

**НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЯДЕРНЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ «МИФИ»**

**ОБНИНСКИЙ ИНСТИТУТ АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ  
(ИАТЭ НИЯУ МИФИ)**

**ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ И ТЕХНОЛОГИЙ  
(ИЯФИТ НИЯУ МИФИ)**

# **ТЕХНОГЕННЫЕ СИСТЕМЫ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ РИСК**

**VIII МЕЖДУНАРОДНАЯ (XXI РЕГИОНАЛЬНАЯ)  
НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ**

**Тезисы докладов  
Обнинск, 17-18 апреля 2025 г.**

**Обнинск 2025**



УДК 504.5(063):621.039

ББК 20.1:30.13

Т 38

VIII Международная (XXI Региональная) научная конференция «Техногенные системы и экологический риск»: Тезисы докладов. – Обнинск: ИАТЭ НИЯУ МИФИ, 2025. – 384 с.

Материалы конференции освещают проблемы безопасности функционирования производств, развития современных экологических технологий, утилизации отходов промышленного производства и ядерной энергетики, внедрения интеллектуальных цифровых технологий, проблемы экологической химии, современные методы прогноза, оценки и управления рисками, способы биоиндикации и биотестирования объектов среды, экологические аспекты действия ионизирующих и неионизирующих излучений.

Издание подготовлено для ученых, преподавателей и студентов, в область интересов которых входят перечисленные проблемы.

Ответственный редактор А.А. Удалова

Статьи получены до 17 апреля 2025 г.

Материалы издаются в авторской редакции.

ISBN 978-5-7262-3177-8

© ИАТЭ НИЯУ МИФИ, 2025

## **ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ**

### **VIII Международной (XXI Региональной) научной конференции «ТЕХНОГЕННЫЕ СИСТЕМЫ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ РИСК»**

#### **Председатель:**

**Удалова Алла Александровна**, д.б.н., профессор отделения ядерной физики и технологий ИАТЭ НИЯУ МИФИ

#### **Члены программного комитета:**

**Алексанов Виктор Валентинович**, к.б.н., главный специалист ГБУ КО “Дирекция парков”, г.Калуга

**Амосова Наталья Владимировна**, к.б.н., доцент отделения биотехнологий, ИАТЭ НИЯУ МИФИ, г. Обнинск

**Белюсов Павел Анатольевич**, к.т.н., доцент отделения ядерной физики и технологий ИАТЭ НИЯУ МИФИ, г. Обнинск

**Бондарева Лидия Георгиевна**, к.х.н., ведущий научный сотрудник, ФБУН «ФНЦГ им. Ф.Ф. Эрисмана» Роспотребнадзора, г. Москва

**Булгаков Владимир Георгиевич**, к.ф.-м.н., заместитель генерального директора - директор ИПМ, ФГБУ «НПО «Тайфун», г. Обнинск

**Гераськин Станислав Алексеевич**, д.б.н., профессор, заведующий лабораторией радиобиологии и экотоксикологии растений, НИЦ «Курчатовский институт» – ВНИИРАЭ, г. Обнинск

**Каткова Маргарита Николаевна**, к.б.н., заведующий лабораторией радиационного мониторинга, ФГБУ «НПО «Тайфун», г. Обнинск

**Колесов Валерий Васильевич**, к.ф.-м.н., доцент отделения ядерной физики и технологий ИАТЭ НИЯУ МИФИ, г. Обнинск

**Комарова Людмила Николаевна**, д.б.н., профессор отделения биотехнологий, ИАТЭ НИЯУ МИФИ, г. Обнинск

**Копылова В.С.**, учитель биологии и химии, методист ЧОУ "Обнинская свободная школа", г. Обнинск

**Лаврентьева Галина Владимировна**, д.б.н., директор института естествознания, КГУ им. К.Э. Циолковского, г. Калуга

**Лашенова Татьяна Николаевна**, д.б.н., ведущий научный сотрудник, ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России

**Маскевич Сергей Александрович**, д.ф.-м.н., профессор, Белорусский государственный университет, г. Минск, Беларусь

**Мельникова Татьяна Вадимовна**, к.х.н., доцент отделения ядерной физики и технологий, ИАТЭ НИЯУ МИФИ, г. Обнинск

**Нахабов Александр Владимирович**, к.т.н., доцент отделения ядерной физики и технологий, ИАТЭ НИЯУ МИФИ, г.Обнинск

**Перов Сергей Юрьевич**, д.б.н., заведующий лабораторией электромагнитных полей, ФГБНУ "Научно-исследовательский институт медицины труда имени академика Н.Ф. Измерова", г. Москва

**Полякова Людмила Павловна**, к.х.н., доцент отделения ядерной физики и технологий, ИАТЭ НИЯУ МИФИ, г. Обнинск

**Рассказова Марина Михайловна**, к.б.н., доцент отделения биотехнологий, ИАТЭ НИЯУ МИФИ, г. Обнинск

**Самохин Дмитрий Сергеевич**, к.т.н., доцент отделения ядерной физики и технологий, ИАТЭ НИЯУ МИФИ, г. Обнинск

**Сарапульцева Елена Игоревна**, д.б.н., профессор отделения биотехнологий, НИЯУ МИФИ, г. Москва

**Старков Сергей Олегович**, д.ф.-м.н., с.н.с., профессор отделения интеллектуальных кибернетических систем ИАТЭ НИЯУ МИФИ, г. Обнинск

**Сынзыныс Борис Иванович**, д.б.н., профессор отделения ядерной физики и технологий, ИАТЭ НИЯУ МИФИ, г. Обнинск

**Фомин Роман Васильевич**, к.т.н., доцент отделения ядерной физики и технологий, ИАТЭ НИЯУ МИФИ, г.Обнинск

**Шубина Ольга Андреевна**, к.б.н. заместитель директора по научной работе, НИЦ «Курчатовский институт» – ВНИИРАЭ, г. Обнинск

**Эпштейн Наталья Борисовна**, д.фарм.н., профессор отделения биотехнологий, ИАТЭ НИЯУ МИФИ, г. Обнинск

**Gadirova Elmina M.**, Ph.D., Associated Professor, Department of Ecological Chemistry, Baku State University, Baku, Azerbaijan

**Ticona Peralta R.D.**, PhD., Academic Director, Department of Physics, Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, Bolivia

## СЕКЦИЯ 1. ЯДЕРНАЯ И ТЕПЛОВАЯ ЭНЕРГЕТИКА

### APPLICATION OF GENETIC ALGORITHM FOR ESTIMATING WEIBULL PARAMETERS FOR INCIDENTS AT A NUCLEAR POWER PLANT

*D. Ndlela, D.S. Samokhin*

*Obninsk Institute for Nuclear Power Engineering, Obninsk Russia*

A critical component of reliability analysis in nuclear power plants is modeling the time between failures (TBF) of equipment using statistical methods. The two-parameter Weibull distribution—defined by the probability density function

$$f(t; \alpha, \rho) = \rho \cdot \alpha \cdot (\rho t)^{\alpha-1} \cdot \exp[-(\rho t)^\alpha]$$

where  $t$  represents time,  $\alpha$  is the shape parameter, and  $\rho$  is the rate parameter (with the scale parameter defined as  $\eta=1/\rho$ ) is widely used for this purpose. Traditional techniques, such as linear regression applied to a double-logarithmic transformation of the cumulative distribution function, have yielded parameter estimates of approximately  $\alpha \approx 4.37$  and  $\rho \approx 0.002844$  (implying a characteristic life  $\eta \approx 351.74$ ). However, these methods can be sensitive to data noise and non-linear behavior [1].

To overcome these limitations, a Genetic Algorithm (GA) was employed to optimize the parameter estimation process. The GA begins with a population of candidate solutions, with  $\alpha$  and  $\rho$  initially distributed over the ranges [0.1, 5.0] and [0.001, 0.05], respectively. An objective function specifically, the chi-squared ( $\chi^2$ ) statistic, defined as:

$$\chi^2 = n \sum_{i=1}^k (f_i^E - f_i^T)^2 / (f_i^T + \varepsilon)$$

where  $f_i^E$  and  $f_i^T$  denote the empirical and theoretical frequencies in each histogram bin,  $n$  is the total number of observations, and  $\varepsilon$  is a small constant is minimized over successive generations. This iterative process (involving selection, mutation, and crossover) produced improved estimates of  $\alpha \approx 3.2547$  and  $\rho \approx 0.002991$ .

The TBF data used in this study ranging from 222 to 467 hours represents a series of measured intervals between consecutive failures at the nuclear power plant. Rather than focusing on each indi-

vidual value, this dataset provides a representative sample that captures the variability of system performance under normal operating conditions, thereby serving as a robust foundation for statistically modeling failure behavior with the Weibull distribution.

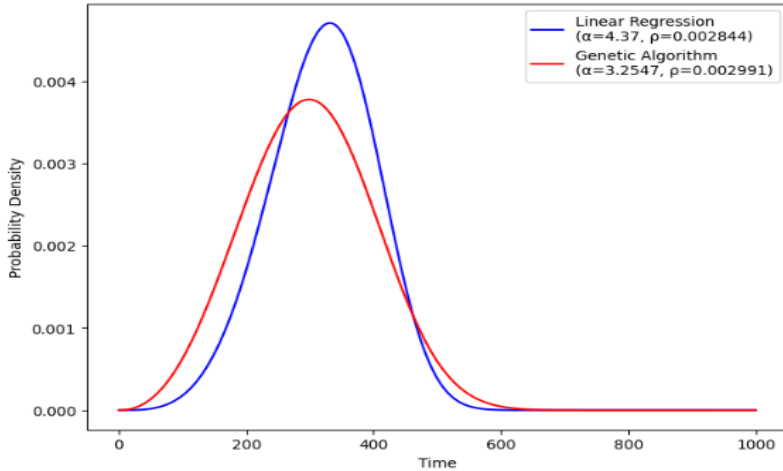


Fig.1. Parameter estimation results.

Fig.1 illustrates the comparison between the Weibull probability density functions obtained from the traditional linear regression method and the GA approach. The diagram shows that the GA-derived curve, with a lower shape parameter, indicates a more moderate hazard rate, thus better capturing the non-linear characteristics of the time between failure data.

By substituting the derived formulas with the optimal numerical values, it is evident that the GA provides a more robust fit in the presence of data noise. This enhanced model accuracy is critical for developing reliable predictive maintenance strategies and for ensuring the overall safety of nuclear reactor operations. The use of advanced heuristic techniques such as the Genetic Algorithm marks a significant improvement over traditional methods, offering both higher precision and greater adaptability to complex datasets [2].

## *References*

1 Modarres M., Kaminskiy M.P., Krivtsov V. Reliability Engineering and Risk Analysis: A Practical Guide, Third Edition (3rd ed.). – Boca Raton: CRC Press, 2016.– 522 p.

2 Yao T., Sethares C., Bucklew J. Using real-coded genetic algorithms for Weibull parameter estimation // Computers & Industrial Engineering. – 1995.– V. 29.– №. 1–4.– P. 439–442.

## **MODELING OF A POLYETHYLENE PRISM DEVICE FOR CALIBRATION OF NEUTRON DETECTORS**

*D.G. Veretennikov*

*National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia*

Accurate measurement of low reactor neutron fluence rates is essential for ensuring nuclear reactor safety, optimizing performance, and supporting research applications. This study focuses on modeling a device designed to generate a directed neutron flux using a horizontal collimation channel equipped with a Pu-Be neutron source. The device is intended for experiments requiring low neutron fluence rates, and its functionality was evaluated using the PHITS and SOURCES-4C codes to assess neutron fluence rates and radiation dose rates, ensuring compliance with safety standards.

The device utilizes a polyethylene prism to moderate and direct neutrons, with IBN-10 neutron sources positioned at the end of the collimation channel. The neutron spectrum was reconstructed using the SOURCES-4C code, while PHITS simulations were employed to analyze particle transport, fluence rates, and effective dose rates.

The IBN-10 source in air produced neutron fluence rates consistent with reference data, validating the accuracy of the model. In the polyethylene prism, thermal neutron fluence rates increased significantly due to neutron moderation, while gamma radiation fluence rates rose as a result of neutron capture processes.

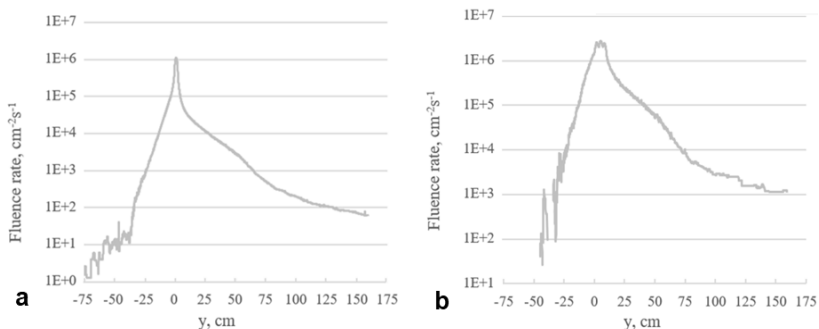


Fig. 1. Neutron fluence rate distribution along the channel:  
 a) one IBN-10 source; b) eighteen IBN-10 sources.

