействия на организм радионуклидов, содержащихся в хвостохранилищах и отвалах рудных пород, требует новых подходов к реабилитации как территорий, так и состояния здоровья населения.

Организация мониторинга должна быть определена на этапе начала проведения рекультивационных работ и продолжена в пострекультивационном периоде с учётом места расположения объекта наследия. Научной основой радиационного мониторинга являются экспериментальные исследования физико-химических свойств контролируемых радионуклидов, позволяющие прогнозировать их сорбционную и миграционную активность в экосистемах.

Объём контроля и мониторинга должны быть достаточными для решения следующих задач:

- определение степени соблюдения принципов радиационной безопасности;
- получение необходимой информации о динамике влияния источников загрязнения на окружающую среду.

Для успешного проведения рекультивационных работ необходимо разработать нормативно-технические документы и количественные радиационно-гигиенические критерии.

В настоящее время в Таджикистане разработаны и идёт разработка новых документов, среди них Законы Республики Таджикистан:

- «Об обращении с радиоактивными отходами» (июнь 2013);
- «О лицензировании отдельных видов деятельности» (2009);
- «Об использовании атомной энергии» (2004)
- «О радиационной безопасности» (2003).

На основании Закона РТ «Об обращении с радиоактивными отходами разработаны:

- «Правила обращения с радиоактивными отходами»;
- «Правила мониторинга при и после рекультивации»;
- Требования и условия безопасности при выводе из эксплуатации урановых объектов путём ликвидации, консервации или репрофилирования;
- Руководство по инспектированию объектов при их выводе из эксплуатации.

Часть проблем регулирования при рекультивационных работах предполагается реализовать в рамках программ СНГ и Евросоюза. Рассматривается гармонизация национальных законодательств и нормативных документов в области обеспечения радиационной безопасности при рекультивационных работах.

В Республике Таджикистан принята Национальная Концепция по реабилитации хвостохранилищ отходов переработки урановых руд (2014–2024 гг.).

Стратегическими целями концепции являются:

- обеспечение безопасности проживания населения и охрана окружающей среды в зоне влияния объектов наследия уранового производства;
- создание условий устойчивого развития районов размещения объектов наследия;
- развитие и адаптация законодательной и нормативной базы управления безопасностью и реабилитацией объектов уранового наследия;
- развитие технической инфраструктуры подразделений и кадрового потенциала оператора и регулятора для эффективного осуществления своих функций;
- развитие социально-экономических условий проживания населения на территориях зоны влияния объектов бывшего уранового производства;
- создание условий привлечения международных инвестиций поддержки программ реабилитационной деятельности.

В 2018 г. усилиями Правительства Республики Таджикистан при поддержке доноров (СНГ, ЕС) проведено технико-экономическое обоснование хвостохранилищ и начаты работы по рекультивации).

В 2019 г. намечается проведение непосредственно рекультивационных работ в г. Истиклол и пос. Дигмай. В процессе проведения рекультивационных работ для реагирования на изменение радиационной обстановки и организации мер защиты населения необходима организация радиационного мониторинга. В систему мониторинга включён контроль параметров радиационно-гигиенической обстановки и доз облучения населения, проживающего в районах, где будут проводиться рекультивационные работы.

БЛОК ДЕТЕКТИРОВАНИЯ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ НА ОСНОВЕ ПЛАСТИЧЕСКОГО СЦИНТИЛЛЯТОРА И SiPM DETECTOR OF CHARGED PARTICLES BASED ON PLASTIC SCINTILLATOR AND SiPM

В. А. Михайлов, Г. Я. Новиков, И. Ф. Емельянчик
V. Mikhaylov, G. Novikov, I. Emelianchik

Институт ядерных проблем БГУ, г. Минск, Республика Беларусь
vit_mik@hep.by
Institute for nuclear problems BSU, Minsk, Republic of Belarus

Разработан прототип канала регистрации мюонов и других заряженных частиц, дополняющий мюонную систему с двухкоординатными дрейфовыми трубками, разрабатываемую для новых проектов по физике частиц и высоких энергий. Устройство может быть использовано в целях радиационного контроля потока заряженных частиц. Отличительной особенностью блока детектирования являются отсутствие фотоэлектронного умножителя и применение специализированной интегральной микросхемы усилителя-дискриминатора. Канал состоит из: 1) детектора на основе пластического сцинтиллятора SCSN-81 производства Kurarai CO, LTD; 2) многопиксельного лавинного фотодиода (SiPM – Silicon Photo Multiplier) S13360-1375PE производства Hamamatsu Photonics; 3) 8-канальной интегральной микросхемы (ИМС) трансимпедансного усилителя-дискриминатора AD-8.41, изготовленного на ОАО «Интеграл» (г. Минск).

A prototype channel for muons registration and other charged particles has been developed. The channel complements the muon system with two-coordinate drift tubes, which is being developed for new projects in particle and high energies physics. The device can be used for the radiation control of the flow of charged particles. A distinctive feature of the detector is the absence of a photomultiplier tube and the use of a specialized integrated circuit amplifier-discriminator. The channel consists of a SCSN-81 plastic scintillator based on detector manufactured by Kurarai CO, LTD, a multi-pixel avalanche photodiode (SiPM - Silicon Photo Multiplier) S13360-1375PE manufactured by Hamamatsu Photonics, a 8-channel integrated circuit (IC) of a transimpedance amplifier-discriminator AD-8.41 manufactured at JSC “Integral” (Minsk).

Ключевые слова: блок детектирования заряженных частиц, SiPM.

Keywords: detector of charged particles, SiPM.

В ходе выполнения работы была рассмотрена Pspice-модель SiPM, которая, по литературным источникам [1], хорошо описывает его поведение при работе в режиме счета фотонов.

Эквивалентная электрическая схема SiPM является источником тока, генерирующим δ -функцию, амплитудой, которая соответствует заряду кратному количеству электронов на выходе фотоприемника при регистрации 1, 2, ... n фотонов (фотоэлектронов). В таком виде эквивалентная электрическая схема лавинного фотодиода, представленная на рис. 1, позволяет описать форму импульса на выходе фотоприемника при регистрации заряженной частицы в пластическом сцинтилляторе.

На рис. 2 представлены результаты моделирования электрических сигналов на входе осциллографа при регистрации 1, 2, и 4-х фотоэлектронов.

Разработанная эквивалентная схема хорошо согласуется с данными, предоставленными производителем SiPM S13360-1375PE [2]. Данная модель использовалась в дальнейшем при выборе оптимального усилителя путем компьютерного моделирования в Pspice.

Выполненное моделирование в Pspice различных усилительных структур для SiPM S13360-1375PE позволило выработать требования к электрическим характеристикам ИМС усилителя. Усилитель-дискриминатор AD-8.41 спроектирован на основе схемотехнических решений дискриминатора DISC-8.15 [3]. СхЭП усилителя-дискриминатора, получившего название AD-8.41, представлена на рис. 4. В ней к входам дискриминатора добавлены каскады усиления по напряжению, выполненные по схеме ОБ для повышения чувствительности схемы. В результате удалось добиться регистрации одноэлектронных сигналов от SiPM. Следует заметить, что схема способна

также обрабатывать сигналы от других детекторов ионизирующего излучения, например, пропорциональных газонаполненных детекторов, что обеспечивается высоким усилением дискриминатора как усилителя с разомкнутой петлей обратной связи. Выходные сигналы, полученные в результате моделирования приведены на рис. 5 (при входных сигналах, соответствующих импульсам от 1, 2, и 4 фотоэлектронов).

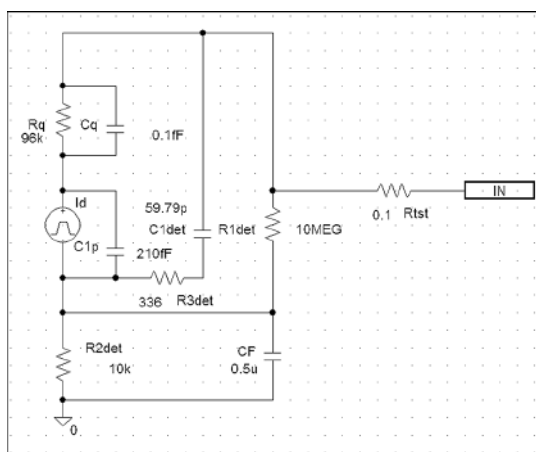


Рисунок 1 – Эквивалентная электрическая схема SiPM S13360-1375PE

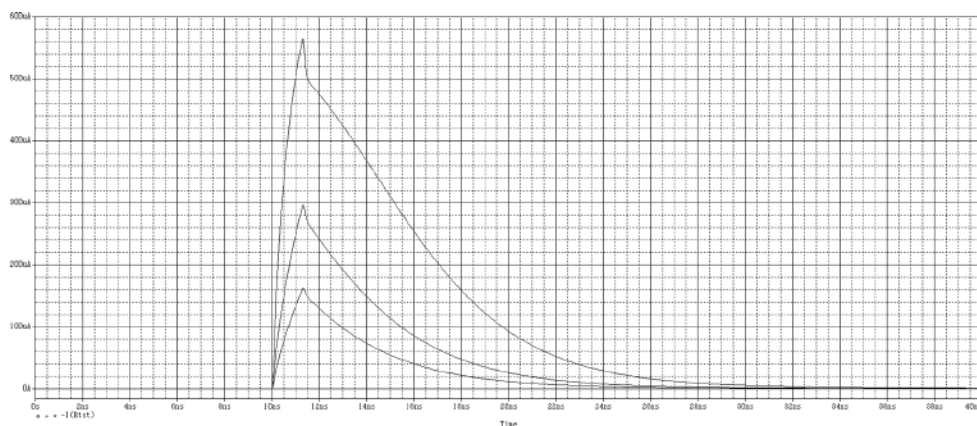


Рисунок 2 – Электрические сигналы на входе осциллографа при регистрации 1, 2 и 4 фотоэлектронов

Для подтверждения результатов моделирования был создан прототип блока детектирования на основе оптико-электронного канала регистрации заряженных частиц. В прототипе использовался сцинтиллятор SCSN-81 производства Kugaгаi, максимум спектральной характеристики излучения которого составляет 445 нм и хорошо согласуется со спектральной характеристикой фотоприемника. Функциональная схема блока детектирования представлена на рис. 3.

Для проверки работоспособности детектирования была снята счетная характеристика от источника электронов на основе изотопа Sr^{90} . Полученные результаты показаны на рис. 6.



Рисунок 3 – Функциональная схема блока детектирования

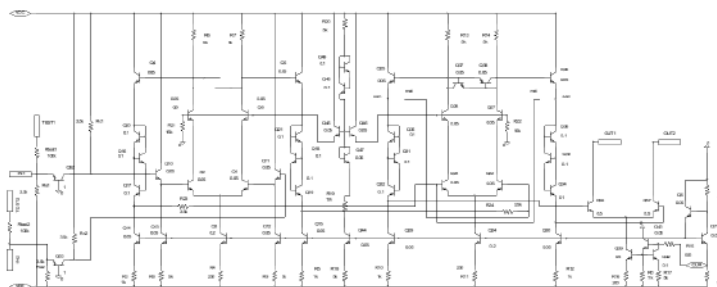


Рисунок 4 – СхЭП ИМС AD-8.41

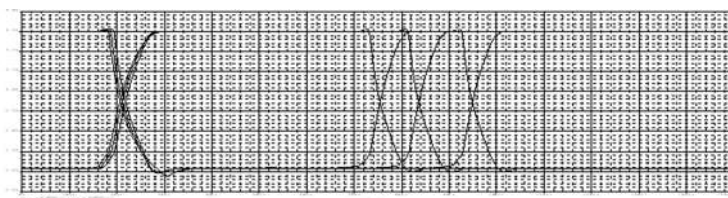


Рисунок 5 – Напряжение на выходе усилителя-дискриминатора

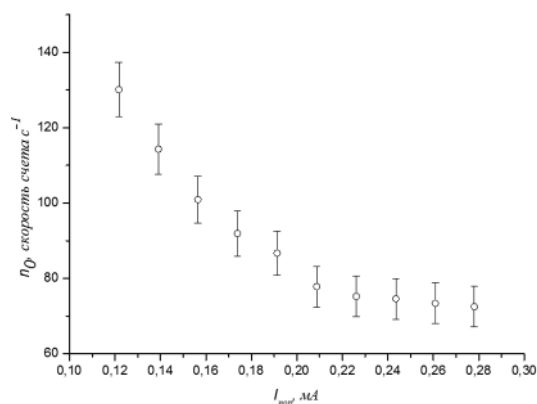


Рисунок 6 – График зависимости скорости счета блока детектирования от порога дискриминации

ЛИТЕРАТУРА

1. Corsi, F. et al. Modeling a silicon photomultiplier (SiPM) as a signal source for optimum front-end design Nucl. Instr. and Meth. – 2007. – No. 572. – P. 416–418.
2. S13360 series MMPC® <http://www.hamamatsu.com>
3. Алексеев, Г. Д., Батурицкий, М. А., Дворников, О. В., Михайлов, В. А., Солин, А. А., Солин, А. В., Терехов, Г. С. Комплект восьмиканальных ИМС транзистивных усилителей Ampl-8.12 — Ampl-8.15 и компаратора Disc-8.15 для годоскопических систем // Тезисы докладов Четвертой международной конференции «Инженерия сцинтилляционных материалов и радиационные технологии» – ИСМАРТ-2014, 12–16 окт. 2014 г. – Минск, 2014. – С. 15–16.