Effective dose rates remained within occupational exposure limits, with permissible annual operating times extending up to 785 hours at a distance of 1 m from the device.

The results demonstrate that the device can achieve neutron fluence rates suitable for fission chamber calibration, ranging from  $10^2$  to  $10^5$   $\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ , depending on the distance from the source and the number of sources installed in the collimation channel.

This research highlights the device's potential for conducting experiments under low neutron fluence rate conditions, providing a practical alternative to reactor-based experiments.

## References

- 1 Mokhtari J., Choopan Dastjerdi M.H., Soleimani B. Improvement of the quality of neutron radiography beamlines in Isfahan MNSR // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment. – 2023. – V. 1056:168660.
- 2 Moslehi A., Choopan Dastjerdi M., Torkzadeh F., Mokhtari J. Feasibility study of Isfahan MNSR as a calibration thermal neutron source // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment. – 2022. – V. 1024:166026.

## **АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОПТИМИЗАЦИИ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ НАТРИЕВОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

*И.А. Бессонов, А.Д. Лезов, П.А. Ревякина, Д.И. Завадский,  
Е.Р. Клебанский, С. А. Осанкин, О.Л. Ташильков  
ФГАОУ ВО «УрФУ имени первого  
Президента России Б.Н. Ельцина» , г.Екатеринбург, Россия*

Одним из основных важных параметров, описывающих эксплуатацию проекта, являются экономико-технические показатели. Одним из многих компонентов, влияющих на них, является продолжительность ремонтной кампании.

Основное время, требуемое для проведения ремонтных работ, является подготовка и перевод оборудования в безопасное для выполнения работ состояние. Оборудование реакторной установки БН-600 обладает определённой термической инерционностью, за счет фазового перехода жидкого натрия в твердое состояние. Бак запаса натрия был выбран в качестве первого объекта моделирования. Он предназначен для хранения натрия на момент ремонтных работ. После останова реактора электрообогрев отключается и натрий становится замершим. Было установлено, что время, требуемое для охлаждения натрия, занимает 5 недель. Таким образом возникает актуальность в определении способов оптимального и безопасного перевода оборудования в состояние, пригодное для ремонта.

Ремонт оборудования – одна из основных частей жизненного цикла АЭС. Его проведение должно выполняться в соответствии с требованиями в области охраны труда. При определении способов, способных сократить время проведения ремонтных работ, необходимо строго придерживаться данных правил [1]. Одним из методов, определяющих данные способы, является компьютерное моделирование.

Компьютерное моделирование на сегодняшний день занимает передовые позиции в визуализации и расчетах технологических процессов, протекающих в тепломеханическом оборудовании атомных станций (АС).

В данной работе был произведен анализ компьютерной модели натриевого оборудования с учетом внутреннего течения рабочего тела. Для моделирования фазового перехода жидкого натрия под влиянием внешних факторов использовался вычислительный пакет COMSOL. Multiphysics [2].

Было проведено моделирование расхолаживания бака запаса натрия от параметров режима нормальной эксплуатации до состояния, пригодного для ремонта. Расчет проводился в два этапа. Первый этап рассчитывался до тех пор, пока температура под теплоизоляцией достигнет 45 °С. Затем был выполнен второй этап моделирование, начальным условием для которого являлось поле температур, полученное по результат расчета первого этапа. Основным отличим второго этапа от первого является отсутствие теплоизоляции.

В результате моделирования получена модель, описывающая процессы, протекающие в натриевом оборудовании до и после снятия теплоизоляции. Определено время, которое удастся сократить путем снятия тепловой теплоизоляции, а также время, требуемое для расхолаживания трубопровода без слоя теплоизоляции из прошитого базальтового мата. Полученные результаты будут использованы для планирования работ с целью снижения продолжительности ремонта, в частности времени на расхолаживание натриевого оборудования второго контура реакторной установки БН-600 [3].

### *Литература*

1 Ташлыков О.Л., Наумов А.А., Щеклеин С.Е. Моделирование процесса замораживания натрия в трубопроводах с целью оптимизации ремонта реакторных установок на быстрых нейтронах // Известия высших учебных заведений. Ядерная энергетика. – 2013. – № 2. – С. 21-26.

2 Программный пакет COMSOL Multiphysics – проектирование, прогнозирование // Сайт «COMSOL Multiphysics» [Электронный ресурс]: Режим доступа: <https://www.comsol.ru/comsol-multiphysics> (дата посещения 26.02.2024)

3 Ташлыков О.Л. Ремонт оборудования атомных станций: – Екатеринбург: Изд-во Урал. Ун-та, 2018. – 352 с.

## **ВЕРИФИКАЦИЯ МОДЕЛИ РЕАКТОРА AP-1000 В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ SERPENT**

*М.З. Буркеев, Р.А. Внуков*

*Обнинский институт атомной энергетики – филиал  
Национального исследовательского ядерного  
университета «МИФИ», г. Обнинск, Россия*

В работе представлена модель американского водо-водяного реактора под давлением PWR (AP-1000), разработки Вестингауз. Основные данные для моделирования взяты из [1]. В качестве топлива рассматривался диоксид урана различного обогащения. Для компенсации избыточной реактивности моделировались органы СУЗ (в ряде моделей во взведенном положении, в т.ч. при расчетах выгорания топлива), раствор борной кислоты в теплоносителе, твэги в ТВС. Особенность ТВС периферийных рядов реактора PWR в отличие от ВВЭР в наличии ассиметрии при размещении твэгов. Поперечный и продольный срезы реактора представлены на рис. 1.

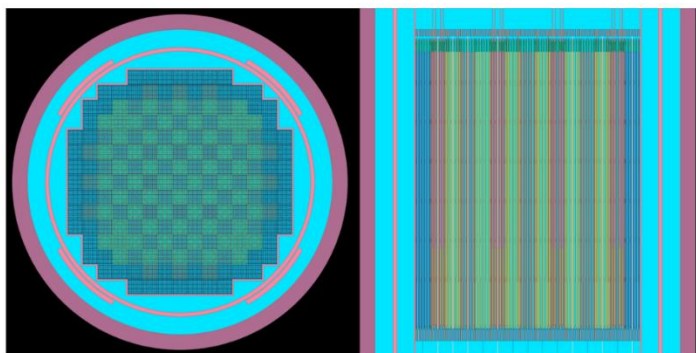


Рис. 1. Поперечный и продольный срезы модели PWR.

В работе в расчетных условиях, принятых из [1], получен эффективный коэффициент размножения и другие функционалы

(распределение неравномерности энерговыделения по активной зоне в начале кампании, выгорание топлива, расчет концентрации борной кислоты в теплоносителе при выгорании).

Результаты показали, что для варианта с полностью погруженными ОР СУЗ без борной кислоты  $K_{эфф} = 1.0934 \pm 0.0002$ , для аналогичной модели с борной кислотой 1.6 г/кг  $K_{эфф} = 0.9568 \pm 0.0002$ . Подобрана концентрация борной кислоты (1 г/кг) при опущенных ОР СУЗ для получения  $K_{эфф} = 1.0000 \pm 0.0002$ .

Для уточнения полученного результата требуется более детальное понимание материала, представленного в [1]. В перспективе возможно использование кода для исследования потенциально новых составов, необходимых для нужд ядерной энергетики.

### *Литература*

1 Horelik N., Herman B., Forget B., Smith K. Benchmark for Evaluation and Validation of Reactor Simulations (BEAVRS), v1.0.1. / Proc. Int. Conf. Mathematics and Computational Methods Applied to Nuc. Sci. & Eng. – Sun Valley: Idaho, 2013.

## **МЕТОДИКА ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ТЕЧИ В ТРУБОПРОВОДАХ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ**

*С.И. Бычков, М.И. Шкарупа*

*Обнинский институт атомной энергетики – филиал  
Национального исследовательского ядерного  
университета «МИФИ», г. Обнинск, Россия*

Цель работы: Обоснование целесообразности внедрения системы акустического мониторинга для обнаружения утечек в тепловых сетях с целью повышения их эксплуатационной надежности.

Методология: В качестве методологической основы использован метод акустического контроля, базирующийся на анализе акустических сигналов, возникающих при утечках теплоносителя в трубопроводах. Метод основан на регистрации и анализе

спектра шумов, возникающих при течи теплоносителя под давлением. Используются пьезоэлектрические датчики, устанавливаемые на поверхности трубопровода или запорной арматуры, для преобразования акустических колебаний в электрические сигналы. Для обработки сигналов применяется специализированное программное обеспечение, включающее алгоритмы цифровой фильтрации, спектрального анализа и классификации сигналов, основанные на анализе частотного состава и интенсивности акустического шума.

**Практическая ценность:** Разработка методики локализации и оценки объема утечек на основе акустического метода. Практическая реализация данной методики позволит оперативно выявлять и устранять повреждения, снижая риски аварийных ситуаций.

**Актуальность:** Тема контроля утечек в трубопроводах критически важна в связи с наблюдающимся снижением надежности тепловых сетей, что приводит к значительным экономическим и экологическим потерям, а также нарушениям теплоснабжения потребителей. Устаревшие системы мониторинга и отсутствие оперативных методов обнаружения утечек усугубляют проблему, приводя к перерасходу ресурсов, повреждению инфраструктуры и загрязнению окружающей среды. Своевременное обнаружение и устранение утечек не только снижает финансовые издержки, но и повышает безопасность эксплуатации трубопроводов, минимизируя риски аварий и обеспечивая стабильное и бесперебойное теплоснабжение.

**Особое внимание:** Исследование возможностей акустического метода для раннего обнаружения утечек, что позволяет минимизировать экономический ущерб и негативное воздействие на окружающую среду.

**Научная новизна:** Предложена методика непрерывного мониторинга утечек в тепловых сетях с использованием акустических датчиков и специализированного программного обеспечения для обработки сигналов. Подчеркивается необходимость перехода от дискретных (периодических) проверок к системе постоянного контроля.

Преимущества системы мониторинга: Снижение экономических и экологических рисков за счет оперативного обнаружения и локализации утечек, что позволяет предотвратить развитие аварийных ситуаций и минимизировать потери теплоносителя.

Применимость акустического метода: Практическая проверка акустического метода показала его пригодность для обнаружения утечек, что потребовало адаптации существующих алгоритмов обработки сигналов.

### *Литература*

1 Типовая инструкция по защите трубопроводов тепловых сетей от наружной коррозии. РД 153-34.0-20.518-2003. – М.: Новости теплоснабжения, 2003.

2 Методические рекомендации по техническому диагностированию трубопроводов тепловых сетей с использованием акустического метода. РД 153-34.0-20.673-2005. – М.: Новости теплоснабжения, 2006.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ОТРАЖАТЕЛЕЙ НА НЕЙТРОННО-ФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СВБР-100**

*А.А. Воронцова, В.В. Колесов, Р.А. Внуков  
Обнинский институт атомной энергетики – филиал  
Национального исследовательского ядерного  
университета «МИФИ», г. Обнинск, Россия*

Настоящее исследование является продолжением работы [1]. Цель – подобрать наилучший состав отражателя и его габариты с точки зрения потенциального увеличения топливной кампании при неизменности коэффициента накопления.

Была создана модель реактора СВБР-100, исходные данные приняты из [2]. Поперечный срез модели представлен на рис. 1. За корпусом реактора предлагается размещение отражателя. В качестве альтернативных составов изначально взятому в прошлой работе графиту приняты оксид бериллия, бериллий, гидрид циркония.

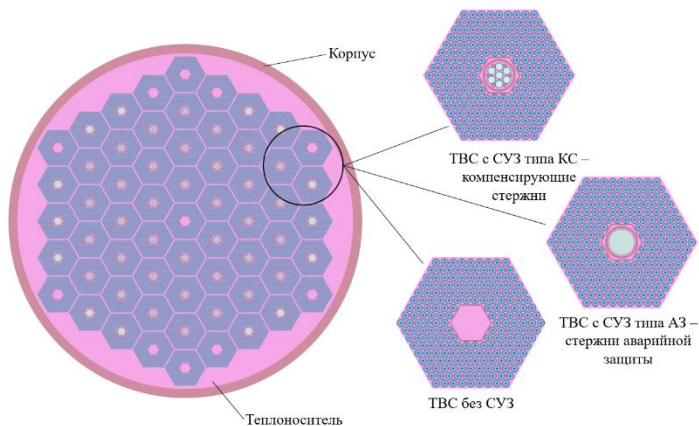


Рис. 1 Поперечный срез модели реактора СВБР-100.

Результаты показали существенное влияние выбора состава замедлителя на неравномерность энерговыделения периферийных ТВЭЛов в прилегающих к корпусу реактора ТВС, неравномерность энерговыделения активной зоны по ТВС.

### *Литература*

1 Воронцова А.А., Внуков Р.А., Колесов В.В. Влияние размера отражателя на длину кампании в маломодульных реакторах // Будущее атомной энергетики – AtomFuture 2024. XIX Международная научно-практическая конференция: Тезисы докладов. Обнинск, 05-06 декабря 2024 г. – Обнинск: ИАТЭ НИЯУ МИФИ, 2024. – С. 12-13.