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЯДЕРНОЙ И РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ОБРАЩЕНИИ С ОТРАБОТАВШИМ ЯДЕРНЫМ ТОПЛИВОМ

ENSURING NUCLEAR AND RADIATION SAFETY UNDER MANAGEMENT OF SPENT NUCLEAR FUEL

О. Э. Муратов

O. Muratov

Общественный совет Госкорпорации «Росатом», г. Москва, Российская Федерация
oleg@twell.ru

Public Council of State Corporation "Rosatom", Moscow, Russian Federation

Представлены физико-химические характеристики отработавшего ядерного топлива (ОЯТ) и оценена ядерная и радиационная безопасность на разных стадиях обращения с ним. Высокая радиотоксичность ОЯТ в течение длительного времени крайне существенна в долгосрочных стратегиях обращения с ним и определяет стратегии – прямое захоронение или переработка. С другой стороны, ОЯТ содержит редкие и дефицитные элементы, спрос на которые постоянно растет. Согласно рекомендациям МАГАТЭ, переработка ОЯТ? помимо возврата делящихся радионуклидов в топливный цикл и выделения ценных изотопов для применения в различных областях? сокращает объемы образующихся радиоактивных отходов (РАО), не оставляя проблем будущим поколениям.

Physical and chemical characteristics of spent nuclear fuel (SNF) are presented. Nuclear and radiation safety at different stages of management of SNF is evaluated. High radiotoxicity of SNF over a long period of time is essential in long – term management strategies and determines strategies-direct disposal or recycling. On the other

hand, SNF contains rare and scarce elements, the demand for which is constantly growing. According to IAEA recommendations, in addition to the return of fissile radionuclides to the fuel cycle and the release of valuable isotopes for use in various fields, SNF processing reduces the amount of radioactive waste (RW) generated, leaving no problems for future generations.

Ключевые слова: ядерное топливо, радиоактивность, радионуклиды, актиниды, осколки деления, стратегия, захоронение, переработка, контейнеры, хранилища,

Keywords: nuclear fuel, radioactivity, radionuclides, actinides, fission fragments, strategy, disposal, recycling, containers, storage

Отработавшее ядерное топливо (ОЯТ) – это ядерные материалы (ЯМ) и продукты деления, находящиеся в составе облученных тепловыделяющих сборок (ОТВС), после их использования. ОЯТ, содержащее до 98 % общей радиоактивности, вовлеченной в сферу человеческой деятельности, представляет особый вид радиоактивных материалов, подавляющее большинство из которых не существует в природе. Продукты деления ^{235}U содержат около 300 изотопов различных элементов с массовыми числами от 30 до 164 и периодами полураспада от долей секунды до миллионов лет.

В состав ОЯТ помимо невыгоревших ^{235}U и ^{238}U входят образующиеся изотопы актинидов: $^{232,236}\text{U}$, $^{239,240,241,242}\text{Pu}$, $^{241,242,243}\text{Am}$, $^{242,243,244}\text{Cm}$ и ^{237}Np . Многие актиниды способны к спонтанному делению, и наличие в составе ОЯТ спонтанно делящихся изотопов накладывает существенные ограничения на технологии обращения с ОЯТ. Кроме осколков деления и трансурановых элементов, в общую радиоактивность ОЯТ вносят радионуклиды ^{55}Fe , $^{58,60}\text{Co}$, ^{59}Ni и др., которые образуются под действием облучения в конструкционных материалах ТВС.

Радиоактивность плутония, америция, других трансурановых элементов и продуктов деления, на несколько порядков превосходящая активность природных радионуклидов, представляет радиоэкологическую опасность в течение тысячелетий. Следует отметить также высокую токсичность большинства актинидов. Кроме того, ОЯТ содержит в себе плутоний, включенный в основной список ЯМ, подлежащих учёту и контролю в целях нераспространения.

Большие периоды полураспада актинидов и некоторых продуктов деления крайне существенны в долгосрочных стратегиях обращения с ОЯТ. Оставаясь на длительный период высокоактивным материалом (рис. 1), ОЯТ представляют собой источник радиологической опасности для значительной территории как в случае техногенной аварии на хранилище, так и в случае террористической акции.

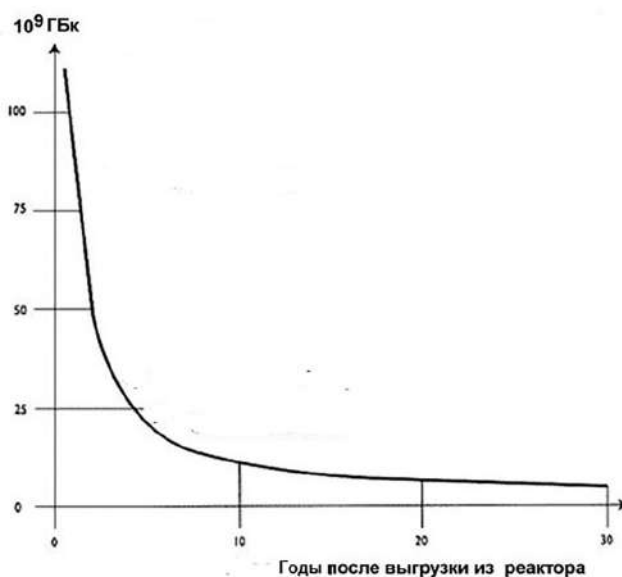


Рисунок 1 – Активность 1 т ОЯТ в течение времени

Поэтому их изоляция от окружающей среды (ОС), помимо сложности технических решений, требует больших финансовых затрат, а любое существенное нарушение в обращении с ОЯТ может привести к экологической катастрофе. Кроме радиоэкологических аспектов обращение с ОЯТ тесно связано с проблемой нераспространения ЯМ.

Обеспечение ядерной и радиационной безопасности при обращении с ОЯТ и его надежная изоляция от ОС являются главными аспектами общей проблемы обращения с ЯМ. Безопасное обращение с ОЯТ – ключевая проблема, от решения которой зависят масштабы развития ядерной энергетики (ЯЭ) и широкое внедрение ядерных и радиационных технологий.

Проблемы безопасного обращения с ЯМ и ОЯТ возникла с началом использования ядерных технологий, однако на начальных этапах их развития ядерные технологии использовались исключительно в военных целях.

Требовались скорейшая наработка оружейных ЯМ, наращивание ядерного потенциала и вопросам обеспечения ядерной и радиационной безопасности (ЯРБ) при обращении с радиоактивными отходами (РАО), ЯМ и ОЯТ не уделялось должного внимания. Недостаток научных знаний также не способствовал исследованию проблем воздействия ядерных технологий на человека и природу.

В начальные годы развития мирной ЯЭ аспекты безопасности и экологических последствий приносились в жертву экономической и политической целесообразности, а проблемы обращения с ОЯТ считались второстепенными, и их решение откладывалось на потом во всех ядерных странах. Проблема обращения с ОЯТ с каждым годом все более обострялась потому, что, во-первых, накапливалась десятилетиями и, во-вторых, ЯЭ стала широко масштабной технологией.

В настоящее время в мире эксплуатируется 449 ядерных энергоблоков, и, при средней наработке от 20 (легководные ВВЭР, PWR, BWR) до 140 т/год (тяжеловодные CANDU), из них ежегодно выгружается ~10,5 тыс. т ОЯТ. На начало 2019 г. в мире остановлено и находится в разных стадиях вывода из эксплуатации 156 ядерных энергоблоков, большая часть ОЯТ которых находится в пристанционных хранилищах, а всего в мире накоплено более 400 тыс. т ОЯТ.

В мире приняты три концепции обращения с ОЯТ [1]:

1. Размещение во временные хранилища (отложенное решение);
2. Переработка.
3. Прямое захоронение.

Мировые практики обращения с ОЯТ и его количества при каждой стратегии приведены на рис. 2.

МАГАТЭ не отдает предпочтений ни одному из указанных способов обращения с ОЯТ и не устанавливает каких-либо норм относительно способов и сроков его хранения. Стратегия обращения с ОЯТ в каждой стране определяется политическими и экономическими аспектами, проблемами гарантий нераспространения и защиты ОС. Стратегия обращения с ОЯТ и количество накопленного ОЯТ в странах с развитой ЯЭ приведены в табл. 1. Необходимо отметить, что ни одна страна в мире не рассматривает длительное наземное хранение ОЯТ как безопасное и долгосрочное (более 100 лет).

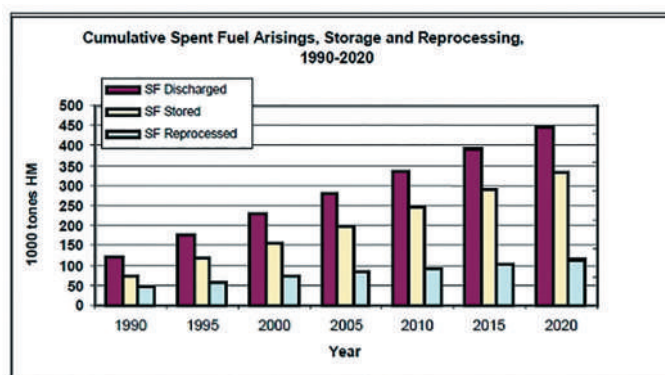


Рисунок 2 – Накопление, хранение и переработка ОЯТ

Таблица 1 – Стратегия обращения с ОЯТ в некоторых странах с развитой ЯЭ

№	Страна	Накоплено ОЯТ, тыс. т	Стратегия обращения с ОЯТ
1	США	105,0	Прямое захоронение
2	Канада	37,3	Прямое захоронение
3	Россия	23,7	Частичная переработка
4	Япония	19,0	Переработка
5	Франция	13,5	Переработка
6	Корея	10,9	Хранение с неопределенным будущим
7	Германия	5,9	Прямое захоронение
8	Великобритания	5,8	Переработка с неопределенным будущим
9	Швеция	5,4	Прямое захоронение
10	Финляндия	1,6	Прямое захоронение

В настоящее время в мире отсутствуют объекты окончательного захоронения ОЯТ. Признано, что могильники ОЯТ должны размещаться в геологических хранилищах на глубинах в несколько сотен метров, а ОЯТ размещаться в специальных контейнерах при контролируемых условиях. Однако во всех рассматриваемых вариантах глубинного геологического захоронения остаются большие неопределенности, связанные с поведением ОЯТ в течение длительного времени.

Среди стран, приверженцев окончательного захоронения ОЯТ, Финляндия является пионером в строительстве долговременных подземных хранилищ для его окончательной изоляции. Могильник для хранения контейнеров с ОЯТ после его выдержки в течение 30 лет в пристанционных хранилищах будут располагаться в скальной

порode на глубине более 500 метров под дном Балтийского моря. Ядерная и радиационная безопасность захороненного ОЯТ обеспечивается несколькими степенями защиты, но разработанная система предусматривает возможность извлечения замурованного глубоко под землей ОЯТ.

Высокая стоимость создания долговременных глубинных хранилищ и неопределенности в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности привели к тому, что проекты создания могильников практически во всех странах, выбравших стратегию прямого захоронения ОЯТ, не вышли за пределы концептуальных решений и предпроектных исследований [2]. Например, в Германии более 30 лет ведутся исследования возможности создания могильника ОЯТ и высокоактивных РАО в различных геологических породах (солевые формации, бывшие железорудные шахты), а в США остановлен проект Юкка Маунтин.

Цель переработки ОЯТ – минимизация его радиационной опасности и выделение полезных веществ дальнейшего использования. Помимо невыгоревшего урана и наработанного плутония продукты деления содержат множество различных широко используемых в медицине, промышленности и науке изотопов, а также большое количество редкоземельных элементов и платиноидов. Радиохимическая переработка ОЯТ обеспечивает возврат делящихся материалов в топливный цикл, фракционирование РАО, их контролируемое хранение и наработку изотопов.

Первоначально радиохимическая технология переработки ОЯТ применялась с целью получения оружейного плутония. Впоследствии Франция и Великобритания развивали производства, в том числе и для нужд мирной ЯЭ. В 1960-х гг. многие страны, развивающие ЯЭ, начали переработку ОЯТ, которая рассматривалась, главным образом, как способ получения урана и плутония для производства нового топлива. Однако непредвиденно высокая стоимость переработки, технические трудности в реализации радиохимической технологии, ужесточение требований к сбросам РАО и невысокая стоимость природного урана приостановили дальнейшие работы и большинство опытных производств были остановлены.

В настоящее время промышленная переработка ОЯТ ведется лишь в пяти странах мира – Франции, Великобритании, России и Индии (табл. 2). Китай планирует ввести в эксплуатацию завод по переработке ОЯТ в 2020 г.