2 Дьяченко А.И., Федоров М.И., Соловьев С.В. и др. Расчетные исследования в обоснование защищенности топливного цикла реактора СВБР-100 при использовании регенерированного урана // Известия вузов. Ядерная энергетика. – 2014. – № 4. – С. 71-81.

## **ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СКОРОСТЕЙ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ В РЕАКТОРАХ ТИПА ВВЭР СО СПЕКТРАЛЬНЫМ РЕГУЛИРОВАНИЕМ**

*С.А. Герасин, А.А. Воронцова*

*Обнинский институт атомной энергетики – филиал  
Национального исследовательского ядерного  
университета «МИФИ», г. Обнинск, Россия*

В научной литературе представлен ряд исследований, посвященных спектральному регулированию в реакторах типа ВВЭР [1, 3]. Одним из ключевых преимуществ таких реакторов по сравнению с классическими тепловыми является возможность увеличения коэффициента воспроизводства топлива до значений порядка 0,8 [3]. В данной работе проводится детальное исследование поведения теплоносителя при использовании межтвэльных вытеснителей, предложенных в работе [2].

Для численного моделирования использовался ПК Ansys с модулем CFX, позволяющая рассчитывать параметры жидкости, такие как векторное поле скоростей, распределение температур и давление.

Модель была построена на основе концепции ячейки ВВЭР-1200 с применением стержней-вытеснителей в межтвэльном пространстве. Радиусы вытеснителей варьировались от 0,5 до 2,5 мм. Шестиугольная ячейка включает топливо, газовый зазор, оболочку и окружающую воду. На вершинах ячейки предполагается установка шести секторов площадью  $1/3$  круга (рис. 1).

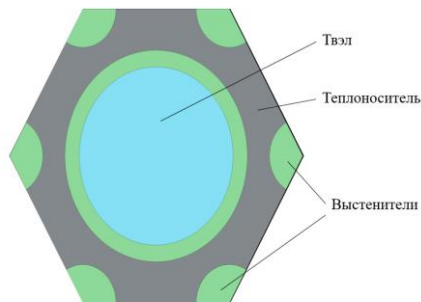


Рис. 1. Модель ячейки.

Результаты расчетов продемонстрировали наличие градиентов температур и поля скоростей. В случае применения вытеснителей с максимальным радиусом (2,5 мм) наблюдается отсутствие межтвэльного перемешивания теплоносителя: вблизи тепловыделяющего элемента формируются шесть изолированных потоков, практически не взаимодействующих между собой. Для оценки риска локального перегрева теплоносителя требуются дополнительные исследования, которые планируется провести в рамках дальнейших работ.

### *Литература*

1 Элазака А.И. Методики спектрального регулирования в реакторах с водой под давлением: дис. канд. техн. наук: 05.14.03. / НИЯУ МИФИ. – Москва, 2022. – 180 с.

2 Воронцова А.А., Внуков Р.А. Оценка возможности использования альтернативных топливных материалов в качестве вытеснителей в реакторах со спектральным регулированием // Волга-2024. Сборник тезисов Международной конференции молодых специалистов, ученых и аспирантов по физике ядерных реакторов. – Москва, 2024. – С. 51-52.

3 Вин Т. Сравнительный анализ эффективности использования различных схем спектрального регулирования запаса реактивности в реакторах на тепловых нейтронах: автореферат дис. канд. тех. наук: 05.14.03. – Москва, 2013. – 19 с.

## ПРОВЕДЕНИЕ СВЯЗАННОГО РАСЧЕТА ПРОФИЛИРОВАННОЙ ЯЧЕЙКИ ТВЭГ РЕАКТОРА ВВЭР-1200

*Э.А. Гердт, Р.А. Внуков*

*Обнинский институт атомной энергетики – филиал  
Национального исследовательского ядерного  
университета «МИФИ», г. Обнинск, Россия*

В работе рассматривается модель ТВЭГ с аксиальным профилированием по выгорающему поглотителю ( $^{155}\text{Gd}$ ). Согласно НП-094-15, изменение состава топлива должно сопровождаться обоснованием прочности и работоспособности тепловыделяющих элементов [1].

Поскольку методология предполагает перераспределение концентрации выгорающего поглотителя по высоте топливного столба с целью выравнивания аксиального поля энерговыделения, то происходит и изменение температурного поля в направлении оси стержня. Изменение температурного поля оказывает влияние на градиенты термических напряжений. Таким образом, становится необходимым проведение связанного расчета “нейтроника-теплогидравлика-прочность”.

Одной из проблем проведения связанного расчета служит тот факт, что в открытом доступе нет точных данных о величине коэффициентов теплопроводности уран-гадолиниевого топлива. В ходе проведения литературного обзора была найдена работа посвященная аппроксимации экспериментальных данных о теплофизических свойствах уран-гадолиниевого топлива с содержанием  $\text{Gd}_2\text{O}_3$  6%, 7%, 9%, 10%.

На данном этапе исследования принималось необходимым выявить влияние распределения гадолиния в аксиальных зонах на распределение температур в ячейке, величины максимальных напряжений в оболочке и величин деформации. Для этого была составлена модель части ТВЭГ длиной 40 см с разбиением на 2 зоны (рис. 1). В этих зонах проводилось перераспределение гадолиния с рассмотрением крайнего случая (в верхней зоне только  $\text{UO}_2$ , в нижней – только  $\text{Gd}_2\text{O}_3$ ) и постепенным увеличением

равномерности распределения выгорающего поглотителя между зонами.

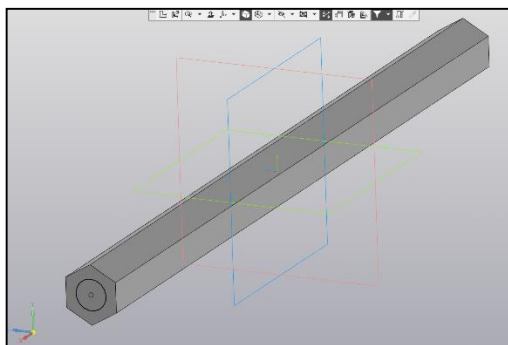


Рис. 1. Расчетная модель элемента профилированного ТВЭГ.

Далее для каждого варианта распределения  $Gd_2O_3$  по аксиальным зонам проводился нейтронно-физический расчет энерговыделений в зонах. После чего эти данные использовались в ПК ANSYS для расчета температур и напряжений в оболочке ТВЭГ.

В результате проведения связанного расчета было выявлено, что увеличение равномерности распределения выгорающего поглотителя приводит к снижению температуры оболочки ТВЭГ, снижению максимального напряжения в оболочке и снижению величины деформаций.

### *Литература*

Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии "Основные требования к обоснованию прочности и термомеханического поведения тепловыделяющих сборок и тепловыделяющих элементов в активной зоне водо-водяных энергетических реакторов" (НП-094-15) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://cntr-nrs.gosnadzor.ru/about/AKTS/НП-> (дата посещения 25.03.2025).

Федотов А.В. Лысиков А.В., Лутков М.А. Теплофизические свойства уран-гадолиниевых топливных таблеток ВВЭР с 6-10% по массе оксида гадолиния // Атомная энергия. – 2023. – Т. 135. – № 3-4. – С. 120-126.

## ИССЛЕДОВАНИЕ АКСИАЛЬНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ НАТРИЕВОГО ПУСТОТНОГО ЭФФЕКТА РЕАКТИВНОСТИ РЕАКТОРА ТИПА БН

*И.М. Губайдуллин<sup>1</sup>, К.А. Исанов<sup>2</sup>, Н.А. Закиров<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup> – Обнинский институт атомной энергетики – филиал  
Национального исследовательского ядерного  
университета «МИФИ», г. Обнинск, Россия*

*<sup>2</sup> – Акционерное общество «Государственный научный центр  
Российской Федерации – Физико-энергетический институт  
имени А.И.Лейпунского», г. Обнинск, Россия*

Перспективным направлением в развитии атомной энергетики является использование реакторов на быстрых нейтронах с натриевым теплоносителем. Установившиеся высокие темпы роста производства и потребления энергии требуют большого количества топлива. Источником наработки топливных ресурсов является данный тип реакторов. Они необходимы для реализации замкнутого ядерного топливного цикла.

Реакторы на быстрых нейтронах (РБН) отвечают всем требованиям безопасности и надежно эксплуатируются в течении нескольких десятилетий. Определяющую роль при безопасной эксплуатации РБН занимает натриевый пустотный эффект реактивности (НПЭР).

В современных проектах реакторов типа РБН, НПЭР вносит слаболожительную реактивность [1]. При рассмотрении данного эффекта разделяют спектральную и пространственную составляющие. Интегральный НПЭР является результирующим эффектом проявления спектральной (положительной) компоненты и компоненты утечки (отрицательной).

В работе уделено внимание исследованию пространственного распределения НПЭР при различных компоновках активной зоны. Для улучшения характеристик безопасности рассматривались (рис.1): активная зона с нижней торцевой зоной воспроизводства (НТЗВ), активная зона с НТЗВ и натриевой прослойкой и активная зона без НТЗВ с натриевой прослойкой. Данная проблема решается вариацией компоненты утечки при различной

компоновке. Натриевая прослойка позволяет изменить профиль распределения нейтронного потока по высоте, что позволяет увеличить область отрицательного эффекта реактивности и оптимизировать сценарий развития проектной и запроектной аварии.

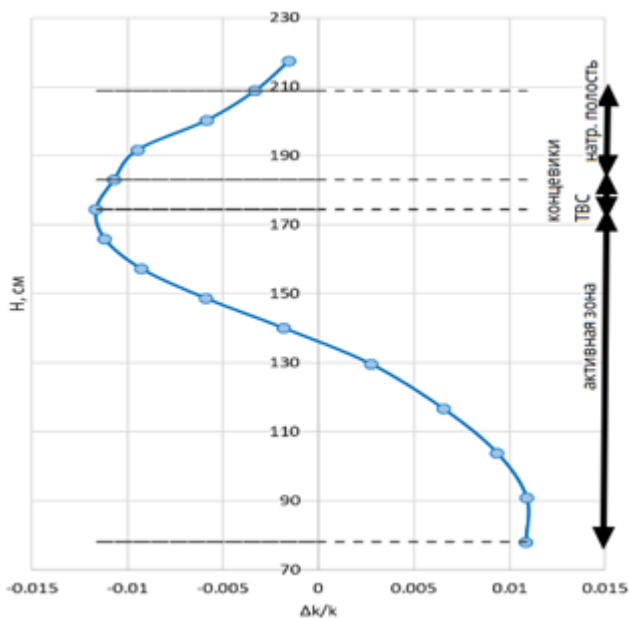


Рис. 1. Повысотное изменение реактивности при выкипании натрия.

### *Литература*

1 Ашурко Ю.М., Андреева К.А., Бурьевский И.В. и др. Исследование влияния натриевого пустотного эффекта реактивности на безопасность быстрого натриевого реактора большой мощности. // Известия вузов. Ядерная энергетика. – 2014. – № 3. – С. 5-14.

## **ВЫЖИГАНИЕ МИНОРНЫХ АКТИНИДОВ В БЫСТРОМ НАТРИЕВОМ РЕАКТОРЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЗАМЕДЛИТЕЛЯ**

*Ю.С. Данилюк, А.С. Кузнецов, А.М. Терехова, В.В. Колесов  
Обнинский институт атомной энергетики – филиал  
Национального исследовательского ядерного  
университета «МИФИ», г. Обнинск, Россия*

Одной из важных задач атомной энергетики в настоящее время является трансмутация радиоактивных изотопов минорных актинидов, таких как америция, нептуния, а также наработка полезных изотопов плутония или иных нуклидов. Для осуществления данной задачи исследуется возможность выжигания их в процессе работы реактора, влияние на эксплуатационные характеристики [1]. Также было рассмотрено влияние концентрации введенных минорных актинидов в оксидной форме.

В настоящее время проводятся исследования по выжиганию минорных актинидов в реакторах на тепловых нейтронах. Известен способ выжигания минорных актинидов в ядерных реакторах на тепловых нейтронах. Недостатками способа являются относительно невысокий поток нейтронов и сравнительно небольшое количество «лишних» нейтронов, что обусловлено небольшим запасом реактивности.

В реакторе на быстрых нейтронах поток нейтронов на два порядка выше, чем в тепловом реакторе. Наличие большого потока быстрых нейтронов позволяет ускорить процесс выжигания минорных актинидов. Кроме того, в реакторах на быстрых нейтронах присутствует боковой экран, который можно использовать для размещения облучаемыхборок. Поэтому целесообразно исследовать возможность выжигания минорных актинидов в быстром реакторе, создавая области с тепловым и промежуточным спектром энергий нейтронов [2].