Таблица 2 – Действующие в мире предприятия по переработке ОЯТ

№	Страна	Завод	Год ввода в эксплуатацию	Местоположение	Производительность, т/год
1	Франция	UP-2	1994	Ла-Аг	1000
2	Франция	UP-3	1989	Ла-Аг	1700
3	Великобритания	THORP	1994	Селлафилд	1200
4	Россия	РТ-1	1977	Озерск	400
5	Япония*	Tokai	1981	Токай Мура	100
6	Япония*	Rokkasho	2010	Аомори	800
7	Индия	Trombay	1964		60
8	Индия	PREFRE-1	1974	Тарапур	100
9	Индия	PREFRE-2	1998	Калпаккам	100

Примечание: *Опытный перерабатывающий завод Токай был остановлен после аварии на Фукусиме, опытная эксплуатация завода Rokkasho началась в 2006 г., а его ввод в промышленном масштабе планировалось начать в 2010 г. Все работы были остановлены после аварии на Фукусиме.

Мировые лидеры по переработке ОЯТ используют регенерированный уран и выделенный плутоний для изготовления смешанного уран-плутониевого топлива (МОКС-топливо), которое в настоящее время используется на 33 реакторах в Западной Европе и Японии. На заводах UP-2 и UP-3 перерабатывается не только ОЯТ французских АЭС, но и заключены многомиллиардные контракты на переработку ОЯТ с энергокомпаниями Германии, Японии, Швейцарии, Бельгии, Нидерландов и Тайваня. Зарубежное ОЯТ перерабатывается и на заводе THORP в Великобритании, который был построен за счет контрактов на переработку.

Все перерабатывающие предприятия используют водно-экстракционные технологии. После механического размельчения отработавшие тепловыделяющие сборки растворяют в азотной кислоте и получают раствор, содержащий уран, плутоний, нептуний и продукты деления. Для выделения из раствора ценных компонентов, их разделения и очистки от примесей применяются экстракционные методы с использованием в качестве экстрагента трибутилфосфата в органическом разбавителе. Схемы переработки на каждом предприятии отличаются только набором применяемых реагентов, последовательностью отдельных технологических стадий и аппаратурным оформлением.

Несмотря на то, что Россия является убежденным сторонником переработки ОЯТ, перерабатывается ~30 % нарабатываемого ОЯТ. Завод РТ-1 на ПО «Маяк», созданный на базе радиохимического завода по наработке оружейного плутония, был введен в эксплуатацию в 1977 г. До недавнего времени на трех технологических линиях в промышленном масштабе завод перерабатывал ОЯТ реакторов ВВЭР-440 и БН-600, транспортных и некоторых исследовательских реакторов [3]. После масштабной реконструкции в 2015–2017 гг. производительность завода была увеличена и расширена номенклатура перерабатываемого ОЯТ. В настоящее время перерабатываются практически все виды ОЯТ (реакторов ВВЭР-1000 и АМБ, дефектное топливо РБМК-1000, уран-циркониевое, нитридное и др.).

Кроме расширения номенклатуры перерабатываемого ОЯТ, усовершенствованы технологии обращения с РАО. Для остекловывания ВАО введена в эксплуатацию новая печь ЭП-500 производительностью 500 л/ч. Для

переработки жидких НАО и САО сооружены установки очистки вод спецканализации и создан комплекс цементирование жидких и гетерогенных САО.

Одной из проблем современных технологий переработки ОЯТ (пожалуй, самой главной) является образование большого количества жидких РАО, и крупнейшие в мире перерабатывающие заводы сбрасывают их в северные моря. Французские UP-2 и UP-3 низкоактивные ЖРО, содержащие тритий и йод, сбрасывают в Ла-Манш, а британский THORP – в Ирландское море.

В соответствии с ужесточающимися экологическими требованиями существующие методы переработки ОЯТ необходимо модифицировать. Технологии должны быть экологически безопасными, исключая попадание в ОС жидких и газообразных РАО [4]. Для развития радиохимической промышленности и отработки новых способов переработки ОЯТ с минимизацией образования ЖРО на Горно-химическом комбинате создается опытно-демонстрационный центр, который в оптимальных условиях позволит отработать сразу несколько технологий многоуровневой радиохимической переработки ОЯТ, позволяющих эффективно отделить на головных операциях тритий и йод для их исключения из сбросных потоков.

В заключение следует отметить, что переработка ОЯТ обеспечивает ЯРБ заключительных стадий ядерных технологий и позволяет вовлечь в ЯТЦ выделенные при переработке уран и плутоний и использовать ОЯТ в качестве сырья для радиоизотопной продукции, а также нарабатывать редкие и дефицитные элементы для различных отраслей промышленности.

ЛИТЕРАТУРА

1. IAEA-TECDOC-1587. Spent Fuel Reprocessing Options. – Vienna: IAEA, 2008. – 144 p.
2. Никитин, А. К. и др. Ядерные делящиеся материалы / Никитин А. К. и др. – Санкт-Петербург: Экологическое объединение «Беллона», 2012. – 116 с.
3. Муратов, О. Э. Технический отчет NNW-GW 1/2014 «Формирование опытно-демонстрационных центров по выводу из эксплуатации ядерно и радиационно опасных объектов» / Санкт-Петербург, 2015. – 45 с.
4. Гаврилов, П. М. Красноярский край территория перспективных разработок атомной отрасли / П. М. Гаврилов // VII Региональный форум-диалог «Атомные производства, общество, безопасность – 2014»: Материалы форума-диалога. – Красноярск, 2015

ОТРАБОТКА МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАДИОАКТИВНЫХ ГАЗОВ В АТМОСФЕРНОМ ВОЗДУХЕ В ПРОЦЕССЕ ОБРАЩЕНИЯ С ОЯТ TRYING OUT DETERMINATION METHODS FOR RADIOACTIVE GASES IN THE AMBIENT AIR WHEN MANAGING SNF

Л. В. Тимонова¹, О. Н. Ляхова¹, С. С. Бабешкин²
L. Timonova¹, O. Lyakhova¹, S. Babeshkin²

¹Филиал «Институт радиационной безопасности и экологии» РГП НЯЦ РК,
г. Курчатов, Республика Казахстан

²Филиал «Институт атомной энергии» РГП НЯЦ РК,
г. Курчатов, Республика Казахстан
Timonova@nnc.kz

¹Branch “Institute of Radiation Safety and Ecology” NNC RK, Kurchatov, Republic of Kazakhstan

²Branch “Institute of Atomic Energy” NNC RK, Kurchatov, Republic of Kazakhstan

В настоящее время в процессе обращения с ОЯТ осуществляется контроль за уровнем радиационного фона. Одним из процессов обращения является долговременное контейнерное хранение ОЯТ. С целью осуществления комплексной радиационной оценки и возможности выполнения долгосрочных прогнозных оценок радиационной ситуации не менее важно осуществлять контроль за эманацией радиоактивных газов в атмосферу. В связи с этим необходимо разработать и внедрить соответствующие методы исследования и контроля за содержанием радиоактивных газов в воздухе в процессе обращения с ОЯТ. В данной работе представлены результаты исследований и аппаратурно-методическое обеспечение, которое может успешно применяться для оценки радиоактивности воздуха в процессе обращения с ОЯТ.

At the present time radiation background level is controlled when handling SNF. One of SNF handling methods is long-term storage in containers. For the purpose of comprehensive radiological assessment and to make long-term predictive estimates for radiological situation it is also important to control emission of radioactive gases into the atmosphere. Therefore, it is necessary to develop and introduce respective methods to research and control concentration of radioactive gases in the air while handling SNF. This paper provides research results and methodical and hardware support that can be successfully used in assessment of air radioactivity when handling SNF.

Ключевые слова: криогенное устройство, коллектор трития, исследовательский реактор, продукт активации, продукты распада, продукты деления.

Keywords: cryogenic device, tritium collector, research reactor, activation product, decay products, fission products.

Система обращения с отработавшим ядерным топливом (ОЯТ) включает нормативно-правовую, финансово-экономическую и инфраструктурную составляющие, что в целом направлено на выполнение мероприятий по обеспечению экологической безопасности, поэтапному снижению радиоактивности и недопущению радиоактивных выбросов в окружающую среду.

Сложившаяся в Казахстане система обращения с ОЯТ включает в себя 2 основных этапа – это транспортировка и долговременное хранение, которое осуществляется в приреакторных хранилищах исследовательских реакторов. Одним из важных условий успешного функционирования данной системы является проведение экологического мониторинга, отвечающего всем требованиям радиационной безопасности.

Цель работы заключалась в адаптации аппаратурно-методического обеспечения для определения радиоактивных газов в воздухе в процессе обращения с ОЯТ.

Для достижения поставленной цели требовалось получение количественных данных по объемным активностям газообразных продуктов. Известно, что в результате деятельности исследовательских реакторов образуются радиоактивные газы, входящего в состав ядерного топлива. В связи с чем проведен ряд экспериментальных исследований на примере реактора ИВГ.1М.

В ходе проведения экспериментальных работ исследовалось содержание радиоактивных газов в воздухе: продукта активации (^{41}Ar), продуктов деления урана (^{85}Kr , ^{87}Kr , ^{88}Kr , ^{135}Xe), а также содержание тритированных газообразных продуктов, которые могут быть представлены в виде окисленных (НТО) и газообразных (НТ) соединений трития.

Для определения радиоактивных газов в воздухе выбраны 2 пробоотборных устройства: криогенное устройство для сжижения воздуха «Пурга» (Казахстан) (рис. 1) и коллектор трития «OS1700» («ORTEC», США) (рис. 2).

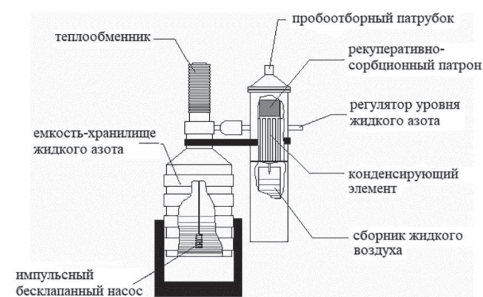
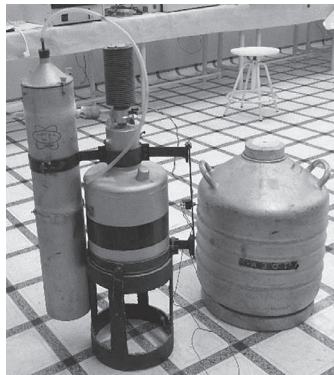


Рисунок 1 – Пробоотборное устройство «Пурга»

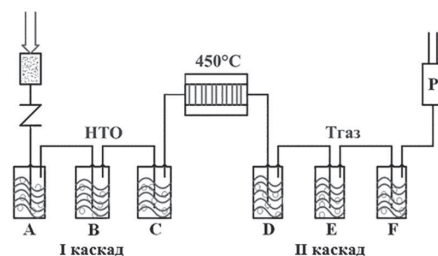


Рисунок 2 – Пробоотборное устройство коллектор трития «OS1700»

Криогенное устройство «Пурга» предназначено для отбора проб газоаэрозольных форм различных радиоактивных и нерадиоактивных примесных фракций, содержащихся в воздухе. Принцип действия установки основан на способности воздуха сжижаться в том же составе основных компонентов на поверхности, охлаждаемой ниже температуры кипения анализируемого воздуха, имеющего состав: N_2 – 78 %, O_2 – 21 % ($T_{\text{кип}} = -193$ °C), но не ниже температуры кристаллизации кислорода. При испарении сжиженного воздуха более высокую скорость испарения имеет азот и меньшую – кислород. Скорость испарения криптона незначительна по сравнению со скоростью испарения кислорода, а скорость испарения ксенона еще ниже. Регулярный долив в испаряющуюся пробу сжиженного азота поддерживает испарение криптона (не говоря уже о ксеноне) на минимальном уровне, что подтверждается многочисленными исследованиями, проводившимися на открытых пусках реактора [1].

Пробоотборное устройство коллектор трития «OS1700» предназначено для исследования содержания тритированных газообразных продуктов, которые могут быть представлены в воздухе в виде окисленных (НТО) и газообразных (НТ) соединений трития [2]. Согласно технологической схеме, воздушный поток, поступающий в коллектор трития, проходит последовательно через 2 каскада, каждый из которых состоит из 3-х поглотительных емкостей, заполненных поглотительным раствором – дистиллированной водой. На первом каскаде емкостей про-

исходит последовательное очищение воздуха от тритированных паров воды. Далее очищенный поток воздуха проходит через палладиевую спираль, нагретую до 450 °С, где происходит окисление всех газообразных форм трития и их последующее поглощение водой во втором каскаде поглотительных емкостей.

В ходе проведения экспериментов обеспечивалась подача воздуха в пробоотборное оборудование из трубопровода вентиляционной системы исследовательского реактора ИВГ.1М., расположенного в подректорном помещении. Исследования проводились в процессе пусков реактора при мощности 6 МВт. Во избежание распада короткоживущих радиоактивных элементов, полученные пробы воздуха, сразу после окончания отбора, передавались на качественный и количественный анализ в лабораторию.

Анализ образцов, полученных при помощи установки «Пурга», проводился на гамма-спектрометре фирмы «Canberra» на базе многоканального амплитудного анализатора InSpector 2000 с коаксиальным германиевым детектором GC-1518. Пробы воздуха, отобранные коллектором трития, анализировались жидкосцинтилляционным методом на бета-спектрометре «SL-300» («Hidex», Финляндия).

Результаты представлены на примере экспериментального исследования, в ходе которого из вентиляционной системы реактора отобрана проба воздуха № 1 за 40 минут до снижения мощности (рис. 3. – гамма-спектр измеренной пробы № 1) и проба воздуха № 2 – сразу после остановки реактора (рис. 4. – гамма-спектр измеренной пробы № 2).

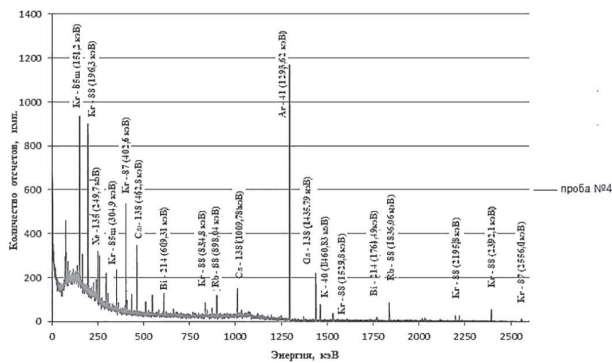


Рисунок 3 – Гамма-спектр измеренной пробы № 1

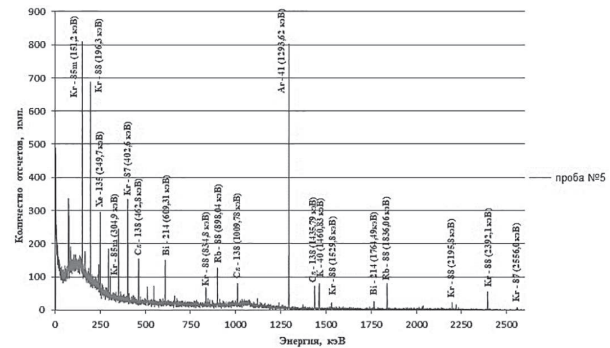


Рисунок 4 – Гамма-спектр измеренной пробы № 2

Согласно результатам спектрометрических измерений, в отобранных пробах воздуха зафиксированы продукты активации, продукты распада и продукты деления урана, а также тритированные газообразные продукты. Объемная активность НТО составила порядка 10 Бк/м³, НТ – 2 Бк/м³

Результаты объемной активности радиоактивных газов представлены в табл.

Таблица – Результаты объемной активности радиоизотопов, зафиксированных в отобранных пробах

Изотоп	Энергия гамма-кванта, E _i (кэВ)	Квантовый выход, η	Период полураспада, T _{1/2}	Объемная активность в пробах, Бк/м ³	
				№ 1	№ 2
⁴¹ Ar	1293,62	99,20	1,83 ч	4200	4350
⁸⁵ Kr	151,15	75,50	4,48 ч	250	280
	304,87	14,00			
⁸⁷ Kr	402,59	49,60	76,3 мин	630	720
	2554,8	9,20			
⁸⁸ Kr	196,30	25,98	2,84 ч	780	840
	834,83	12,98			
	1529,77	10,93			
	2195,84	13,18			
⁸⁸ Rb	2392,11	34,60	17,78 мин	260	270
	898,04	14,04			
¹³⁵ Xe	1836,06	21,40	9,14 ч	120	130
	249,77	90,00			
¹³⁸ Cs	462,80	30,70	32,2 мин	110	120
	1009,78	29,80			
	1435,79	76,30			
²¹⁴ Bi (продукт распада ²²² Rn)	609,31	46,10	19,9 мин	290	310
	1120,29	15,10			
	1764,49	15,40			

В результате проведенных работ на примере пусков реактора ИВГ.1М с применением криогенного устройства «Пурга» и коллектора трития «OS1700» зафиксированы количественные значения радиоактивных газов. Полученные результаты экспериментальных исследований дают основание считать, что аппаратно-методическое обеспечение может использоваться для оценки радиационной ситуации в процессе обращения с ОЯТ.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Сергеев, В. Ю.* Применение криогенного пробоотборника «ПУРГА-К» для определения радиоактивных выбросов в атмосферу / В. Ю. Сергеев, О. Н. Ляхова // Вестник НЯЦ РК. – 2004. – Вып. 1. – С. 69–74.

2. Тимонова, Л. В. Оптимизация методики определения газообразного трития в воздушной среде / Л. В. Тимонова, О. Н. Ляхова, Д. В. Турченко, С. Н. Лукашенко // Семипалатинский испытательный полигон. Радиационное наследие и перспективы: тез. докл. VI Междунар. науч.-практ. конф., Курчатов 24–26 сент., 2014. – Курчатов, 2014. – С. 94–95.

**АНАЛИЗ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ МОДЕЛИ ОЦЕНКИ
ДОЗЫ ОБЛУЧЕНИЯ ЩИТОВИДНОЙ ЖЕЛЕЗЫ ВСЛЕДСТВИЕ
РАДИОАКТИВНЫХ ВЫБРОСОВ АЭС**

**SENSITIVITY ANALYSIS OF A THYROID DOSE ASSESSMENT MODEL
DUE TO THE RADIOACTIVE RELEASES OF NUCLEAR POWER PLANT**

С. С. Третьякевич

S. Tretyakevich

*Департамент по ядерной и радиационной безопасности
Министерства по чрезвычайным ситуациям,
г. Минск, Республика Беларусь
Tretyakevich@gosatomnadzor.gov.by*

*Department for Nuclear and Radiation Safety of the Ministry for Emergency Situation
of the Republic of Belarus, Minsk, Republic of Belarus*

Оценка доз облучения щитовидной железы вследствие радиоактивных выбросов АЭС содержит неопределенность, которая обусловлена несоответствием используемой модели оценки доз реальному миру и вариабельностью параметров модели оценки доз вследствие их естественной вариабельности или незнания их истинных значений. Анализ чувствительности модели оценки доз позволяет определить параметры модели, которые вносят наибольший вклад в неопределенность оценки дозы. В данной работе представлены результаты анализа чувствительности модели реконструкции индивидуальных доз облучения щитовидной железы жителей Беларуси вследствие аварии на Чернобыльской АЭС и подходы к анализу чувствительности модели прогноза доз облучения щитовидной железы вследствие радиоактивных выбросов АЭС при нормальной эксплуатации и нарушениях нормальной эксплуатации.

Thyroid radiation dose assessment due to the radioactive releases from NPP contains uncertainty due to the discrepancy between a model used for dose estimation and the real world and variability of parameters dose estimation model due to its natural variability or ignorance of their true values. A sensitivity analysis of a dose assessment model allows you to determine the model parameters that make the greatest contribution to the uncertainty of dose assessment. This paper presents the results of sensitivity analysis of the model for the reconstruction of individual thyroid doses to the residents of Belarus as a result of the Chernobyl accident and approaches to analyzing the sensitivity of a model for prediction of thyroid doses due to radioactive releases of nuclear power plant during its normal operation and violations of normal operation.

Ключевые слова: АЭС, радиоактивные выбросы, йод-131, щитовидная железа, доза облучения, неопределенность, чувствительность.

Keywords: NPP, radioactive releases, iodine-131, thyroid, thyroid dose, uncertainty, sensitivity.

Мировой опыт эксплуатации АЭС показал, что основной вклад в дозу облучения населения от радиоактивных выбросов АЭС в условиях нормальной эксплуатации вносят нестабильные изотопы инертных газов, ^{60}Co , ^{131}I , ^{134}Cs и ^{137}Cs . Вклад других радионуклидов, содержащихся в радиоактивных выбросах АЭС, в дозу облучения населения незначителен. Основным путем облучения щитовидной железы (ЩЖ) является поступление ^{131}I в организм человека.

В радиоактивных выбросах АЭС в условиях нарушения нормальной эксплуатации, в том числе в результате аварий, также основным путем облучения ЩЖ является поступление ^{131}I в организм человека.

Загрязнение территории Республики Беларусь вследствие радиоактивных выпадений в результате аварии на Чернобыльской АЭС вызвало повышение в Республике Беларусь уровня рака и другие заболеваний ЩЖ, вызванного, в основном, внутренним облучением ЩЖ от поступления в организм человека радиоактивных изотопов йода. Проведение эпидемиологических исследований, определяющих радиационный риск для различных патологий ЩЖ, требует достоверной реконструкции дозы облучения ЩЖ у обследуемых людей от всех или самых существенных источников облучения ЩЖ. Реконструкция индивидуальной дозы внутреннего облучения ЩЖ от поступления ^{131}I в организм характеризуется неопределенностью, которая обусловлена рядом факторов, основным из которых является

вариабельность параметров модели, применяемой для реконструкции дозы внутреннего облучения ЩЖ от ^{131}I , обусловленная естественной вариабельностью параметров модели или незнанием их истинных значений.

Основная методология реконструкции индивидуальной дозы внутреннего облучения ЩЖ от поступления ^{131}I в организм жителей Республики Беларусь вследствие радиоактивных выпадений в результате аварии на Чернобыльской АЭС, в которой также указаны неопределенности параметров используемой модели реконструкции доз облучения ЩЖ, представлена в работах [1; 2].

В работе [3] представлен метод оценки неопределенности реконструкции индивидуальной дозы внутреннего облучения ЩЖ от поступления ^{131}I в организм. Для вычисления неопределенности оценки дозы внутреннего облучения ЩЖ от поступления ^{131}I в организм, обусловленной вариабельностью 42-х параметров используемой модели оценки дозы облучения ЩЖ с разными типами распределений [1; 2], используется метод Монте-Карло. Разработанное прикладное программное обеспечение, использующее возможности, предоставляемые системой управления базами данных Microsoft Access и встроенным в нее языком программирования Visual Basic for Application, позволяет за приемлемое время рассчитать дозы и их неопределенности для большого количества индивидов [3].

В общем случае неопределенность реконструкции дозы из-за вариабельности параметров модели определяется путем анализа чувствительности модели, который заключается в выявлении параметров модели, вносящих наибольший вклад в вариабельность конечного результата. В работе [4] чувствительность модели реконструкции дозы внутреннего облучения ЩЖ от ^{131}I к вариабельности используемых в ней параметров определена с помощью метода индивидуального перебора параметров. По данному методу расчет проводится в случае, когда каждый параметр модели, кроме одного, принимает среднее значение. Параметр, для которого определяется индекс чувствительности, принимает последовательно максимальное и минимальное значение. При нормальном или логнормальном распределении значений параметра модели в качестве минимума и максимума использовались значения параметра, соответствующие 2,5 и 97,5 перцентилям данного распределения.

Количественный анализ чувствительности модели оценки доз облучения ЩЖ осуществляется путем определения индекса чувствительности для каждого параметра модели, рассчитываемого по следующей формуле [4]:

$$SI = \left| 1 - \frac{D_{\min}}{D_{\max}} \right|, \quad (1)$$

где SI – индекс чувствительности параметра модели, безразмерный;

D_{\min} – минимальная доза облучения ЩЖ при минимальном или максимальном значении параметра модели, мГр;

D_{\max} – максимальная доза облучения ЩЖ при минимальном или максимальном значении параметра модели, мГр.

Из формулы (1) следует, что значения индекса чувствительности варьируются в пределах от 0 до 1. Близкие к единице значения указывают на то, что модель, используемая для расчетов, наиболее чувствительна к вариабельности данного параметра.

В работе [4] продемонстрировано, что при наличии прямых инструментальных измерений мощности экспозиционной дозы (МЭД) над ЩЖ [2] основная неопределенность реконструкции индивидуальной дозы внутреннего облучения ЩЖ от поступления ^{131}I в организм обусловлена вариабельностью только двух параметров применяемой модели: 1) измеренным содержанием ^{131}I в ЩЖ и 2) массой ЩЖ [4].

Неопределенность оценки индивидуальной дозы внутреннего облучения ЩЖ от поступления ^{131}I в организм, рассчитанной без использования прямых инструментальных измерений МЭД над ЩЖ, обусловлена большим количеством параметров модели оценки дозы. Значение индекса чувствительности большее 0,4 имеют, в порядке убывания, 10 параметров модели реконструкции доз облучения ЩЖ: 1) суточные выпадения ^{131}I ; 2) коэффициент перехода ^{131}I из пищи коровы в молоко; 3) отношение содержания ^{131}I в козьем молоке к содержанию ^{131}I в коровьем молоке; 4) масса ЩЖ; 5) суточное потребление козьего молока; 6) суточное потребление коровьего молока из частного хозяйства; 7) урожайность пастбищной травы; 8) коэффициент задержки ^{131}I пастбищной травой; 9) коэффициент перехода ^{131}I из крови в ЩЖ; 10) суточное потребление коровьего молока из торговой сети [4].

Общие положения обеспечения безопасности атомных станций НП-001-15, вошедшие в действие в Российской Федерации, устанавливая новые требования к анализам безопасности АЭС. Анализы безопасности должны сопровождаться оценкой неопределенности полученных результатов. Таким образом, прогноз доз облучения ЩЖ вследствие радиоактивных выбросов АЭС при нормальной эксплуатации и нарушениях нормальной эксплуатации должна сопровождаться оценкой неопределенности.

В связи с большим количеством параметров, входящих в модель прогнозной оценки доз облучения ЩЖ вследствие радиоактивных выбросов АЭС, целесообразно на начальном этапе выполнить анализ чувствительности параметров данной модели, чтобы сосредоточить усилия на оценке характеристик распределений наиболее значимых параметров модели оценки доз облучения ЩЖ и дальнейшей оценке неопределенности дозы облучения ЩЖ.