Выжигание минорных актинидов в тепловом спектре приводит первую очередь к трансмутации изотопа. Высокий поток нейтронов способствует увеличению интенсивности первичного захвата нейтронов ядрами минорных актинидов, а также увели-

чивается вероятность деления промежуточных изотопов, образовавшихся в результате захвата нейтронов, по сравнению с их радиоактивным распадом [3].

На рис. 1 изображены две технологии облучения, исследуемые в данной работе.

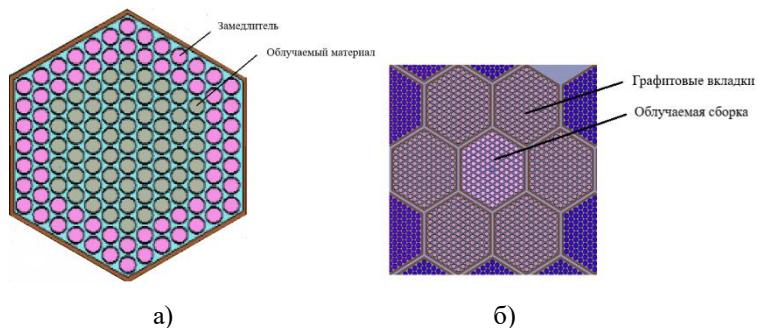


Рис. 1. Технологии облучения: а) – облучаемые ТВЭЛы окружены ТВЭЛами с замедлителем; б) – облучаемая ТВЭЛ окружена сборками с замедлителем.

В качестве расчетного обеспечения был использован программный код Serpent, основанный на методе Монте-Карло, для создания трёхмерной геометрии расчётной модели.

### *Литература*

1 Коробейников В.В., Колесов В.В., Терехова А.М., Каражелевская Ю.Е. Исследования возможности выжигания и трансмутации Am-241 в реакторе с америциевым топливом: Препринт ФЭИ–3284. – Обнинск, ГНЦ РФ–ФЭИ, 2018. – 14 с.

2 Патент № 2 645 718 С2 Российская Федерация, МПК G 21 G 1/00 (2006.01). Способ наработки радиоактивных изотопов в ядерном реакторе на быстрых нейтронах: № 2016131402: заявл. 2016.06.10: опубл. 2018.02.28 / Рисованный В. Д., Дуб А. В., Кондратьев Н. А. и др.; заявитель АО Наука и инновации. – 14 с.

3 Пооль К., Рютген Х.Й. Выжигание неосновных (минорных) актиноидов в энергетическом спектре высокотемпературного ядерного реактора с гелиевым теплоносителем и графитовым замедлителем // Атомная техника за рубежом. – 2015. – № 1. – С. 18-28.

## **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА НЕИЗОТЕРМИЧЕСКОГО ПЕРЕМЕШИВАНИЯ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ В НИЖНЕМ СОБИРАЮЩЕМ КОЛЛЕКТОРЕ ВТГР**

*А.А. Добров, С.М. Дмитриев*

*ФГБОУ ВО "Нижегородский государственный технический  
университет им. Р.Е. Алексеева", г. Нижний Новгород, Россия*

В качестве источника высокопотенциального тепла в реализуемом в настоящее время проекте атомной энерготехнологической станции рассматривается высокотемпературный газоохлаждаемый реактор (ВТГР). Одна из приоритетных задач при обосновании теплотехнической надежности реактора связана с неравномерностью энерговыделения в активной зоне реактора [1], в результате чего в нижний собирающий коллектор (НСК) поступают струи гелиевого теплоносителя с различной температурой. Для обоснования и обеспечения требуемого ресурса теплообменного оборудования первого контура необходимо исследование уровня температурной неравномерности потока теплоносителя на выходе из активной зоны и в собирающем коллекторе ВТГР.

Для решения этой задачи в НГТУ им. Р.Е. Алексеева создан исследовательский стенд ФТ-А1 с атмосферным воздухом в качестве рабочей среды (рис. 1). В работе [2] проведен обзор зарубежного опыта по экспериментальному решению подобной задачи и выполнен анализ подобия с определением критериев подобия, важных для исследуемого процесса. На основе проведенного анализа сформулированы основные требования к исследовательской установке.

Создана экспериментальная модель НСК ВТГР в масштабе 1:2,5. Проведено экспериментальное исследование профиля температуры потока теплоносителя в характерных сечениях НСК и горячего газохода. Исследовано распределение локальной скорости потока теплоносителя на входе и выходе горячего газохода.



Рис. 1. Аэродинамический стенд ФТ-А1 с моделью НСК ВТГР.

По результатам исследований рассчитаны значения интегрального параметра, характеризующего интенсивность перемешивания разнотемпературного потока теплоносителя в камере НСК ВТГР и в газоходе – коэффициента температурного перемешивания. Значение коэффициента температурного перемешивания в выходном сечении газохода составило 88,4%, что свидетельствует о неполном перемешивании потока теплоносителя. Полученное значение позволяет оценить степень неизо-термичности гелиевого теплоносителя в натуральных условиях ВТГР в зависимости от режима его работы.

### *Литература*

1 Диденко Д.В., Балуев Д.Е., Маров И.В. и др. Расчетное моделирование теплофизических процессов в высокотемпературном газоохлаждаемом реакторе // Компьютерные исследования и моделирование. – 2023. – Т. 15. – №4. – С. 895-906.

2 Добров А.А., Дмитриев С.М., Доронков Д.В. и др. Обоснование выбора характеристик аэродинамической модели для исследования процесса перемешивания потоков теплоносителя в нижнем собирающем коллекторе ВТГР на основе чисел подобия и методов вычислительной гидродинамики // Атомная энергия. – 2024. – Т. 137. – Вып. 5-6. – С. 247-253.

## ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЛЯ ОПИСАНИЯ ПРОЦЕССОВ ПЕРЕНОСА И НАКОПЛЕНИЯ Ag-110m НА АЭС

*Е.А. Евтушенко<sup>1</sup>, М.В. Кащеев<sup>2</sup>, В.А. Левченко<sup>2</sup>, А.В. Шовиков<sup>1,3</sup>*

*<sup>1</sup> – Филиал АО «Концерн Росэнергоатом» «Ленинградская атомная станция», г. Сосновый Бор, Россия*

*<sup>2</sup> – ООО ЭНИМЦ «Моделирующие системы», г. Обнинск, Россия*

*<sup>3</sup> – Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Москва, Россия*

Рассматривается создание имитационной модели переноса радионуклида Ag-110m в технологических системах энергоблока АЭС с ВВЭР-1200. Вариант моделирования переноса трития и радиоуглерода представлен в статье [1]. При разработке модели необходимо учесть механизм образования Ag-110m, физико-химические свойства, влияющие на его поведение в различных средах, а также пути миграции в технологических системах и возможные места накопления.

Механизм образования Ag-110m – активация Ag-109 под действием нейтронного потока в активной зоне реактора. Важно учитывать наличие серебра в материалах оборудования АЭС. В случае растворения 1 г Ag-109 в теплоносителе первого контура и последующего превращения Ag-109 в Ag-110m объемная активность метастабильного серебра достигает 560 МБк/дм<sup>3</sup>. Перенос Ag-110m в технологических контурах может происходить в растворенной, коллоидной и твердой фазах. Основные пути распространения включают первый контур, второй контур (в случае протечки из первого контура во второй) и воздух технологических помещений (в случае негерметичности трубопроводов и оборудования первого контура). Для валидации модели необходимо провести измерения активности Ag-110m в пробах теплоносителя из корпуса реактора, в пробах теплоносителя после фильтров системы спецводоочистки и на поверхности трубопроводов.

При разработке модели используются данные о растворимости серебра, коэффициентах сорбции и десорбции, скорости

диффузии и летучести в различных средах. Также важно учитывать радиоактивный распад Ag-110m и возможные дочерние продукты.

Таким образом, для построения имитационной модели применяется комплексный подход, включающий анализ экспериментальных данных и валидацию на основе реальных измерений на АЭС с ВВЭР-1200.

Обобщенный алгоритм создания модели представлен на рис.1.

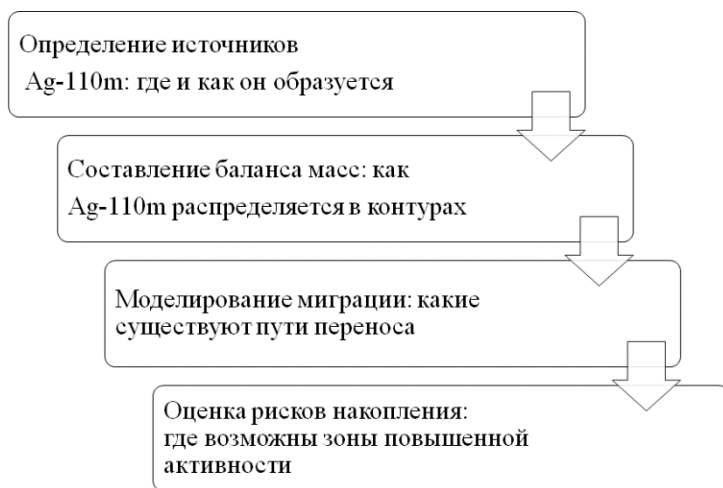


Рис. 1. Алгоритм создания модели.

Использование имитационного моделирования позволит предсказать распределение Ag-110m в технологических системах и оценить потенциальные риски, связанные с его накоплением и возможным выбросом в окружающую среду.

### *Литература*

1 Кочетков О.А., Анпилогова И.Н., Барчуков В.Г. и др. Имитационная модель как возможность описания процесса переноса и накопления нуклидов // Ядерная и радиационная безопасность. – 2022. – № 3 (105). – С. 15–27.

## **ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИИ МАГНИТОГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО ФИЛЬТРА ДЛЯ СИСТЕМ ЯЭУ НА ОСНОВЕ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ**

*Д.О. Ефремов, Р.А. Ластин, Н.В. Мацин, А.Е. Соборнов,  
Р.Р. Рязанов, А.В. Котин*

*ФГБОУ ВО "Нижегородский государственный технический  
университет им. Р.Е. Алексеева", г. Нижний Новгород, Россия*

Поддержание чистоты рабочей среды в контурах АЭС является критически важным параметром для обеспечения безопасности, надежности и эффективности работы станции. Несоблюдение регламентов приводит к образованию отложений, коррозии, ухудшению теплопередачи, повышенному износу и нарушению работы оборудования. Особенному риску подвергается насосное оборудование с магнитной муфтой, работающее на высокоактивных средах, применяемое в составе систем охлаждения бассейна выдержки и дезактивации оборудования. К указанным насосам предъявляются строгие требования по перекачиваемой среде, что обусловлено их конструктивными особенностями. Возникает необходимость применять многоступенчатую фильтрацию, включающую в себя комбинацию сетчатых и картриджных фильтров, что существенно ухудшает гидравлические характеристики контура и усложняет его эксплуатацию.

Учитывая проблематику, научно-исследовательской лабораторией «Парогенерирующие системы» разработан прототип магнитогидродинамического фильтра с использованием постоянных магнитов [1].

По результатам проведения численного и экспериментального исследования выявлены направления оптимизации [2]:

- увеличение максимальной рабочей температуры магнитной системы;
- устранение устойчивого вихревого течения высокой интенсивности в выходном патрубке фильтра.

На основании недостатков коллективом лаборатории приняты следующие решения:

1. Система доработана с использованием магнитов марки N42SH. Применение указанного материала позволяет увеличить максимальную рабочую температуру до 120 °С.

По результатам исследований определена оптимальная конструкция магнитной системы высотой 60 мм. Предложенное исполнение характеризуется широкой зоной интенсивного магнитного поля и низким гидравлическим сопротивлением.

2. Для подавления высокоинтенсивных структур рассмотрено 7 вариантов выпрямителей. Критерием выбора оптимальной конструкции являлось снижение интенсивности вихреобразования, приемлемая величина гидравлического сопротивления, а также простота конструкции и низкая стоимость изготовления.

Наиболее эффективное разрушение вихревых структур характерно для варианта выпрямителя с высотой ребра 9 мм. Перепад давления составил 12,79 кПа.

В результате проведенных доработок подобран новый материал магнита, определена его оптимальная высота и разработана эффективная и рациональная конструкция выпрямителей.

### *Литература*

1 Патент на полезную модель № 197879 U1 Российская Федерация, МПК В01D 35/06 (2006.01), В03С 1/02 (2006.01). Магнито-гидродинамический фильтр: № 2020109882: заявл. 06.03.2020: опубл. 03.06.2020 / Дмитриев С.М., Треушников М.В., Соборнов А.Е. и др.; заявитель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева» (НГТУ).

2 Дмитриев С.М., Соборнов А.Е., Рязанов Р.Р. и др. Результаты экспериментального исследования и численного моделирования циклонного фильтра с постоянными магнитами для систем спецводоочистки ЯЭУ // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – 2022. – № 3. С. 54-65.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ МНОГОКРАТНОГО ГОМОГЕННОГО ВЫЖИГАНИЯ В РЕАКТОРЕ ТИПА БН**

*Н.А. Закиров*

*Акционерное общество «Государственный научный центр Российской Федерации – Физико-энергетический институт имени А.И.Лейпунского», г. Обнинск, Россия*

Для решения задач с отработавшим ядерным топливом в двухкомпонентной атомной энергетике необходимо решить вопрос с дальнейшим обращением с минорными актинидами (МА), которые на длительном промежутке времени благодаря большому периоду полураспада вносят значительный вклад в радиотоксичность и энерговыделение.