Большинство моделей переноса радиоактивных веществ, выброшенных за пределы защитной оболочки блока АЭС, с целью последующей оценки доз облучения населения на различных расстояниях от АЭС основываются на многочисленных модификациях Гауссовой модели рассеяния, которые отличаются различными способами оценки горизонтальной и вертикальной дисперсий σ_y^2 и σ_z^2 и применяются для оценки доз облучения населения на расстояниях до 30–50 км от АЭС.

Среднегодовой метеорологический фактор разбавления в приземном слое воздуха радионуклида r на расстоянии x от источника в направлении ветра румба n в рамках Гауссовой модели рассеяния примеси в атмосфере рассчитывается в соответствии с руководством по безопасности в области использования атомной энергии РБ-106-15 [5]:

$$G_n^r(x) = \frac{\tilde{M}^c}{\tilde{M}^c + \tilde{M}^w} \cdot G_n^{r,c}(x) + \frac{\tilde{M}^w}{\tilde{M}^c + \tilde{M}^w} \cdot G_n^{r,w}(x), \quad (2)$$

$$G_n^{r,c}(x) = \frac{2 \cdot N \cdot \Psi_n^c}{(2 \cdot \pi)^{3/2} \cdot x} \cdot \sum_{j=1}^J \sum_{k=2}^K \frac{\omega_{n,j,k}^c \cdot F_{j,k}^r}{\sigma_{z,j}(x) \cdot U_{j,k}} \cdot \Phi \left(\frac{\pi \cdot x}{\sqrt{2N} \cdot \sigma_{y,j}(x)} \right) \cdot \exp \left(-\frac{(h_s + \Delta h_{j,k}^c)^2}{2 \cdot \sigma_{z,j}^2(x)} \right), \quad (3)$$

$$G_n^{r,w}(x) = \frac{2 \cdot N \cdot \Psi_n^w}{(2 \cdot \pi)^{3/2} \cdot x} \cdot \sum_{j=1}^J \sum_{k=2}^K \frac{\omega_{n,j,k}^w \cdot F_{j,k}^r}{\sigma_{z,j}(x) \cdot U_{j,k}} \cdot \Phi \left(\frac{\pi \cdot x}{\sqrt{2N} \cdot \sigma_{y,j}(x)} \right) \cdot \exp \left(-\frac{(h_s + \Delta h_{j,k}^w)^2}{2 \cdot \sigma_{z,j}^2(x)} \right), \quad (4)$$

где $G_n^{r,c}(x)$, $G_n^{r,w}(x)$ – среднегодовые метеорологические факторы разбавления в приземном слое воздуха радионуклида r на расстоянии x от источника в направлении ветра румба n в холодный и теплый периоды года, соответственно, с/м^3 ;

N, n – общее число и номер румба, соответственно, $n \in [1, N]$;

J, j – общее число и номер градации категорий устойчивости атмосферы, соответственно, $j \in [1, J]$;

K, k – общее число и номер градации модуля скорости ветра на высоте флюгера, соответственно, $k \in [1, K]$;

\tilde{M}^c, \tilde{M}^w – общее число используемых многолетних наблюдений в холодный и теплый период года, соответственно;

$U_{j,k}$ – модуль скорости ветра на высоте выброса h_s при скорости ветра на высоте флюгера из градации k для категории устойчивости атмосферы j , м/с ;

$\sigma_{y,j}^2(x), \sigma_{z,j}^2(x)$ – дисперсии струи по горизонтали и вертикали на расстоянии x от источника для градации категории устойчивости j , м ;

h_s – геометрическая высота вентиляционной трубы, м ;

$\Delta h_{j,k}^c, \Delta h_{j,k}^w$ – высота подъема струи над устьем трубы при скорости ветра на высоте флюгера из градации k для категории устойчивости атмосферы j за счет динамических и термических факторов в холодный и теплый период года, соответственно, м ;

$\omega_{n,j,k}^c, \omega_{n,j,k}^w$ – повторяемость метеорологических условий, заключающаяся в совместной реализации направления ветра в румбе n при категории устойчивости атмосферы j и градации скорости ветра k в холодный и теплый период года соответственно;

Ψ_n^c, Ψ_n^w – поправочные коэффициенты на штилевые условия по румбам для теплого и холодного периода года соответственно;

$F_{j,k}^r$ – фактор истощения струи за счет радиоактивного распада нуклида r , его сухого осаждения и влажного выведения из атмосферы на подстилающую поверхность (консервативно принимается, что $F_{j,k}^r = 1$);

$\Phi(z) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^z \exp(-z^2) \cdot dz$ – интеграл вероятности.

Значения величин $\sigma_{y,j}^2(x)$, $\sigma_{z,j}^2(x)$ и $U_{j,k}$ зависят от типа подстилающей поверхности в районе расположения АЭС.

Суточные выпадения ^{131}I определяются через среднегодовой метеорологический фактор сухого осаждения радионуклида r на подстилающую поверхность на расстоянии x от источника выброса в направлении ветра румба n , и рассчитывается по формуле [5]:

$$D_{gn}^r(x) = V_d^r \cdot G_n^r(x), \quad (5)$$

где V_d^r – скорость сухого осаждения радионуклида r на подстилающую поверхность, м/с .

Для оценки неопределенности метеорологического фактора разбавления, для параметров уравнений, определяющих фактор метеорологического разбавления, применяется относительная неопределенность равная 0,4. Параметры уравнений, определяющие фактор метеорологического разбавления, описываются нормальным типом распределения.

Результаты оценки неопределенности среднегодового приземного фактора метеорологического разбавления на различных расстояниях от точки выброса, для различных условий состояния атмосферы и состояния подстилающей поверхности позволяют сделать вывод, что фактор метеорологического разбавления описывается распределением логарифмически нормального типа с неопределенностью в терминах геометрического стандартного отклонения от 1,2 до 1,6.

Таким образом, на неопределенность оценки дозы внутреннего облучения ЩЖ от поступления ^{131}I в организм, рассчитанной без использования прямых инструментальных измерений МЭД над ЩЖ, будут влиять, в порядке убывания, следующие параметры модели прогноза внутреннего облучения ЩЖ от поступления ^{131}I в организм: 1) суточные выпадения ^{131}I ; 2) коэффициент перехода ^{131}I из пищи коровы в молоко; 3) масса ЩЖ; 4) скорость ветра на высоте выброса; 5) суточное потребление коровьего молока из частного хозяйства; 6) урожайность пастбищной травы; 7) коэффициент задержки ^{131}I пастбищной травой; 8) коэффициент перехода ^{131}I из крови в ЩЖ; 9) горизонтальная и вертикальная дисперсия рассеяния на расстоянии x от источника; 10) суточное потребление коровьего молока из торговой сети.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Миненко, В. Ф.* Определение поглощенных доз облучения щитовидной железы жителей населенных пунктов Республики Беларусь: метод. указания, утв. 20.02.03 г. / В. Ф. Миненко и др.; НИКИ радиационной медицины и эндокринологии МЗ РБ. Минск, 2003.
2. *Drozdovitch, V.* Thyroid Dose Estimates for a Cohort of Belarusian Children Exposed to Radiation from the Chernobyl Accident / Drozdovitch, V. et al. // Radiat. Res. – 2013. – № 179. – P. 597–609.
3. *Третьякевич, С. С.* Применение метода Монте-Карло для расчета неопределенности дозы облучения щитовидной железы / С.С. Третьякевич // Вестник ГГТУ имени П.О. Сухого. – 2005. – № 3. – С. 59–66.
4. *Третьякевич, С. С.* Вариабельность реконструкции индивидуальной дозы облучения щитовидной железы от поступления ^{131}I в организм / С. С. Третьякевич // Чернобыльские чтения–2008: материалы междунар. науч.-практ. конф., Гомель, 24–25 апр. 2008 г. / М-во здравоохранения Респ. Беларусь, Респ. науч.-практ. центр радиационной медицины и экологии человека; под общ. ред. А. В. Рожко. – Гомель: КИНУП «Сож», 2008. – С. 291–292.
5. *Курындин, А. В.* Руководство по безопасности при использовании атомной энергии «Рекомендуемые методы расчета параметров, необходимых для разработки и установления нормативов предельно допустимых выбросов радиоактивных веществ в атмосферный воздух» (РБ 106-15) / А. В. Курындин, А. А. Строганов, А. С. Шаповалов, Н. Б. Тимофеев. – М. : Ростехнадзор, 2015. – 74 с.

ОБРАЩЕНИЕ С ОТХОДАМИ АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ КАК ОБЪЕКТ ЭКОЛОГО-ПРАВОВОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ATOMIC ENERGY WASTE MANAGEMENT AS OBJECT OF ECOLOGICAL AND LEGAL REGULATION

С. А. Шестовская
S. Shastouskaya

*Департамента по ядерной и радиационной безопасности Министерства по чрезвычайным
ситуациям Республики Беларусь, г. Минск, Республика Беларусь
beatlesveta@gmail.com
Department for Nuclear and Radiation Safety of the Ministry for Emergency Situations
of the Republic of Belarus, Minsk, Republic of Belarus*

Отходы атомной энергетики являются новым видом радиоактивных отходов для Республики Беларусь, поэтому они представляют особый интерес для исследования правовых проблем обращения с данными видами отходов. С учетом того, что технические решения, обеспечивающие окончательное решение вопроса, связанного с захоронением, на данный момент окончательно не определены и, учитывая потенциальную опасность радиоактивных отходов для человека и окружающей среды, в настоящей статье освещаются специфика и признаки обращения с отходами атомной энергетики как объекта эколого-правового регулирования.

Nuclear waste is a new type of radioactive waste for the Republic of Belarus and for this reason it is of special interest for research of legal problem this type of waste. In this case technical solutions for radioactive waste disposal have not been found yet, and considering potential hazard to human beings and the environment in this article are highlighting specific and signs of nuclear waste management like an object ecological and legal regulation.

Ключевые слова: радиоактивные отходы, экологические отношения, объект, регулирование, атомная станция, окружающая среда.

Keywords: radioactive waste, environmental relations, object, regulation, nuclear power plant, environment.

На 2019 г. запланирован ввод в эксплуатацию первого энергоблока Белорусской атомной электростанции. Эксплуатация атомной электростанции неизбежно сопровождается образованием и накоплением радиоактивных отходов на протяжении срока ее эксплуатации (60 лет), а также в период вывода из эксплуатации стан-

ции. Радиоактивные отходы, образующиеся в результате эксплуатации атомной станции, являются чрезвычайно опасными для человека и всей окружающей среды, поэтому являются одной из наиболее острых экологических проблем. Основной отличительной особенностью радиоактивных отходов от бытовых (производственных, строительных) является их способность наносить вред здоровью человека и окружающей среде ионизирующим излучением в течение длительного периода времени.

На данный момент технические решения для захоронения отходов атомной энергетики, которые бы обеспечивали долговременную радиационную безопасность, находятся в стадии научной проработки, поэтому правовое регулирование остается самой действенной мерой для решения проблем данного рода, созданию таких условий, чтобы отходы атомной энергетики не вышли из-под регулирующего контроля. Обеспечение безопасного обращения с отходами и их захоронение является приоритетной задачей, стоящей перед страной, использующей ядерные технологии [8]. В этой связи представляется актуальным рассмотреть регулирующие положения обращения с отходами атомной энергетики через призму экологических отношений.

Согласно отечественной теории экологического права, экологические отношения представляют собой общественные отношения по поводу окружающей среды, которые можно отнести к двум основным группам: экологические отношения, направленные на удовлетворение материальных потребностей общества за счет ресурсов природы (природоресурсные) и экологические отношения в области охраны окружающей среды (природоохранные). Первая группа характеризуется исторически сложившейся формой взаимоотношений человека с природой – использование природных ресурсов в деятельности человека. Потребительский образ жизни со временем приводит к осознанию человеком, что природные ресурсы не безграничны, что вторжение в окружающую среду наносит не только необратимый вред, но и оказывает отрицательное влияние на самого человека. Таким образом, появляется вторая группа экологических правоотношений, направленных на охрану (защиту) окружающей среды от самого человека [1, с. 6–7; 3 с. 48].

Профессор юридического факультета МГУ им. Ломоносова (Российская Федерация) О. И. Крассов выделяет три группы экологических отношений: отношения, связанные с осуществлением мер по охране природных объектов в сфере природопользования; отношения, связанные с охраной окружающей природной среды от негативных воздействий; отношения по поводу консервативной, то есть заповедной, охраны природы [2, с. 18–21].

Вторая группа экологических отношений, предложенная О. И. Крассовым, характеризуется принятием мер, направленных на предотвращение вредного воздействия на окружающую природную среду. Такими мерами могут быть установление нормативов, ограничений, запретов. Как указывает ученый, вредное воздействие выражено тремя основными видами: химическим, физическим и биологическим. Отходы атомной энергетики могут наносить вред почве, водам, атмосфере, иным компонентам природной среды, а также здоровью человека. В данном случае, придерживаясь классификации И. О. Крассова, экологические отношения по поводу обращения с отходами атомной энергетики относятся к физическому виду воздействия на окружающую среду. Однако при хранении либо захоронении отходов, окружающая среда может стать «пространственной сферой, используемой для размещения загрязняющих веществ, и такая деятельность признается природопользованием» [2, с. 20]. Такое мнение разделяется белорусскими учеными, когда природная среда используется «в качестве «резервуара» для выбросов (сбросов) загрязняющих веществ» [1, с. 10], экологические отношения рассматриваются как использование природных ресурсов для удовлетворения потребностей общества.

Таким образом, обращение с отходами атомной энергетики является объектом эколого-правового регулирования. Обращение с отходами атомной энергетики в экологических отношениях проявляется в двух основных формах взаимодействия: экологические отношения, направленные на удовлетворение материальных потребностей общества (природоресурсные) и экологические отношения в области охраны окружающей среды (природоохранные).

В соответствии со статьей 1 Закона Республики Беларусь от 5 января 1998 г. № 122-З «О радиационной безопасности населения» (далее – Закон № 122-З) и статьей 1 Закона Республики Беларусь от 30 июля 2008 г. № 426-З «Об использовании атомной энергии» (далее – Закон № 426-З) отходы атомной энергетики представляют собой эксплуатационные радиоактивные отходы, образовавшиеся в результате эксплуатации ядерной установки и (или) пункта хранения, в отношении которых отсутствует намерение либо которые не могут быть использованы по прежнему назначению, содержание радионуклидов в которых превышает уровни, установленные нормативными правовыми актами, в том числе техническими нормативными правовыми актами.

Систему законодательства, регулирующего обращение с отходами атомной энергетики, составляют нормативные правовые акты, в том числе технические нормативные правовые акты, подчиненные в иерархическую структуру. Основу для создания национальной правовой базы составляет Объединенная конвенция о безопасности обращения с отработавшим топливом и о безопасности обращения с радиоактивными отходами, ратифицированная Законом Республики Беларусь от 17 июля 2002 г. № 130-З. В соответствии со статьей 2 Закона № 426-З обращение с отходами атомной энергетики регулируется Законом № 426-З, а также законодательством о радиационной безопасности и иным законодательством. Следует обратить внимание, что в соответствии со статьей 5 Закона Республики Беларусь от 20 июля 2007 г. № 271-З «Об обращении с отходами» отношения, возникающие в процессе обращения с радиоактивными отходами, регулируются законодательством о радиационной безопасности населения и иным специальным законодательством. Таким образом, Закон Республики Беларусь от 20 июля 2007 г. № 271-З «Об обращении с отходами» не распространяется на отношения, возникающие при обращении с отходами атомной энергетики.

Основным нормативным правовым актом, устанавливающим основополагающие требования в области обращения с отходами атомной энергетики, является Закон № 426-3, который закрепляет главные принципы в области использования атомной энергии, основы государственного управления и государственного регулирования, порядок обращения с отходами атомной энергетики и обеспечение их физической защиты, устанавливает обязанности и ответственность эксплуатирующей организации, а также предусматривает ответственность за вред, причиненный в результате аварии, возникшей при осуществлении деятельности по использованию атомной энергии* и иные положения.

Закон № 122-3 содержит определение радиоактивных отходов, а также главу, посвященную обеспечению радиационной безопасности при обращении с радиоактивными отходами.

В соответствии с Законом № 122-3 обращение с радиоактивными отходами включает: сбор, обезвреживание, переработку, перевозку, хранение и (или) захоронение. Такие виды обращения, как обезвреживание, переработка, хранение и (или) захоронение могут осуществляться только на объектах обращения с радиоактивными отходами. Вместе с тем, Закон № 122-3 не содержит определение термина «обезвреживание». В перечне Глоссария МАГАТЭ по вопросам безопасности данный термин также отсутствует. В проекте Закона Республики Беларусь «О радиационной безопасности», подготовленного ко второму чтению Постоянной комиссией по вопросам экологии, природопользования и чернобыльской катастрофы Палаты представителей Национального собрания Республики Беларусь, предложена формулировка объектов обращения с радиоактивными отходами, учитывающая терминологию, содержащуюся в Глоссарии МАГАТЭ по вопросам безопасности относительно способов обращения с радиоактивными отходами. Таким образом, термин «обезвреживание» в проекте Закона Республики Беларусь «О радиационной безопасности» не употребляется.

Отдельного внимания заслуживает проблема захоронения отходов атомной энергетики. Закон № 122-3 устанавливает, что ввоз на территорию Республики Беларусь радиоактивных отходов в целях их хранения или захоронения допускается только для радиоактивных отходов, которые образовались в Республике Беларусь. Аналогичный подход к захоронению радиоактивных отходов в России [6; ст. 31], Финляндии [4; ст. 6а], Украине [5; ст. 53]. Исключения из данного правила могут составлять радиоактивные отходы, направляемые для исследовательских целей, либо для переработки в соответствии с международными договорами.

В соответствии с частью второй статьи 9 Соглашения между Правительством Республики Беларусь и Правительством Российской Федерации о сотрудничестве в строительстве на территории Республики Беларусь атомной электростанции, ратифицированного Законом Республики Беларусь от 25 ноября 2011 г. № 321-3, отработавшее в реакторах энергоблоков АЭС ядерное топливо, приобретенное у российских исполняющих организаций, подлежит возврату в Российскую Федерацию для переработки на условиях, определяемых Сторонами в отдельном соглашении. Проект Соглашения между Правительством Республики Беларусь и Правительством Российской Федерации по возврату отработавшего в реакторах энергоблоков АЭС ядерного топлива в настоящий момент отсутствует. Согласно Закону № 426-3 и Закону № 122-3 отработавшее ядерное топливо представляет собой отработавший ядерный материал, облученный в активной зоне реактора и окончательно удаленный из нее. Таким образом, отработавшее ядерное топливо не относится к категории отходов атомной энергетики (радиоактивных отходов), поскольку предусматривается его дальнейшая переработка и принятие отдельных решений.

Основные направления деятельности по безопасному обращению с отходами атомной энергетики закреплены в Стратегии обращения с радиоактивными отходами Белорусской атомной электростанции, утвержденной постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 2 июня 2015 г. № 460 (далее – Стратегия). Стратегия содержит систему обращения с отходами атомной энергетики, мероприятия по обращению с различными видами радиоактивных отходов, а также включает иные положения, такие как финансирование мероприятий, предусмотренных Стратегией и ожидаемые результаты от реализации Стратегии.

Стратегия основывается на принципах обращения с радиоактивными отходами, установленных в нормах и правилах по обеспечению ядерной и радиационной безопасности «Безопасность при обращении с радиоактивными отходами. Общие положения», утвержденных постановлением Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь от 28 сентября 2010 г. № 47. Представляется, что принципы правового регулирования обращения с отходами атомной энергетики должны быть установлены в документе уровня закона, что будет соответствовать статье 14 Закона Республики Беларусь от 17 июля 2018 г. № 130-3 «О нормативных правовых актах». Выказано мнение [14, с. 21–23] о законодательном закреплении национального оператора по обращению с радиоактивными отходами, установлении регулирующего контроля, создании финансовых условий для обращения с отходами атомной энергетики, предусмотреть ответственные организации за реализацию положений Стратегии. С данным мнением необходимо согласиться, поскольку указанные меры направлены на предотвращение последствий от вредного воздействия отходов атомной энергетики на окружающую среду и человека, а также сформулированы с учетом международных требований и мировой практики.

Среди публикаций юристов, обративших внимание на проблему правового регулирования в области обращения с радиоактивными отходами в Республике Беларусь, следует отметить статьи С. В. Голованова, А. И. Жданович, А. Г. Литвиной. В своих исследованиях авторы отмечают, что белорусское законодательство нуждается в доработке и уточнении ряда положений. Такие рекомендации, как приведение классификации радиоактивных

* В соответствии со статьей 1 Закона № 426-3, обращение с отходами атомной энергетики является деятельностью по использованию атомной энергии.

отходов, утверждение стратегии обращения с радиоактивными отходами в настоящий момент законодательно закреплены, однако существуют вопросы, требующие установление регулирования, рассмотренного выше. Есть необходимость разработки национальной стратегии по обращению с радиоактивными отходами, предусматривающей определение национального оператора, установление регулирующего контроля и создание финансовых условий для обращения с отходами атомной энергетики.

Проведенный анализ позволяет сделать следующие выводы:

– обращение с отходами атомной энергетики является объектом эколого-правового регулирования. При этом взаимодействие радиоактивных отходов с окружающей средой обуславливает две формы общественных отношений, подлежащих правовому регулированию – природоресурсные и природоохранные. Возможность одновременного отнесения общественных отношений в области обращения с отходами атомной энергетики к указанным группам характеризует особую масштабность потенциального экологического вреда данного вида отходов, что требует пристального внимания со стороны государства в виде установления регулирующих требований по принципу «все запрещено, что не разрешено» и осуществления контроля за их исполнением;

– требуется дальнейшее формирование и совершенствование правовой основы обращения с отходами атомной энергетики с учетом имеющейся мировой практики, поскольку опыт правового регулирования в сфере ядерных технологий данного рода в Республике Беларусь отсутствует. Стремительное развитие технологий в области использования атомной энергии должно иметь под собой соответствующую правовую основу, которая позволит обеспечить безопасность осуществления потенциально экологически опасной деятельности в большей степени там, где технические решения окончательно не определены.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Балашенко, С. А.* Экологическое право / С. А. Балашенко, Т. И. Макарова, В. Е. Лизгаро. – Минск : Высшая школа, 2016. – 382 с.;
2. *Красов, О. И.* Экологическое право : учебник / О. И. Красов. – 4-е изд., пересмотр. – М. : Норма : ИНФРА-М, 2016. – 528 с.
3. *Макарова, Т. И.* Эколого-правовая концепция как научная основа юридического закрепления отношений в сфере взаимодействия общества с окружающей средой / Т. И. Макарова // Право и демократия: сб. науч. тр.; редкол.: В. Н. Бибило (отв. ред.) [и др.] – Минск: БГУ, 2006 – Спец. вып. – С. 45–62.
4. О ядерной энергии : Закон Финляндии от 11 декабря 1987 г. № 990 [Электронный ресурс]. URL: <https://www.stuklex.fi/en/ls/19870990> (дата обращения: 15.02.2019).
5. Об использовании ядерной энергии и радиационной безопасности : Закон Украины от 8 февраля 1995 г. № 39 : в ред. Закона Украины от 01.01.2019 [Электронный ресурс]. URL: <https://zakon1.rada.gov.ua/laws/show/39/95-вр> (дата обращения: 15.02.2019).
6. Об обращении с радиоактивными отходами и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации [Электронный ресурс] : Федер. закон, 11 июля 2011 г., № 190-ФЗ : в ред. Федер. закона от 02.07.2013 // КонсультантПлюс. Россия / ЗАО «КонсультантПлюс». – М., 2019.
7. Integrated regulatory review service (IRRS) mission to Belarus [Electronic resource] // Department for nuclear and radiation safety of the Ministry for emergency situation. URL: <https://gosatomnadzor.mchs.gov.by/upload/iblock/ab9/irrs-report.pdf/>. (date of access: 14.02.2019).
8. The science and technology behind safe and sustainable radioactive waste management [Electronic resource] // International Atomic Energy Agency. URL: <https://www.iaea.org/sites/default/files/55304610202.pdf/>. – (date of access: 12.02.2019).