На данный момент рассматривается возможность снизить влияние МА на захораниваемые отходы путем их утилизации в быстром реакторе. Проводить ее планируется двумя способами. Первый это выделение и добавление МА в топливо быстрого реактора (гомогенный способ) [1]. Второй способ – это гетерогенное выжигание в боковом экране и специализированных сборках в топливе [2].

Основной подход к выжиганию минорных актинидов – это максимальное деление изотопов с их минимальной наработкой в реакторе. Для сокращения обращения с топливом, содержащим минорные актиниды необходимо, эффективно утилизировать их. Однако гомогенный способ выжигания минорных актинидов позволяет достичь за один рецикл в топливе эффективности порядка 40% [3]. Утилизация МА потребует большего количество рециклов. В данной работе планируется провести исследование возможности многократного рецикла МА в топливе быстрого реактора.

В результатах исследования приведены результаты многократного рецикла МА в топливе быстрого реактора для различных видов МОКС-топлива.

## *Литература*

1 Гулевич А.В. и др. Возможность выжигания америция в быстрых реакторах // Атомная энергия. – 2020. – Т. 128. – №. 2. – С. 82-87.

2 Жемков И.Ю., Набойщиков Ю.В., Погляд С.С. Гетерогенное выжигание младших актинидов в реакторе на быстрых нейтронах // Научный годовой отчет АО" ГНЦ НИИАР"(отчет об основных исследовательских работах, выполненных в 2018 г.). – 2019. – С. 136-139.

3 Исанов К.А., Сусакин В.А., Елисеев В.А., Гулевич А.В. Исследование влияния изотопного качества плутония МОКС-топлива на накопление и эффективность выжигания минорных актинидов в реакторе типа БН // Вопросы атомной науки и техники. серия: Ядерно-реакторные константы. – 2024. – №4. – С. 137-152.

## **ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ФАЗОВЫХ ПЕРЕХОДОВ В УСТАНОВКАХ С ВЫСОКИМ УДЕЛЬНЫМ ЭНЕРГОВЫДЕЛЕНИЕМ**

*К.Е. Иванова, Н.В. Мацин, Р.Р. Рязанов, А.Е. Соборнов,  
А.Н. Семененко, К.А. Сторожун, Н.С. Быстров  
ФГБОУ ВО "Нижегородский государственный технический  
университет им. Р.Е. Алексеева", г. Нижний Новгород, Россия*

Современная промышленность, в частности энергетическая и химическая, сталкивается с необходимостью изучения интенсивных теплообменных процессов. Эффективность и безопасность установок с высоким удельным энерговыделением, таких как тепловые и атомные электростанции, холодильные и испарительные установки, напрямую зависят от понимания и точности моделирования процессов фазовых переходов.

В установках с высоким удельным энерговыделением актуальной задачей является эффективное охлаждение как целых устройств, так и отдельных их компонентов. Для поддержания заданного температурного режима элементов подобных установок часто используются специальные жидкости. Так, примене-

ние легкокипящих жидкостей в режиме фазового перехода может обеспечивать термостатирование нагреваемых элементов при достаточно низких температурах [1]. Однако, переход от пузырькового режима кипения к пленочному, при неизменной плотности теплового потока, сопровождается резким возрастанием температуры поверхности нагрева, что приводит к резкому снижению теплоотдачи и может вызвать перегрев и повреждение оборудования [2]. Таким образом, при проектировании систем охлаждения, основанных на фазовом переходе теплоносителя, важно рационально подходить к выбору материалов, режимных параметров и конструктивных решений, обеспечивающих высокую стабильность работы.

Для решения вышеуказанных проблем в настоящее время применяются численные модели, которые стремятся описать данные процессы. Таким образом, возникает необходимость в тщательном анализе существующих численных моделей и выборе наиболее точной для описания фазовых переходов.

В настоящей работе приводится апробация численного моделирования процессов кипения и конденсации воды в замкнутом термосифоне. В качестве валидационной базы применены результаты [3].

Численное моделирование проводится в программном комплексе Ansys Fluent. В качестве моделей испарения и конденсации многофазного потока Volume of Fluid (VOF) [3]. В данном исследовании, в связи с отсутствием встроенных моделей фазового перехода, отвечающих требованиям точности и адаптируемости к специфическим условиям моделирования, для описания процессов кипения и конденсации была реализована пользовательская функция (UDF).

### *Литература*

1 Логинова Е.А. Повышение энергетической эффективности тепловых электрических станций с использованием низкокипящих рабочих тел в паротурбинных циклах: дисс. ... канд. техн. наук: 05.14.04.: С.-Петербург. гос. технол. ун-т растител. полимеров. – Санкт-Петербург, 2014. – 141 с.

2 Тхей Лвин У. Нестационарный теплообмен и кризис кипения воды в условиях быстрого изменения энерговыделения: дисс. ... канд. физ.-мат. наук: 01.04.14. – НИЯУ МИФИ, Москва, 2007. – 140 с.

3 Fadhl B., Wrobel L.C., Jouhara H. Numerical modelling of the temperature distribution in a two-phase closed thermosyphon // Applied Thermal Engineering. – 2013. – № 60. – С. 122-131.

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ УДЕЛЬНЫХ ОБЪЕМОВ БОРОСИЛИКАТНОЙ МАТРИЦЫ ДЛЯ ОСТЕКЛОВЫВАНИЯ РАО РАЗЛИЧНОЙ ВЫДЕРЖКИ**

*И.С. Ивановская<sup>1</sup>, Г.В. Постика<sup>1</sup>, К.А. Исанов<sup>1,2</sup>*

*<sup>1</sup> – Обнинский институт атомной энергетики – филиал  
Национального исследовательского ядерного  
университета «МИФИ», г. Обнинск, Россия*

*<sup>2</sup> – Акционерное общество «Государственный научный центр  
Российской Федерации – Физико-энергетический институт  
имени А.И.Лейпунского», г. Обнинск, Россия*

Следующим этапом развития атомной энергетики является переход к замкнутому ядерному топливному циклу (ЗЯТЦ). В рамках замыкания ядерного топливного цикла подразумевается переработка и фракционирование отработавшего ядерного топлива (ОЯТ) на уран, плутоний и минорные актиниды (МА) для повторного рецикла, а также продукты деления (ПД) для долговременной изоляции и окончательного захоронения. Таким образом, важной составляющей завершающей стадии ядерного топливного цикла (ЯТЦ) является обращение с дальнейшим захоронением радиоактивных отходов (РАО).

Одной из основных перспективных технологий утилизации РАО является остекловывание боросиликатной матрицей (БСМ). При остекловывании достигается иммобилизация РАО, что создает возможность долговременной, надежной и безопасной изоляции высокоактивных отходов.

Основными факторами, влияющими на возможность надежной и безопасной изоляции РАО в БСМ, являются поглощенные

дозы от бета- и гамма-активных нуклидов, альфа-активность и удельное тепловыделение на временном интервале в 10 000 лет.

Таким образом, удельные объемы РАО и БСМ зависят от нуклидного состава и фракционирования ОЯТ, а также длительности выдержки, что влияет на поглощенную дозу и удельное тепловыделение.

В работе рассматривается влияние длительности предварительной выдержки и хранения на остаточную активность РАО, а также влияние на мощность дозы и потенциал поглощенной дозы за 10 000 лет после остекловывания в БМС. Определено влияние длительности выдержки и хранения РАО до переработки на удельные объемы БСМ при остекловывании. Найден функционал зависимости требуемого объема БСМ от длительности выдержки. Также в работе рассмотрено выделение Cs-Sr фракции при переработке перед захоронением. Определено влияние фракционирования Cs-Sr на снижение требуемого объема БСМ при захоронении.

### *Литература*

1 Кашеев В.А., Шадрин А.Ю., Рыкованов Г.Н. и др. Объем радиоактивных отходов от переработки облученного ядерного топлива ВВЭР-1000 и варианты фракционирования // Атомная энергия. – 2019. – Т. 127. – №. 2. – С. 82-87.

2 Ремизов М.Б., Козлов П.В., Борисенко В.П. и др. Разработка алгоритма оценки радионуклидного состава остеклованных ВАО ФГУП" ПО" Маяк" для цели их безопасного захоронения // Радиоактивные отходы. – 2018. – №. 3. – С. 102-110.

## НАРАБОТКА ПЛУТОНИЯ В БЫСТРОМ НАТРИЕВОМ РЕАКТОРЕ ПРИ ВЛИЯНИИ ВКЛАДОВ И ЗАМЕДЛИТЕЛЯ

*А.С. Кузнецов, Ю.С. Данилюк, А.М. Терехова, В.В. Колесов  
Обнинский институт атомной энергетики – филиал  
Национального исследовательского ядерного  
университета «МИФИ», г. Обнинск, Россия*

Особый интерес представляет процесс накопления изотопов плутония в результате выгорания америция и нептуния. С целью оптимизации трансмутации минорных актинидов (МА) была исследована модель их гомогенного внедрения в состав ядерного топлива.

Известен метод трансмутации минорных актинидов в реакторах на тепловых нейтронах. Однако данный подход характеризуется существенным недостатком – относительно низкой плотностью нейтронного потока ( $10^{12}$ – $10^{13}$  см<sup>-2</sup>·с<sup>-1</sup>), что обусловлено фундаментальными физическими ограничениями реакторов теплового спектра. В отличие от них, быстрые натриевые реакторы (БН) обеспечивают нейтронный поток на порядок выше ( $10^{14}$ – $10^{15}$  см<sup>-2</sup>·с<sup>-1</sup>), что существенно повышает скорость выгорания МА.

В рамках настоящего исследования для увеличения концентрации делящихся изотопов Pu в активной зоне реактора БН-800 были применены топливные сборки (ТВС) с замедляющими вставками. Это позволило создать локальные области с тепловым и промежуточным энергетическими спектрами нейтронов в центральной части ТВС.

В ходе проведённого исследования выполнены расчёты трёхмерной гетерогенной модели реактора БН-800 с размещением в активной зоне топливныхборок, содержащих замедляющие вставки, при различных концентрациях изотопов <sup>241</sup>Am, <sup>237</sup>Np, <sup>239</sup>Pu и урана. Моделирование осуществлялось с применением метода Монте-Карло. По результатам расчётов проведён сравнительный анализ динамики накопления изотопов плутония.

## *Литература*

1 Куликов Г.Г., Шмелев А.Н., Глебов В.Б. и др. Нейтронно-физические основы масштабной наработки  $^{238}\text{Pu}$  для автономных источников энергии // Известия вузов. Ядерная энергетика. – 2023. – №2. – С. 162-168.

2 Коробейников В.В., Колесов В.В., Терехова А.М., Каражелевская Ю.Е. Исследования возможности выжигания и трансмутации Am-241 в реакторе с америциевым топливом: Препринт ФЭИ–3284. – Обнинск, ГНЦ РФ–ФЭИ, 2018. – 14 с.

### **РАСЧЕТНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО СОСТОЯНИЯ ФРАГМЕНТА КОЛЛЕКТОРНОГО УЗЛА ТЕПЛООБМЕННИКА ЯЭУ ПРИ СМЕШАННОЙ КОНВЕКЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОДА «ЛОГОС»**

*Р.А. Ластин, Р.Р. Рязанов, А.Е. Соборнов, А.В. Котин,  
Н.В. Мацин*

*ФГБОУ ВО "Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева", г. Нижний Новгород, Россия*

Исследование нестационарных процессов теплообмена, сопровождающихся температурными пульсациями, представляет собой сложную научно-техническую задачу. На сегодняшний день для решения этой задачи эффективно применяются численные методы моделирования. Актуальность работы обусловлена необходимостью проверки достоверности результатов и повышения точности моделирования процессов теплогидравлики с использованием отечественных программ, таких как код «ЛОГОС», для моделирования нестационарного теплообмена в оборудовании ЯЭУ.

В работе приведены результаты численного моделирования нестационарного температурного поля узла теплообменника ЯЭУ с применением расчетного кода «ЛОГОС». Для валидации результатов моделирования были использованы данные, полученные на модели, входящей в состав стенда ФТ-80 НГТУ им. Р.Е. Алексеева [1, 2]. В ходе экспериментального исследования

установлено, что наиболее интенсивные термопульсации наблюдаются при левом подводе теплоносителя и режимных параметрах, указанных в таблице 1. Таким образом расчетное определение температурного поля при данных режимных параметрах представляет особый интерес.