СОДЕРЖАНИЕ

ЭПИДЕМИОЛОГИЧЕСКАЯ И ГИГИЕНИЧЕСКАЯ ОЦЕНКИ СРЕДЫ ОБИТАНИЯ ЧЕЛОВЕКА

ЭКОЛОГО-ЭПИДЕМИОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ЗАБОЛЕВАЕМОСТИ ЖЕЛЕЗОДЕФИЦИТНЫМИ АНЕМИЯМИ НАСЕЛЕНИЯ БРЕСТСКОЙ ОБЛАСТИ ЗА 2010–2017 ГГ. <i>А. М. Савчик, В. А. Стельмах</i>	7
ВЛИЯНИЕ НАРУШЕНИЙ ОБМЕННЫХ ПРОЦЕССОВ НА ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ ЛИМФОЦИТОВ <i>Т. С. Семеевко, А. С. Ивашикевич, И. В. Пухтеева, Н. В. Герасимович, Л. А. Малькевич</i>	10
ВОЗРАСТНОЙ АСПЕКТ ПРОТЕКАНИЯ И ИСХОДОВ БЕРЕМЕННОСТЕЙ НА ПРИМЕРЕ ФРУНЗЕНСКОГО РАЙОНА Г. МИНСКА <i>А. С. Сипач, М. В. Синелёва</i>	13
ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ БИОТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ ОТХОДОВ ВИНОДЕЛЬЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ <i>А. С. Соболева, А. О. Саркисян, Л. В. Капрельяни</i>	16
ВЛИЯНИЕ КРИОТЕРАПИИ НА АДАПТАЦИЮ КАРДИО-РЕСПИРАТОРНОЙ СИСТЕМЫ ОРГАНИЗМА СПОРТСМЕНОВ К ФИЗИЧЕСКИМ НАГРУЗКАМ <i>М. А. Степанюк, М. Л. Левин, Н. В. Герасимович</i>	20
ОЦЕНКА НАИБОЛЕЕ ЧАСТО ВСТРЕЧАЮЩИХСЯ ОСЛОЖНЕНИЙ БЕРЕМЕННОСТИ У ЖЕНЩИН В СОВРЕМЕННЫХ РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ <i>В. С. Сулейманова, О. Н. Аблековская</i>	23
ПЕРСОНИФИЦИРОВАННЫЙ ПОДХОД К ПРОФИЛАКТИКЕ ПРОИЗВОДСТВЕННО ОБУСЛОВЛЕННЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ <i>С. И. Сычик, А. В. Зеленко, Е. А. Семушина</i>	26
ГИГИЕНИЧЕСКОЕ НОРМИРОВАНИЕ КОМБИНИРОВАННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ТРАНСПОРТНОЙ И ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ВИБРАЦИИ <i>С. И. Сычик, И. В. Соловьёва, А. В. Кравцов, И. В. Арбузов</i>	29
АНАЛИЗ ФАКТОРОВ РИСКА ТРАВМАТИЗМА НА ТЕРРИТОРИИ ПУХОВИЧСКОГО РАЙОНА МИНСКОЙ ОБЛАСТИ <i>М. С. Финевич, В. В. Литвяк, А. Н. Батян</i>	33
АНАЛИЗ ПРЕДРАСПОЛАГАЮЩИХ ФАКТОРОВ К РАЗВИТИЮ ТУБЕРКУЛЕЗА СРЕДИ ЖИТЕЛЕЙ ГОРОДА МИНСКА <i>Е. Н. Хрусталёва, В. В. Литвяк, А. Н. Батян</i>	36
ЭПИДЕМИОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ЗАБОЛЕВАЕМОСТИ НАСЕЛЕНИЯ МИНСКОЙ ОБЛАСТИ БОЛЕЗНЯМИ СИСТЕМЫ КРОВООБРАЩЕНИЯ <i>В. С. Чепля, Н. Е. Порада</i>	40
ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ ГИГИЕНИЧЕСКОГО НОРМИРОВАНИЯ ОРГАНИЧЕСКОЙ ПЫЛИ <i>Е. В. Чернышова, В. В. Шевляков, Г. И. Эрм</i>	43
ОЦЕНКА РИСКА БЕЗОПАСНОГО ПРИМЕНЕНИЯ СРЕДСТВ ЗАЩИТЫ РАСТЕНИЙ НА ОСНОВЕ ДЕЙСТВУЮЩЕГО ВЕЩЕСТВА ДИКАМБА <i>Е. С. Юркевич, В. И. Иода</i>	47

АДАПТАЦИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СИСТЕМ ЧЕЛОВЕКА К ЕСТЕСТВЕННЫМ И ЭКСТРЕМАЛЬНЫМ ФАКТОРАМ СРЕДЫ

PATTERNS OF FORMATION OF MICROELEMENT STATUS IN INDIVIDUALS WITH AN INCREASED BODY MASS INDEX AND THE RISK OF MICROELEMENTOSIS <i>Ali Adeeb Hussein Ali, L. Loseva, S. Anuchin</i>	53
--	----

THE INFLUENCE OF STORAGE AND SOLVENT ON THE TOTAL PHENOL, FLAVONOID AND ANTIOXIDANT ACTIVITIES OF SAGE (<i>SALVIA FRUTICOSA</i> L.) <i>M. M. Özcan, V. Lemiasheuski</i>	56
ANTIOXIDANT EFFECT OF POWDER AND EXTRACTS OF THE DATE SEED BY-PRODUCTS THAT CAUSE ENVIRONMENTAL PROBLEMS ON THE OXIDATIVE STABILITY OF SESAME OIL <i>M. M. Özcan, E. S. Tanriverdi</i>	59
КВАНТОВО-ХИМИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ И СИНТЕЗ НОВЫХ АЗОМЕТИНОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ, ОБЛАДАЮЩИХ АНТИОКСИДАНТНОЙ АКТИВНОСТЬЮ <i>М. А. Атрошко, С. Н. Шахаб</i>	62
АНТИОКСИДАНТНАЯ АКТИВНОСТЬ ЭКСТРАКТОВ ЦВЕТОВ КАШТАНА (<i>AESCVLUS HIPPOCASTANUM</i> L.), РЯБИНЫ (<i>SORBUS AUCUPARIA</i> L.), АКАЦИИ (<i>ACACIA</i>) И РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ СИРЕНИ (<i>SYRINGA</i>) <i>Д. А. Баскина, Е. И. Тарун, В. П. Курченко</i>	65
МОЛЕКУЛЯРНЫЕ МЕХАНИЗМЫ ИНСУЛИНОРЕЗИСТЕНТНОСТИ: ПОДХОДЫ К ЛЕЧЕНИЮ САХАРНОГО ДИАБЕТА 2 ТИПА (СД2) <i>Н. В. Богданова, Н. Ю. Трущенко, К. А. Белявская, Е. А. Шубенок, В. Э. Сяхович, Е. И. Квасюк, В. И. Степура, А. А. Маскевич, Л. М. Лобанок, К. Я. Буланова</i>	69
КАТЕПСИНЫ, ГЛЮКОЗАМИНОГЛИКАНЫ И БИОЛОГИЧЕСКАЯ РОЛЬ ИХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ <i>К. К. Боярки, С. А. Самсонов</i>	73
ОРГАНИЗМЫ-ИНДИКАТОРЫ АНТРОПОГЕННОГО ЭВТРОФИРОВАНИЯ НЕКОТОРЫХ ВОДОЕМОВ МОГИЛЕВСКОЙ ОБЛАСТИ <i>А. В. Держанская, А. Г. Сыса</i>	76
ЗАВИСИМОСТЬ ОТ ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ ПОДРОСТКОВ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ <i>И. И. Дроздов</i>	79
АНАЛИЗ АНТАГОНИСТИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ БАКТЕРИЙ РОДА <i>BACILLUS</i> ПО ОТНОШЕНИЮ К НЕКОТОРЫМ ПРЕДСТАВИТЕЛЯМ УСЛОВНО – ПАТОГЕННОЙ МИКРОФЛОРЫ <i>В. О. Земцова, Е. Р. Грицкевич</i>	82
ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ АКТИВНОСТЬ БЕЛКОВ, УЧАСТВУЮЩИХ В ТРАНСПОРТЕ КСЕНОБИОТИКОВ, В ЭРИТРОЦИТАХ ЧЕЛОВЕКА ПРИ ДЕЙСТВИИ А-ТОКОФЕРОЛА И АСКОРБИНОВОЙ КИСЛОТЫ <i>IN VITRO</i> <i>Ю. С. Канаиш, Ю. М. Гармаза, А. В. Тамашевский</i>	86
ОПТИМИЗАЦИЯ МЕТОДОВ СИНТЕЗА И ВЫДЕЛЕНИЯ ПРОТИВООПУХОЛЕВОГО СОЕДИНЕНИЯ ФЛУДАРАБИНФОСФАТА <i>Е. И. Квасюк, И. Г. Гриб, О. В. Колядко</i>	89
АНТИОКСИДАНТНАЯ АКТИВНОСТЬ ЭКСТРАКТОВ КОРЫ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ СИРЕНИ (<i>SYRINGA</i>) <i>Е. С. Кравченя, Е. И. Тарун, В. П. Курченко</i>	92
РОЛЬ ФАКТОРОВ ВНЕШНЕЙ СРЕДЫ В РАЗВИТИИ КИШЕЧНОГО ПИЩЕВАРЕНИЯ <i>Л. С. Кучкарова, Х. Ю. Каюмов, С. Х. Бердиёрова</i>	96
ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ЭМОКСИПИНА НА ЦИТОСТАТИЧЕСКУЮ И АНТИПРОЛИФЕРАТИВНУЮ АКТИВНОСТЬ АРАБИНОФУРАНОЗИЛЦИТОЗИН-5'-МОНОФОСФАТА <i>М. В. Лобай, А. Г. Сыса, Е. И. Квасюк</i>	99
МЕТОД ОБЪЕМНОЙ СФИГМОГРАФИИ КАК СКРИНИНГОВЫЙ МЕТОД ДИАГНОСТИКИ СОСТОЯНИЯ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ СИСТЕМЫ У РАБОТНИКОВ ОФИСНОГО ТРУДА <i>Е. А. Семушина, А. В. Зеленко</i>	103
СПОСОБЫ ОЦЕНКИ И ПОВЫШЕНИЯ НЕСПЕЦИФИЧЕСКОЙ РЕЗИСТЕНТНОСТИ ОРГАНИЗМА КУРСАНТОВ ВОЕНИЗИРОВАННЫХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ <i>О. К. Синякова, И. А. Потоцкая</i>	107
ЦИТОТОКСИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК <i>А. А. Строгова, С. Н. Шахаб</i>	110
СТЕРОИДЫ РАСТЕНИЙ КАК ЭФФЕКТОРЫ МОНООКСИГЕНАЗНЫХ СИСТЕМ МЛЕКОПИТАЮЩИХ <i>А. Г. Сыса, С. А. Самсонов</i>	114

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОГРАММНО-АППАРАТНОЙ МЕТОДИКИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ ОРГАНИЗМА У СОТРУДНИКОВ ФИНАНСОВОГО СЕКТОРА <i>С. И. Сычик, Е. С. Щербинская,</i>	117
УЧАСТИЕ МЕТАЛЛОТИОНЕИНОВ В РАЗВИТИИ АПОПТОТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПО КАСПАЗО-ЗАВИСИМОМУ МЕХАНИЗМУ В ЛИМФОЦИТАХ ПАЦИЕНТОВ С В-ХРОНИЧЕСКИМ ЛИМФОЦИТАРНЫМ ЛЕЙКОЗОМ <i>А. В. Тамашевский, Ю. М. Гармаза, Е. И. Белевич, Е. И. Слобожанина</i>	120
ФОРМИРОВАНИЕ ПСИХОЛОГИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ К НЕБЛАГОПРИЯТНЫМ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫМ ФАКТОРАМ <i>С. Н. Толкач.....</i>	124
ПСИХОЛОГИЧЕСКАЯ АДАПТАЦИЯ СТУДЕНТОВ В УСЛОВИЯХ КРУПНОГО ГОРОДА <i>Е. В. Толстая.....</i>	128
ОСОБЕННОСТИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ОРГАНИЗМА СПОРТСМЕНОВ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СПЕЦИАЛИЗАЦИИ <i>Н. В. Шведова, Н. Н. Иванчикова.....</i>	132
АНТИОКСИДАНТНАЯ АКТИВНОСТЬ МОЛОЧНЫХ СМЕСЕЙ ДЛЯ ДЕТСКОГО ПИТАНИЯ <i>М. А. Юшкевич, Е. И. Тарун.....</i>	135

БИОЭКОЛОГИЯ. БИОИНДИКАЦИЯ. РАДИОБИОЛОГИЯ

БИОТОПИЧЕСКОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЗЕМНОВОДНЫХ НА ТЕРРИТОРИИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ <i>М. Н. Асипчик, А. Г. Чернецкая</i>	141
ПАРАМЕТРЫ РОСТА И РАЗМНОЖЕНИЯ БОЛОТНОГО ПРУДОВИКА <i>STAGNICOLA CORVUS</i> (GASTROPODA, HETEROBRANCHIA, LUMNAEIDAE) ПРИ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ВНУТРИВИДОВОЙ КОНКУРЕНЦИИ <i>О. А. Бодиловская, А. П. Голубев.....</i>	144
ПРЕСНОВОДНЫЙ МОЛЛЮСК <i>LUMNAEA STAGNALIS</i> В БИОТЕСТИРОВАНИИ ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА МИНЕРАЛЬНОЙ ПРИРОДЫ <i>О. А. Борис, С. Н. Камлюк, С. Ю. Петрова</i>	147
МЕТОДЫ БИОИНДИКАЦИИ КАК СПОСОБ ОЦЕНКИ И УПРАВЛЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИМИ РИСКАМИ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ ПРОТИВОГОЛОЛЕДНЫХ МАТЕРИАЛОВ (НА ПРИМЕРЕ ГАЛИТА) <i>В. М. Василькевич, Р. В. Богданов, М. А. Атрошко.....</i>	150
ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ПРОРАСТАНИЕ РАЗЛИЧНЫХ СОРТОВ СЕМЯН ЯЧМЕНЯ <i>С. О. Гапоненко, А. В. Бардюкова.....</i>	153
ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ИКСОДОВЫХ КЛЕЩЕЙ В НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТАХ С РАЗЛИЧНОЙ СТЕПЕНЬЮ УРБАНИЗАЦИИ, ВЛИЯНИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК НА ИКСОДИД <i>Л. И. Исаченко, Ю. Г. Лях.....</i>	157
ПРИМЕНЕНИЕ ТЕСТ-СИСТЕМ, ПРЕДСТАВЛЕННЫХ БЕСПОЗВОНОЧНЫМИ, ДЛЯ БИОТЕСТИРОВАНИЯ ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА – РАСТВОРОВ ПРОЯВИТЕЛЕЙ <i>С. Н. Камлюк, О. А. Борис, Т. Н. Гомолко</i>	160
ФИЗИОЛОГО-БИОХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОЦЕНКИ АДАПТАЦИИ АГРОЦЕНОЗОВ К ЗАГРЯЗНЕНИЮ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ И РАДИОНУКЛИДАМИ <i>В. Ф. Ковалев, Е. В. Журавков, Н. В. Гончарова</i>	163
ЭКТОПАРАЗИТЫ ОХОТНИЧЬИХ ПТИЦ БЕЛАРУСИ И ИХ ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ЗНАЧЕНИЕ <i>Ю. Г. Лях, М. А. Солодкий.....</i>	167
СЕРЫЙ ГУСЬ (<i>ANSER ANSER</i>) – ПРЕДСТАВИТЕЛЬ ОХОТНИЧЬИХ ПЕРЕЛЕТНЫХ ПТИЦ БЕЛАРУСИ И ЕГО ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ РОЛЬ В РАСПРОСТРАНЕНИИ ИНВАЗИОННЫХ БОЛЕЗНЕЙ <i>Ю. Г. Лях, Е. А. Сухоцкая.....</i>	170
ОБЩЕОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ ПРЕДМЕТ «БИОЛОГИЯ» И ЕГО ЗНАЧЕНИЕ В ВЫБОРЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ <i>Я. А. Марченко, Ю. Г. Лях</i>	174