Таблица 1

Режимные параметры

| Рабочая среда    | Давление на входе, МПа | Температура на входе, °С | Расход, кг/ч |
|------------------|------------------------|--------------------------|--------------|
| Теплоноситель    | 9,78                   | 206                      | 2502,16      |
| Охлаждающая вода | 0,40                   | 39                       | 3169,43      |

Сеточная модель создана с помощью автоматического генератора, методом отсечения и включает в себя ~13 миллионов ячеек. Исходные данные для решения задачи в нестационарной постановке определены на основе стационарного расчета с применением  $k-\omega$  SST модели турбулентности. Сложное движение теплоносителя в коллекторной сборке приводит к образованию вихревых структур, для моделирования нестационарного течения был выбран метод моделирования крупных вихрей (LES). Согласно критерию Куранта-Фридрихса-Леви (CFL <1) шаг по времени составил 0,005 с. В результате получена реализация температуры продолжительностью 72 секунды.

Проведен сравнительный анализ расчетно-экспериментальных полей температуры для 60 точек, которые соответствуют местам расположения термопар в экспериментальной модели. Установлено, что расчетные данные хорошо согласуются с экспериментальными: для 60% расчетных точек среднеквадратическое отклонение не превышает 5%, а для остальных – 12%.

### *Литература*

1 Дмитриев С.М., Рязанов Р.Р., Соборнов А.Е. и др. Расчетно-экспериментальное исследование термопульсаций фрагмента коллекторного узла теплообменника системы очистки и расхолаживания водо-водяных реакторов. // Известия вузов. Ядерная

энергетика. – 2015. – № 1. – С. 92-102. DOI: <https://doi.org/10.26583/npe.2015.1.10>

2 Рязанов Р.Р. и др. Экспериментальное исследование нестационарного температурного состояния и характеристик термопульсаций фрагмента коллекторного узла теплообменника ЯЭУ / Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – Нижний Новгород: , НГТУ им. Р.Е. Алексеева, 2013. – № 4 (101). – С. 206 – 212.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВАНАДИЯ В КАЧЕСТВЕ ОБОЛОЧЕК ТВЭЛОВ В ЛЕГКОВОДНЫХ РЕАКТОРАХ СО СВЕРХКРИТИЧЕСКИМИ ПАРАМЕТРАМИ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ**

*А.Г. Морозов, А.С. Лапин*

*Обнинский институт атомной энергетики – филиал  
Национального исследовательского ядерного  
университета «МИФИ», г. Обнинск, Россия*

Реализующаяся сегодня Стратегия развития двухкомпонентной ядерной энергетики, закреплённая Указом президента РФ [1], предполагает развитие системы, включающей в себя легководные реакторы для производства конкурентоспособной энергии и быстрые реакторы с расширенным воспроизводства, объединённые замкнутым ядерным топливным циклом (ЗЯТЦ).

Успешная реализация двухкомпонентной ядерной энергетики подтверждается длительной работой реакторов БН-600 и БН-800, в котором активная зона полностью загружена МОКС топливом. Также планируется в ближайшем будущем приступить к реализации эволюционного проекта реактора ВВЭР со спектральным регулированием. Но также разрабатываются инновационные установки, работающие частично или полностью на альтернативных видах топлива.

Одной из таких перспективных установок является ЯЭУ ВВЭР-СКД. Его концепт основан на использовании легкой воды в сверхкритическом состоянии в качестве теплоносителя первого контура и применении тесной решетки ТВЭЛов [2]. Нововве-

дение в виде сверхкритической жидкости позволит не только повысить КПД ЯЭУ ( $\approx 40\%$ ), но и получить высокий коэффициент воспроизводства ( $KB > 1$ ) [3]. Это позволит эффективно нарабатывать изотопы плутония, эффективные к использованию в топливе быстрых реакторов.

Используя сверхкритическую воду, появляется необходимость в подборе надежных и стойких к агрессивным средам материалов, чтобы выдержать большие давления в первом контуре и высокие температуры [3]. Использование сталей, аналогично реакторам БН существенно ухудшает нейтронный баланс, а также требуется экспериментальное обоснование их использование в СКД среде. Альтернативой использования сталей может являться ванадий. Он обладает отличными механическими свойствами в совокупности с низкими ядерными сечениями захвата нейтронов в быстрой области спектра ( $\approx 1,33$  барн, в то время как у ЧС-68 – «нержавейки»  $\approx 1,79$  барн) [4], что делает его одним из претендентов на использование в качестве материала оболочки ТВЭЛа.

Целью работы является изучение теплогидравлических характеристик ванадия в качестве оболочки ТВЭЛа и его сравнение с номинальным материалом ЧС-68, которое проводилось с помощью ПК ANSYS, модуль CFX и оценки механической стойкости материала с помощью модуля Static Structural [5].

Предварительные результаты исследования показывают пригодность использования ванадия в качестве оболочки ТВЭЛа. В перспективе исследования входит оценка стойкости ванадия при долгом облучении в жестком нейтронном спектре и определения его влияния на  $k_{eff}$  с помощью ПК SERPENT [6].

### *Литература*

1 Указ Президента РФ от 16 апреля 2020 г. № 270 «О развитии техники, технологий и научных исследований в области использования атомной энергии в Российской Федерации» (по состоянию на 21.03.2025г.) / Официальный интернет-портал правовой информации.

2 Кириллов П. Л., Богословская Г. П. Водоохлаждаемые АЭС четвертого поколения ВВЭР-СКД. Реальные перспективы и про-

грамма исследований // Известия высших учебных заведений. Ядерная энергетика. – 2018. – №. 4. – С. 5-19.

3 Лапин А. С. и др. Исследование системных характеристик реактора со сверхкритическими параметрами теплоносителя // Известия вузов. Ядерная энергетика. – 2020. – №. 3. – С. 93-101.

4 JANIS Web – электронная база данных ядерных свойств // Сайт: JANIS Web [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://oecd-nea.org/janisweb/> (дата посещения 20.03.2025).

5 User's Manual ANSYS CFX-Solver Modeling Guide. ANSYS CFX Release 23.1. Canonsburg: ANSYS, Inc., 2013.

6 Leppänen J. et al. The Serpent Monte Carlo code: Status, development and applications in 2013 // Annals of Nuclear Energy. – 2015. – V. 82. – P. 142-150.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ТЕЧИ ТРУБОПРОВОДОВ АЭС**

*А.В. Нахабов, В.Н. Ханров*

*Обнинский институт атомной энергетики – филиал  
Национального исследовательского ядерного  
университета «МИФИ», г. Обнинск, Россия*

Цель работы – Анализ данных, полученных с датчиков на АЭС.

Методологической основой в работе выступают методы обнаружения течи в трубопроводах, а именно акустический и влажностный контроля [1].

Современная атомная энергетика предъявляет повышенные требования к безопасности эксплуатации, что делает актуальной разработку и внедрение эффективных систем контроля герметичности трубопроводов, таких как системы контроля течи теплоносителя, основанные на различных физических принципах [2].

Научная новизна работы заключается в разработке программы для обработки и фильтрации входных данных и их анализа влажностного контроля течи трубопроводов реакторов типа

ВВЭР для Белорусской АЭС, с использованием языка программирования Python [5]. В работе предлагаются новые подходы к оценке параметров утечек через измерения скорости парогазового фронта и анализе значений абсолютной влажности при разных параметрах течи на основе данных, полученных при эксплуатации реакторной установки.

Исследование охватывало несколько ключевых аспектов, начиная от теоретических основ метода и заканчивая практическими результатами анализа данных.

### *Литература*

1 Дворников П.А. Комплексная система контроля течи РУ ВВЭР: дис. док. техн. наук: 05.14.03. – Обнинск, 2022. 375 с.

2 Морозов С.А., Ковтун С.Н., Дворников П.А. и др. Разработка системы влажностного контроля течи водяного теплоносителя (СКТВ) // Известия вузов. Ядерная энергетика. – 2008. – № 2. – С. 30–35.

3 Знышев В.В. Способы диагностирования ЯЭУ на основе математической модели динамики контролируемых параметров // Вопросы атомной науки и техники. Сер. Физика и техника ядерных реакторов. – 1989. – Вып. 3. – С. 53–55.

4 Киселев В. А., Ривкин Е. Ю. Применение концепции течь перед разрушением при анализе безопасности АЭС // Атомная энергия. – 1993. – Т. 75. – Вып. 6. – С. 426.

5 Python и Tkinter [Электронный ресурс] // Metanit. URL: <https://metanit.com/python/tkinter/> (дата обращения: 13.09.2024).

# ОПТИМИЗАЦИЯ СОСТАВА ЖИДКОМЕТАЛЛИЧЕСКОГО ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ И ЭКОНОМИЧНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ТВЭЛОВ

*Е.А. Орлова, Д.С. Самохин, А.В. Орлов  
Обнинский институт атомной энергетики – филиал  
Национального исследовательского ядерного  
университета «МИФИ», г. Обнинск, Россия*

В настоящий момент проектируется и реализуется реакторная установка 4-ого поколения повышенной безопасности со свинцовым теплоносителем и нитридным U-Pu топливом. Заполнение внутритвэльного зазора жидким металлом (ЖМ) вместо гелия приводит к повышению безопасности и ресурса РУ благодаря снижению температуры топлива и возможности увеличить ширину зазора вследствие высокой теплопроводности ЖМ. В качестве оболочки твэла выбрана сталь ферритно - мартенситного класса 16X12МВСФБР и коррозионный процесс в существенной степени зависит от растворимости Fe в ЖМ.

Для сталей, контактирующих с жидкометаллическими теплоносителями, характерна общность протекания процессов коррозии. На основе анализа данных для различных теплоносителей при 713-1223 К и скоростях теплоносителя 0,006-7,62 м/с Ивановым В.А. получена обобщенная зависимость скорости массопереноса хромоникелевых нержавеющей сталей (без защитных покрытий) от приведенной растворимости в жидких металлах [1] (рис. 1):

$$\lg(J_{1000ч})=0.1+\lg(C_{\Sigma}), (1)$$

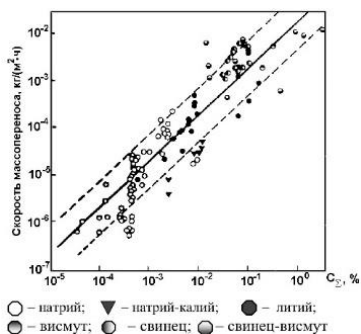
где  $J_{1000ч}$  – скорость массопереноса стали за 1000 ч эксплуатации, мг/см<sup>2</sup>·ч;

$C_{\Sigma}$  – “приведенная растворимость“, равная сумме произведений растворимости элемента стали в данном теплоносителе  $C_j$  на его мольную долю в стали  $N_j$  ( $C_{\Sigma}=\sum C_j \cdot N_j$ ).

На рис. 2 приведена зависимость растворимости железа в Pb, Li, Na и их эвтектических сплавах от обратной температуры. Растворимость железа в эвтектических сплавах  $C$ , соответству-

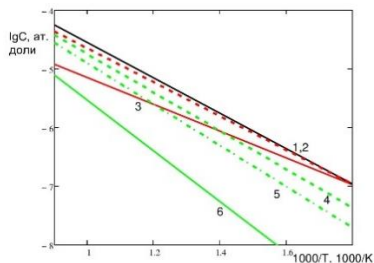
щая промежуточному значению растворимости в Pb ( $C_{Pb}$ ) и образующим с ним эвтектику металлом ( $C_{Me}$ ), вычисляется по выражению  $lg C = N lg C_{Me} + (1-N) lg C_{Pb}$ ,

где  $N$  – атомная доля образующего с Pb эвтектику металлом.



○ – натрий; ▼ – натрий-калий; ● – литий;  
 ○● – висмут; ●● – свинец; ○●● – свинец-висмут

Рис.1. Зависимость массопереноса нержавеющей стали от приведенной растворимости



Растворимость в Pb (1), Li (3), Na (6) и их эвтектических сплавах Pb<sub>83</sub>Li<sub>17</sub> (2), Pb<sub>80</sub>Na<sub>20</sub> (4), Pb<sub>64</sub>Na<sub>36</sub> (5)

Рис.2. Зависимость растворимости Fe от обратной температуры

Снижение массопереноса компонентов сталей возможно использованием эвтектик Pb с менее коррозионно-агрессивными компонентами (Na, Li), а также формированием на поверхности стали диффузионного барьера внедрение в сталь (Zr и др.), растворенного в Pb.

### Литература

1 Иванов В. А., Старков О.В. Растворение сталей в потоке лития» // Атомная техника за рубежом. – 1979. – №10. – С. 9-13.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ КРУПНОГАБАРИТНОГО НАТРИЕВОГО ОБОРУДОВАНИЯ

*С.А. Осанкин, Е.Р. Клебанский, И.А. Бессонов, А.Д. Лезов,  
П.А. Ревякина, О.Л. Ташлыков  
ФГАОУ ВО «УрФУ имени первого  
Президента России Б.Н. Ельцина», г.Екатеринбург, Россия*

В настоящий момент компьютерное моделирование является наиболее перспективным направлением, позволяющим представить многие теплогидродинамические процессы в оборудовании атомных станций (АС) [1, 2].

В работе представлен анализ компьютерной модели крупногабаритного натриевого оборудования. В качестве инструмента моделирования некоторого натриевого оборудования выбран пакет вычислительной гидродинамики Solidworks Flow Simulation [3].