СОДЕРЖАНИЕ В ВЕГЕТАТИВНЫХ И ГЕНЕРАТИВНЫХ ОРГАНАХ МАЛИНЫ (<i>RUBUS IDAEUS L.</i>) ⁹⁰ SR ПРИ ПОВЕРХНОСТНОМ ЕГО РАСПОЛОЖЕНИИ НА ПОЧВЕ <i>А. И. Мельченко, Т. Г. Гераськина, Е. А. Мельченко, М. А. Мазиров</i>	177
ИССЛЕДОВАНИЕ ТОКСИЧЕСКОГО И ГЕНОТОКСИЧЕСКИХ ЭФФЕКТОВ СИНТЕТИЧЕСКИХ ПИЩЕВЫХ КРАСИТЕЛЕЙ МЕТОДОМ ALLIUM TEST <i>О. В. Новик, О. В. Лозинская</i>	181
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ СИСТЕМАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ДИАТОМОВЫХ КОМПЛЕКСОВ ФИТОПЛАНКТОНА И КАЧЕСТВО ВОДЫ РЕК НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКА «ПРИПЯТСКИЙ» <i>И. В. Рышкель, О. С. Рышкель, И. М. Назаров</i>	184
ЭКОЛОГО-БИОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПТИЦ ПАРКОВЫХ КОМПЛЕКСОВ ГОРОДА МИНСКА <i>Е. К. Свистун, М. Г. Ясовеев</i>	187
БОГОМОЛ <i>MANTIS RELIGIOSA</i> В БЕЛАРУСИ: РАСПРОСТРАНЕНИЕ И ОСОБЕННОСТИ РАЗВИТИЯ В НЕВОЛЕ <i>Е. В. Сержантова, Е. Т. Титова, Т. П. Сергеева</i>	190
РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ КОПЫТНЫХ ЖИВОТНЫХ НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКА «ПРИПЯТСКИЙ» И ИХ СРЕДЫ ОБИТАНИЯ <i>А. А. Сулковская, М. В. Пащук, Е. Г. Бусько</i>	193
ОСОБЕННОСТИ ЭКОЛОГИИ ОРНИТОЛОГИЧЕСКОГО НАСЕЛЕНИЯ РЕКИ СВИСЛОЧЬ <i>А. В. Хандогий, А. В. Жилкевич</i>	198
ЗАВИСИМОСТЬ ПЛОТНОСТИ НАСЕЛЕНИЯ И ОКРАСОЧНОГО ПОЛИМОРФИЗМА СИНАНТРОПНОГО СИЗОГО ГОЛУБЯ (<i>COLUMBA LIVIA VAR. URBANA</i>) ОТ ТИПОЛОГИИ И ГРАДООБРАЗУЮЩЕЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ГОРОДОВ <i>И. М. Хандогий, В. Д. Падуто, М. В. Можейко</i>	201
ДИНАМИКА НАКОПЛЕНИЯ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В ДРЕВЕСИНЕ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ УСЛОВИЙ МЕСТОПРОИЗРАСТАНИЯ И ФАЗЫ ВЕГЕТАЦИИ <i>А. Н. Хох, С. С. Позняк</i>	204
ДОПОЛНЕНИЕ К ПЕРЕЧНЮ ФИТОПАТОГЕННЫХ МИКРОМИЦЕТОВ ГОРОДА СОЛИГОРСКА И ЕГО ОКРЕСТНОСТЕЙ <i>А. К. Храмуков, В. А. Глазова</i>	207
RADIOECOLOGICAL RESEARCHES USING DIFFERENT ANALYTICAL TECHNIQUES <i>E. Shavalda, W. Badawy, Yu. Aleksiyayenak</i>	211
МОДИФИЦИРУЮЩЕЕ ДЕЙСТВИЕ ЗАСОЛЕНИЯ СРЕДЫ НА ПРОРАСТАНИЕ ГАММА-ОБЛУЧЕННЫХ СЕМЯН <i>Н. В. Шамаль, В. И. Гапоненко, Т. И. Милевич</i>	214
МОНИТОРИНГ ГЕЛЬМИНТОФАУНЫ ЗЕМЛЕРОЙКОВЫХ МЛЕКОПИТАЮЩИХ, НАСЕЛЯЮЩИХ БЕРЕГА МЕЛИОРАТИВНЫХ КАНАЛОВ НА ВЫГОНАХ БЕЛОРУССКОГО ПОЛЕСЬЯ <i>В. В. Шималов</i>	218
ИНВАЗИЯ ОМЕЛЫ БЕЛОЙ (<i>VISCUM ALBUM L.</i>) В БЕЛАРУСИ, ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЕЕ ЧИСЛЕННОСТИ И ВОЗРАСТНОЙ СТРУКТУРЫ <i>В. А. Юрель, Ю. Г. Лях</i>	222

ЯДЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

ПРОГРАММНО-АППАРАТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАДИАЦИОННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ МЕСТНОСТИ <i>Е. В. Быстров, Е. А. Коновалов, Д. И. Комар, С. В. Прибылев</i>	229
ДЕТЕКТИРОВАНИЕ СОЛНЕЧНЫХ НЕЙТРИНО: ДЕЙСТВУЮЩИЕ И ПРОЕКТИРУЕМЫЕ НЕЙТРИННЫЕ ТЕЛЕСКОПЫ <i>Д. С. Василевская, О. М. Бояркин</i>	232
АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УЧЕТА И КОНТРОЛЯ ЯДЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ «АТОМИС КЕЕПЕР» <i>М. С. Веренчикова, Е. М. Хаджинов, А. А. Беспалый, А. В. Тереня, Т. С. Стельмак, О. М. Хаджинова</i>	235

СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К ОБЕСПЕЧЕНИЮ РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ: ИЕРАРХИЧЕСКАЯ МАТРИЦА НОРМАТИВНЫХ ПРАВОВЫХ АКТОВ «АВАРИЙНАЯ ГОТОВНОСТЬ И РЕАГИРОВАНИЕ» <i>М. Г. Герменчук, Е. К. Нилова, А. А. Загороднюк</i>	239
МИКРОСТРУКТУРА БЫСТРОЗАТВЕРДЕВШИХ ФОЛЬГ СПЛАВОВ AL – SN <i>О. В. Гусакова, А. Н. Скибинская, Ю. М. Шулья</i>	243
РАДИАЦИОННЫЙ КОНТРОЛЬ ЛЕСНОЙ ПРОДУКЦИИ <i>А. В. Домненкова, Л. Н. Карбанович</i>	246
МОДЕЛИРОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ДЕТЕКТОРОВ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ МЕТОДОМ МОНТЕ-КАРЛО <i>А. И. Дубровский, В. А. Береснева</i>	250
РАДИАЦИОННОЕ ОБСЛЕДОВАНИЕ БЕСХОЗЯЙНЫХ ИСТОЧНИКОВ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ <i>И. В. Жук, К. В. Гусак, М. В. Конопелько</i>	252
РАДОН В ВОЗДУХЕ ЖИЛЫХ ПОМЕЩЕНИЙ НА ТЕРРИТОРИИ БЕЛАРУСИ <i>И. В. Жук, А. А. Сафронова, М. В. Конопелько</i>	256
ОЦЕНКА ДОЗОВЫХ НАГРУЗОК ТРИТИЯ НА РАЗЛИЧНЫЕ ВОЗРАСТНЫЕ ГРУППЫ НАСЕЛЕНИЯ НА НАЧАЛЬНОЙ СТАДИИ СТРОИТЕЛЬСТВА БЕЛОРУССКОЙ АЭС <i>В. В. Журавков, А. Н. Скибинская, С. С. Позняк</i>	259
ОЦЕНКА ПРЕИМУЩЕСТВ ДВУХЗОННОЙ ЗАГРУЗКИ КОНТЕЙНЕРОВ ПРИ ТРАНСПОРТИРОВКЕ И ХРАНЕНИИ ОТРАБОТАВШЕГО ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА БЕЛОРУССКОЙ АЭС <i>А. В. Кузьмин, В. Г. Ковалевич</i>	262
БИОЛОГИЧЕСКИЕ ПЛОЩАДКИ МОНИТОРИНГА РАДИАЦИОННО-ОПАСНЫХ ОБЪЕКТОВ <i>Н. В. Ларионова, О. Н. Ляхова, В. С. Ким</i>	266
ИСТОЧНИКИ ПОСТУПЛЕНИЯ ТРИТИЯ В ВОЗДУШНУЮ СРЕДУ В МЕСТАХ ПРОВЕДЕНИЯ ЯДЕРНЫХ ИСПЫТАНИЙ <i>О. Н. Ляхова, Л. В. Тимонова, З. Б. Сержанова, Н. В. Ларионова</i>	269
ОЦЕНКА ИНДИВИДУАЛИЗИРОВАННЫХ ДОЗ ВНЕШНЕГО ОБЛУЧЕНИЯ ЛИЦ, ПОДВЕРГШИХСЯ ВОЗДЕЙСТВИЮ РАДИАЦИИ ВСЛЕДСТВИЕ КАТАСТРОФЫ НА ЧАЭС <i>А. Н. Матарас, Л. Н. Эвентова, Н. Г. Власова</i>	272
РАДИАЦИОННО-ГИГИЕНИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ НА ОБЪЕКТАХ УРАНОВОГО НАСЛЕДИЯ СЕВЕРНОГО ТАДЖИКИСТАНА <i>У. М. Мирсаидов, М. З. Ахмедов, М. М. Махмудова, Ш. Г. Шошафарова</i>	276
БЛОК ДЕТЕКТИРОВАНИЯ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ НА ОСНОВЕ ПЛАСТИЧЕСКОГО СЦИНТИЛЛЯТОРА И SiPM <i>В. А. Михайлов, Г. Я. Новиков, И. Ф. Емельянчик</i>	279
ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЯДЕРНОЙ И РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ОБРАЩЕНИИ С ОТРАБОТАВШИМ ЯДЕРНЫМ ТОПЛИВОМ <i>О. Э. Муратов</i>	281
ОТРАБОТКА МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАДИОАКТИВНЫХ ГАЗОВ В АТМОСФЕРНОМ ВОЗДУХЕ В ПРОЦЕССЕ ОБРАЩЕНИЯ С ОЯТ <i>Л. В. Тимонова, О. Н. Ляхова, С. С. Бабешкин</i>	285
АНАЛИЗ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ МОДЕЛИ ОЦЕНКИ ДОЗЫ ОБЛУЧЕНИЯ ЩИТОВИДНОЙ ЖЕЛЕЗЫ ВСЛЕДСТВИЕ РАДИОАКТИВНЫХ ВЫБРОСОВ АЭС <i>С. С. Третьякевич</i>	288
ОБРАЩЕНИЕ С ОТХОДАМИ АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ КАК ОБЪЕКТ ЭКОЛОГО-ПРАВОВОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ <i>С. А. Шестовская</i>	291

Научное издание

**«САХАРОВСКИЕ ЧТЕНИЯ 2019 ГОДА:
ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ XXI ВЕКА**

**SAKHAROV READINGS 2019:
ENVIRONMENTAL PROBLEMS
OF THE XXI CENTURY**

Материалы 19-й международной научной конференции

23–24 мая 2019 г.

г. Минск, Республика Беларусь

В трех частях
Часть 2

В авторской редакции

Корректоры: Л. М. Кореневская, А. В. Красуцкая, Т. А. Лавринович

Компьютерная верстка: М. Ю. Мошкова

Дизайн обложки: иллюстрация «Астролог» из второго тома трактата Роберта Флудда

«О космическом двуединстве» (Франкфурт, 1619 год)

Подписано в печать 14.05.19. Формат 60×84 1/8.

Гарнитура Times. Усл. печ. л. 34,9. Тираж 200 экз. Заказ 175.

Республиканское унитарное предприятие «Информационно-
вычислительный центр Министерства финансов Республики Беларусь».

Свидетельства о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий

№1/161 от 27.01.2014, №2/41 от 29.01.2014.

Ул. Кальварийская, 17, 220004, г. Минск.