Объектом моделирования являются элементы натриевого оборудования и трубопроводов энергоблока с реактором БН-600.

Для определения факторов, влияющих на достоверность результатов моделирования, была проведена серия расчетов, результаты которой были верифицированы с результатами прямого измерения моделируемых параметров. Результат сравнения позволил выявить факторы, влияющие на достоверность результатов моделирования, и определить способы, которые могут компенсировать негативное воздействие этих факторов на конечный результат.

Для моделирования крупногабаритного оборудования необходимо задействовать значительные расчетные мощности. Для сокращения требуемых ресурсов применено упрощение геометрии объектов моделирования и уменьшение геометрических размеров объекта с определенным коэффициентом масштабирования. Расчетным путем определена зависимость времени расхолаживания от масштаба модели, с помощью которой удалось определить искомый параметр при определенных размерах модели. Убедившись в работоспособности метода, способ был

применен для моделирования реального натриевого оборудования.

Так как исследуемые элементы оборудования находятся в реальных условиях, на них влияют внешние факторы: температура стен помещения, температура в помещении и т.д. При моделировании в качестве определяющего фактора была выбрана температура окружающей среды [4].

В результате моделирования получен метод для расчета крупногабаритного оборудования. Полученный метод может использоваться для некоторых тепломеханических параметров крупногабаритного натриевого оборудования с целью снижения времени на расчет.

### *Литература*

1 Ташлыков О.Л., Наумов А.А., Щеклеин С.Е. Моделирование процесса замораживания натрия в трубопроводах с целью оптимизации ремонта реакторных установок на быстрых нейтронах // Известия вузов. Ядерная энергетика. – 2013. – № 2. – С. 21-26.

2 Бессонов И.А., Бреусова А.А., Кораблев Д.А. и др. Исследование влияния геометрических характеристик ледового конденсатора на его аккумулирующую способность / Будущее атомной энергетики - AtomFuture 2022: Тезисы докладов XVIII Международной научно-практической конференции. – Обнинск: ИАТЭ НИЯУ МИФИ, 2022. – С. 94-96.

3 Solidworks Flow Simulation – программа для моделирования потока жидкости, теплопередачи и силы// Сайт: «Solidworks» [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://www.solidworks.com/ru/product/solidworks-flow-simulation> (дата обращения: 24.03.2025)

4 Ревякина П.А., Бессонов И.А., Завадский Д.И., Ташлыков О.Л. Анализ влияния внешних факторов на процессы, протекающие в тепломеханическом оборудовании атомных станций // Альтернативная энергетика и экология (ISJAEE). – 2024. – № 6. – С.50-58. <https://doi.org/10.15518/isjaee.2024.06.050-058>.

## **ВЛИЯНИЕ ФРАКЦИОНИРОВАНИЯ ПРОДУКТОВ ДЕЛЕНИЯ И МИНОРНЫХ АКТИНИДОВ НА ОБЪЕМЫ БОРОСИЛИКАТНОЙ МАТРИЦЫ ДЛЯ ОСТЕКЛОВАНИЯ РАО**

*Г.В.Постика<sup>1</sup>, И.С.Ивановская<sup>1</sup>, К.А. Исанов<sup>1,2</sup>*

*<sup>1</sup> – Обнинский институт атомной энергетики – филиал  
Национального исследовательского ядерного  
университета «МИФИ», г. Обнинск, Россия*

*<sup>2</sup> – Акционерное общество «Государственный научный центр  
Российской Федерации – Физико-энергетический институт  
имени А.И.Лейпунского», г. Обнинск, Россия*

Актуальной и важной задачей на сегодняшний день является переход к замкнутому ядерному топливному циклу (ЗЯТЦ) посредством перевода реакторов типа ВВЭР и БН на регенерированное и смешанное уран-плутониевое топливо.

Переход на МОКС- и РЕМИКС-топливо обостряет нерешенную проблему с определением дальнейшей стратегии по обращению с минорными актинидами (МА), темпы накопления которых при переходе к ЗЯТЦ возрастут на порядок. Разделяют два различных сценария по обращению с МА – остекловывание и дальнейшее захоронение совместно с РАО (продуктами деления) или выжигание в быстрых реакторах.

Основной технологией по долговременной изоляции РАО является остекловывание боросиликатной матрицей (БСМ). Лимитирующим фактором для нее, определяющим удельные объемы РАО и БСМ, являются удельные альфа-активности, поглощенная доза и удельное тепловыделение.

В данной работе исследовано влияние содержания минорных актинидов от времени выдержки на основные параметры остекловывания: удельные объемы БСМ при дальнейшем захоронении, а также сопоставление с удельными объемами боросиликатной матрицы при захоронении фракции только с продуктами деления. Также в работе определено влияние изотопного состава америция в фракции МА и ПД на параметры окончательного захоронения.

## *Литература*

1 Кашеев В.А., Шадрин А.Ю., Рыкованов Г.Н. и др. Объем радиоактивных отходов от переработки облученного ядерного топлива ВВЭР-1000 и варианты фракционирования //Атомная энергия. – 2019. – Т. 127. – №. 2. – С. 82-87.

2 Ремизов М.Б., Козлов П.В., Борисенко В.П. и др. Разработка алгоритма оценки радионуклидного состава остеклованных ВАО ФГУП" ПО" Маяк" для цели их безопасного захоронения // Радиоактивные отходы. – 2018. – №. 3. – С. 102-110.

### **РАСЧЕТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА НЕИЗОТЕРМИЧЕСКОГО СМЕШЕНИЯ ПОТОКОВ ОДНОФАЗНОГО ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ В ТРОЙНИКОВОМ УЗЛЕ С ПРИМЕНЕНИЕМ CFD-КОДОВ**

*Р.Р. Рязанов, А.Е. Соборнов, Н.В. Мацин, О.Д. Ялымова,  
А.В. Котин, К.А. Сторожун, А.М. Теселкина  
ФГБОУ ВО "Нижегородский государственный технический  
университет им. Р.Е. Алексеева", г. Нижний Новгород, Россия*

Работа ядерных энергетических установок сопряжена со сложными нестационарными физическими процессами, что приводит к необходимости использования численных методов моделирования при проектировании современного теплообменного оборудования ЯЭУ. В условиях импортозамещения большую актуальность приобрело применение отечественного программного комплекса FlowVision, в котором реализованы математические модели для решения задач вычислительной аэрогидродинамики и тепломассопереноса. Расчет турбулентных течений все еще является одной из наиболее сложных задач моделирования в связи с их стохастической природой, принципиально трехмерным нестационарным характером и широким спектром пространственно-временных масштабов. Проведение расчетного обоснования безопасности и долговечности конструкций ЯЭУ зачастую требует экспериментального подтверждения истинности полученных результатов расчетов.

Для валидации численного решения задачи неизотермического смешения потоков однофазной несжимаемой жидкости в НГТУ им. Р.Е. Алексеева создан учебно-исследовательский стенд. Исследуемая модель, представляющая собой тройниковый узел типа «встречный впрыск» [1], выполнена из оргстекла для возможности визуального наблюдения за процессом вихреобразования в характерных зонах. Гидродинамика смешиваемых потоков приводит к возникновению температурных пульсаций в зоне смешения «горячего» и «холодного» теплоносителя. Характеристики температурного поля получены с помощью малоинерционных термопар типа ХА с диаметром чувствительной части 0,5 мм и, наряду с изображениями вихревых структур, составляют валидационную базу расчетного исследования.

В открытой печати представлено множество публикаций, посвященных моделированию процессов смешения потоков в тройниковых соединениях с применением различных CFD-кодов [2-3]. Авторы данных работ отмечают высокую степень совпадения результатов расчетов с экспериментальными данными. Таким образом, в рамках выполнения настоящей работы не менее актуально провести перекрестное сравнение (кросс-валидацию) результатов расчетов с применением различного программного обеспечения (Логос, FlowVision, Ansys Fluent и др.).

Результаты перекрестного сравнения полей скорости и температуры в модели тройникового узла, полученные при использовании различных CFD-кодов, позволят выявить наиболее точно согласующуюся с экспериментом математическую модель.

### *Литература*

1 Рязанов Р.Р., Соборнов А.Е., Дмитриев С.М. и др. Экспериментальное исследование процессов неизотермического смешения встречных потоков несжимаемой жидкости в тройниковом узле // Известия вузов. Ядерная энергетика. – 2023. – №1. – С. 57-69.

2 Ayhan H., Sökmen C. N. CFD modeling of thermal mixing in a T-junction geometry using LES model // Nuclear Engng Design. – 2012. – V. 253. – P. 183–191.

З Аксёнов А.А., Александрова Н.А., Будников А.В. и др. Моделирование LES-подходом в ПК FlowVision турбулентного перемешивания разнотемпературных потоков в Т-образном трубопроводе // Компьютерные исследования и моделирование. – 2023. – Т. 15. – № 4. – С. 827–843.

## **ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ СНИЖЕНИЯ ПУСТОТНОГО ЭФФЕКТА РЕАКТИВНОСТИ ТВЕРДОТЕЛЬНЫМИ ЗАМЕДЛИТЕЛЯМИ В РЕАКТОРЕ С ЛЕГКОВОДНЫМ ТЕПЛОНОСИТЕЛЕМ СО СВЕРХКРИТИЧЕСКИМИ ПАРАМЕТРАМИ**

*Н.О. Сентебов*

*Обнинский институт атомной энергетики – филиал  
Национального исследовательского ядерного  
университета «МИФИ», г. Обнинск, Россия*

С развитием и масштабированием атомной энергетики растет спрос на природный уран, что способствует росту цен в три раза за последние восемь лет, а также истощению месторождений урана. Решением данной проблемы становится переход к замкнутому топливному циклу, благодаря которому становится возможным стабильное развитие атомной энергетики. Одним из проектов в данной тематике является реактор ВВЭР-СКД с быстрым резонансным спектром, разрабатываемый в рамках требований Международного форума Поколение IV. Но в проекте ВВЭР-СКД с двухзаходной схемой циркуляции и МОКС-топливом, пустотный эффект реактивности (ПЭР) находится в положительной области, что является уязвимостью безопасности.

В данной работе рассматривается влияние твердотельных замедлителей на ПЭР за счет смягчения спектра. Разработка реактора с быстрым спектром и твердотельным замедлителем ведется в Японии [1]. Выбор твердотельного замедлителя зависит не только от влияния на ПЭР, но и от сохранения стабильности в условиях высокой температуры. Так были рассмотрены графит и гидриды циркония, тантала, урана.

Оценка проводилась для наиболее энергонапряженной ТВС на подъёмном участке. При моделировании учитывались перепады температуры и плотности теплоносителя по высоте, а также изменение температуры топлива. Высота активной зоны составляет 376 см, количество твэлов в ТВС 252, с шагом 12 мм. В рамках топлива рассматривалось МОКС-топливо с энергетическим плутонием. В качестве материала для оболочки твэла и других конструкций была выбрана сталь марки ЭП-172 (ЧС-68) [2]. Модель ТВС представлена на рис. 1.

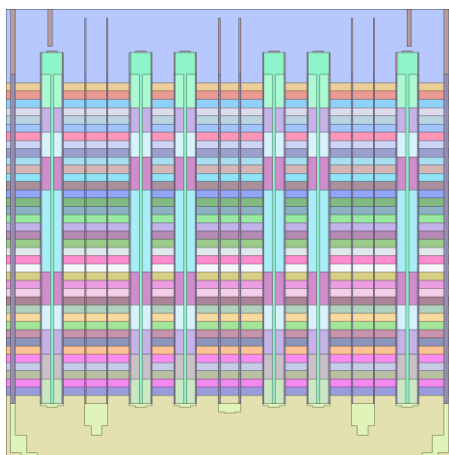


Рис. 1. Продольный срез модели ТВС.

Среди рассмотренных вариантов наиболее удовлетворяющим условиям реактора были гидриды циркония и тантала. Оценка результатов показала, что они по-разному влияют на ПЭР.

### *Литература*

1 Leung L. Overview of Global Development of SCWR Concepts (SC04) // Joint ICTP Joint ICTP-IAEA Course on Science and IAEA Course on Science and Technology of SCWRs, Trieste, Italy June 27 – July 1, 2011. – pp.50.

2 Баранаев Ю.Д., Кириллов П.Л., Поплавский В.М., Шарапов В.Н. Ядерные реакторы на воде сверхкритического давления // Атомная энергия. – 2004. – Т. 96. – Вып. 5. – С. 374-380.

# ОЦЕНКА ВРЕМЕНИ ДО ПОЯВЛЕНИЯ ПЕРВОЙ НЕЗАТУХАЮЩЕЙ ЦЕПОЧКИ ДЕЛЕНИЙ В НАДКРИТИЧЕСКОМ РЕАКТОРЕ СО СЛАБЫМ ПОСТОРОННИМ ИСТОЧНИКОМ НЕЙТРОНОВ И ПОСТОЯННЫМ КОЭФФИЦИЕНТОМ РАЗМНОЖЕНИЯ

*А.А. Трухачев, А.М. Терехова*

*Обнинский институт атомной энергетики – филиал  
Национального исследовательского ядерного  
университета «МИФИ», г. Обнинск, Россия*

Все цепочки делений в ядерном реакторе можно разделить на затухающие и незатухающие. Наличие незатухающей цепочки делений в реакторе означает его неконтролируемый разгон, то есть ядерную аварию. Надкритический ядерный реактор характеризуется непрерывным ростом числа нейтронов в активной зоне – образованием незатухающей цепочки делений.

Процесс рождения и исчезновения нейтронов в ядерном реакторе является случайным, то есть даже в надкритическом реакторе какое-то время все цепочки делений являются конечными. В данной работе определялось среднее время до появления первой незатухающей цепочки делений (ПНЦД) при постоянном коэффициенте размножения путем решения системы уравнений из стохастической теории ядерных реакторов Ю.В. Волкова [1-2]. Решение этой системы уравнений позволило получить плотность распределения, а среднее время до появления ПНЦД определялось как математическое ожидание данного распределения.

Полученная оценка среднего времени до появления ПНЦД позволила определить зависимость этого времени от коэффициента размножения и интенсивности внешнего источника нейтронов. Также было проведено сравнение времени до ПНЦД без учета запаздывающих нейтронов и с запаздывающими нейтронами.

На рис. 1 изображен график с верхней ( $M_{1t}$ ) и нижней ( $M_{2t}$ ) оценкой математического ожидания времени до ПНЦД и математическим ожиданием ( $M_{t_{\text{числ.}}}$ ), рассчитанным численным ме-

тодом. При коэффициенте размножения больше 1,1 верхняя оценка и численный результат практически совпадают, а при коэффициенте размножения меньше 1,1 лучше использовать нижнюю оценку.

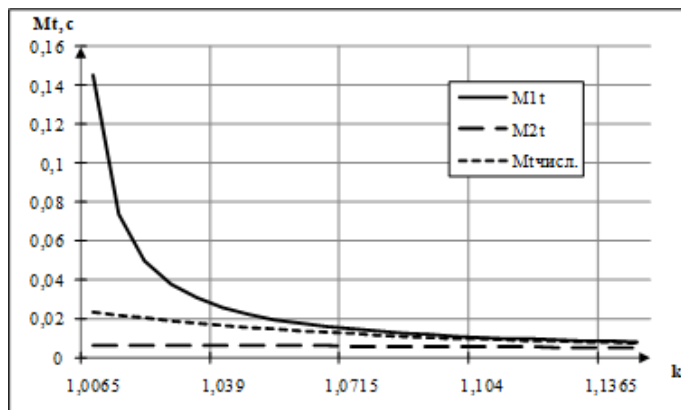


Рис. 1. Верхняя, нижняя и численная оценка математического ожидания

### *Литература*

1 Волков Ю.В. Стохастическая теория ядерных реакторов нулевой мощности. Часть 1. Физическая и математическая модели // Известия вузов. Ядерная энергетика. – 2013. – №4. – С. 127-134.

2 Волков Ю.В. Стохастическая теория ядерных реакторов нулевой мощности. Часть 2. Вероятность вырождения ветвящегося процесса и вопросы оценки вероятности возникновения ядерной аварии // Известия вузов. Ядерная энергетика. – 2014. – №2. – С. 118-125.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВОДОТОПЛИВНОГО ОТНОШЕНИЯ НА СПЕКТР НЕЙТРОНОВ В ТОРИЕВОЙ И УРАНОВОЙ МАТРИЦЕ

*Е. И. Фирсов, Р.А. Внуков*

*Обнинский институт атомной энергетики – филиал  
Национального исследовательского ядерного  
университета «МИФИ», г. Обнинск, Россия*

Развитие ядерной энергетики без задействования энергетического потенциала  $^{232}\text{Th}$  и  $^{238}\text{U}$  сильно ограничено исчерпаемостью запасов природного урана. Реализация концепции двухкомпонентной ядерной энергетической системы открывает путь к вовлечению  $^{238}\text{U}$  в ядерный топливный цикл (ЯТЦ). В перспективе целесообразно вовлечь  $^{232}\text{Th}$  в ЯТЦ.

Цель работы – исследование влияния значения водотопливного отношения на блокировку потока нейтронов в области резонанса на  $^{238}\text{U}$  и  $^{232}\text{Th}$  и их воспроизводящие свойства.

Рассматривалось изменение спектра нейтронов посредством вариации геометрических параметров гексагональных элементарных ячеек  $R_{\text{ТВЭЛ}}$  и  $R_{\text{эл.яч.}}$  с легководным теплоносителем ( $\text{H}_2\text{O}$  при  $\rho = 0.74 \text{ г/см}^3$ ). Варьирование  $R_{\text{эл.яч.}}$  проводилось от 0.5 до 8 см, а вариация  $R_{\text{ТВЭЛ}}$  от 0.1 см до касания границы гексагональной элементарной ячейки (что эквивалентно плотной упаковке твэлов). Составы топлива: 95.05%  $^{232}\text{Th}$  - 4.95%  $^{235}\text{U}$  и 95.05%  $\text{U}^{238}$  и 4.95%  $\text{U}^{235}$ . Вариация обогащения не производилась. Двухмерные модели исследования подготовлены в программном комплексе Serpent [1]. В моделях не заданы оболочка и газовой зазор.

Для моделей получены распределения нейтронов по энергии, нормированные на ширину энергетического интервала группы и на единицу. С ростом водотопливного отношения ( $W$ ) спектр затепляется (рис. 1), коэффициент размножения возрастает, а КВ – уменьшается. Данные приведены в табл. 1 (под  $W$  понимается отношение площадей физических зон теплоносителя к топливу). Максимумы КВ наблюдаются при значениях  $W < 1$ , а максимумы  $K_{\text{eff}}$  при значениях  $W > 1$ . Так как значения  $W$  в приве-

денных данных реализуются различными соотношениями  $R_{\text{ТВЭЛ}}$  и  $R_{\text{эл.яч}}$ , то не все значения  $K_{\text{eff}}$  ложатся на колоколообразную кривую.

Таблица 1

Основные нейтронно-физические характеристики при различных водотопливных отношениях для урановой матрицы

|                  |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| W                | 0.10 | 0.31 | 0.67 | 0.96 | 2.10 | 2.38 | 5.50 | 7.12 | 16.2 |
| $K_{\text{eff}}$ | 0.96 | 1.07 | 1.36 | 1.39 | 1.39 | 1.47 | 1.4  | 1.45 | 0.74 |
| КВ               | 1.23 | 0.9  | 0.46 | 0.43 | 0.24 | 0.33 | 0.17 | 0.17 | 0.15 |

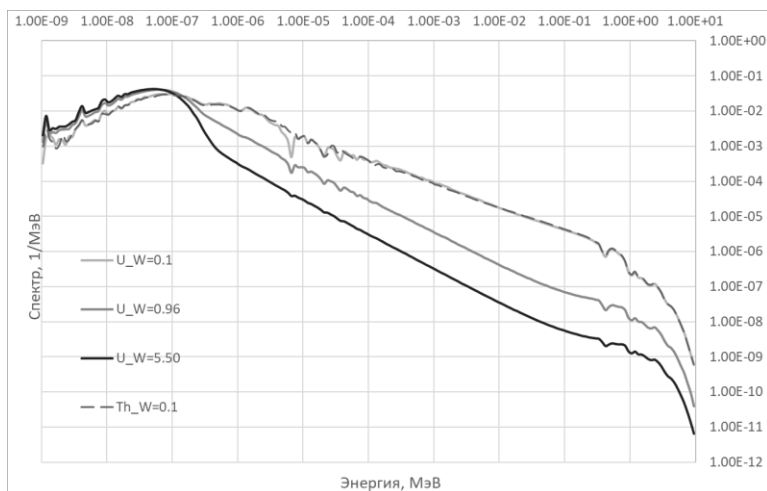


Рис. 1. Изменение спектра в урановой матрице при различном W.

При энергии  $\sim 6.7$  эВ наблюдается влияние первого резонанса  $U^{238}$ , блокировка которого при затеплении спектра ослабевает [2]. При значениях водотопливного отношения больше 5 поток нейтронов по энергии незначительно отклоняется от асимптотического, т. е. от спектра Ферми, в области резонанса. Последующие резонансы сглаживаются при меньшем W.

## *Литература*

1 Leppänen J. et al. The Serpent Monte Carlo code: Status, development and applications in 2013 // *Annals of Nuclear Energy*. – 2015. – V. 82. – P. 142-150.

2 Бартоломей Г.Г. и др. Основы теории и методы расчета ядерных энергетических реакторов: Учеб. пособие для вузов. – М.: Энергоатомиздат, 1982. – 511 с.

## **ПОВЫШЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ СИСТЕМЫ ОБОРУДОВАНИЯ ОБРАТНОГО ОСМОСА АЭС**

*Я.В. Цыкало*

*Волгодонский инженерно-технический институт – филиал  
Национального исследовательского ядерного университета  
«МИФИ», г. Волгодонск, Россия*

Эффективное использование сложного оборудования системы обратного осмоса на АЭС является главной задачей, над оптимизацией и улучшением которой трудятся ведущие производители опреснительного оборудования. Также проектные институты исследуют методы полезного использования тепловой энергии, которая остается незадействованной, в рекуперационных теплообменниках.

Для моделирования работы систем АЭС использован расчётный комплекс DE-TOP, представленный МАГАТЭ. Программа позволяет провести оценку характеристик пара, и что особенно важно, температуру и объём охлаждающей воды конденсатора турбины. Для введения рекуперационной установки используется внедрение дополнительного теплообменника на входе воды в систему обратного осмоса, что прямо повлияет на её производительность [1, 2].

Результаты исследования представлены в табл. 1.

Таблица 1

## Итоговые результаты

| На вход          | Производительность | Диапазон температур |
|------------------|--------------------|---------------------|
| Морская вода     | Увеличение на 30%  | 25 – 40 °С          |
| Смесь            | Увеличение на 29%  |                     |
| Итоговый прирост | 1.7 раз            |                     |

Прирост производительности представлен на рис. 1.

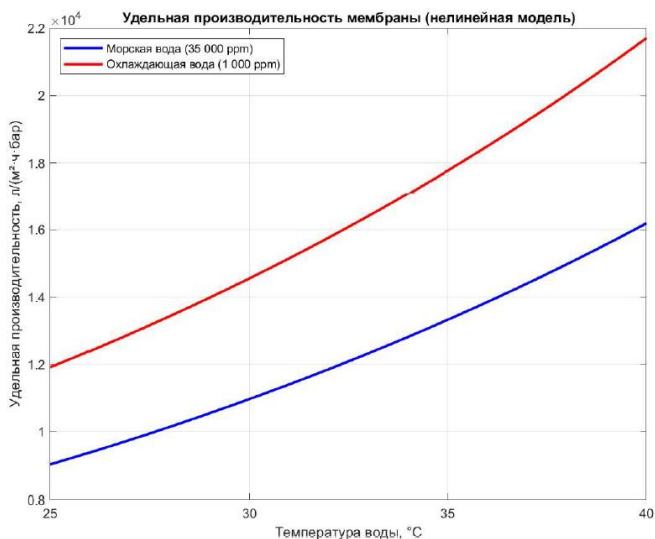


Рис. 1. Результаты численного эксперимента.

Данный расчёт проводился с учётом солёности воды на входе, температуры, осмотического давления и параметров оборудования и др. [3].

### Литература

- 1 Черкасов С.В. Обратный осмос. Теория и практика // Мировые водные технологии. – 2009.
- 2 Шаповалов Д.А., Пантелеев А.А. Исследование особенностей работы обратноосмотической установки в переменном температурном режиме / Радиоэлектроника, электротехника и

энергетика: Тезисы докладов XX Международной научно-практической конференции. – Москва: МЭИ, 2014. – Т.4. – 110 с.

3 Фрог Б.Н., Левченко А.П. Водоподготовка: учебн. пособие для вузов. – Москва: МГУ, 1996. – 340 с.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ИЗОТОПНОГО СОСТАВА ПЛУТОНИЯ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВЫЖИГАНИЯ МИНОРНЫХ АКТИНИДОВ ПРИ МНОГОКРАТНОМ РЕЦИКЛЕ В БЫСТРОМ РЕАКТОРЕ**

*В.Д. Чипчикова<sup>1,2</sup>, К.А. Исанов<sup>2</sup>, Н.А. Закиров<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup> – Обнинский институт атомной энергетики – филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», г. Обнинск, Россия*

*<sup>2</sup> – Акционерное общество «Государственный научный центр Российской Федерации – Физико-энергетический институт имени А.И.Лейпунского», г. Обнинск, Россия*

Одной из приоритетных задач в атомной энергетике является переход к замкнутому ядерному топливному циклу (ЗЯТЦ), что обусловлено необходимостью минимизации объемов накопления отработавшего ядерного топлива (ОЯТ) и снижения радиотоксичности долгоживущих минорных актинидов (МА) за счет их повторного вовлечения в топливный цикл. В рамках этого подхода ОЯТ планируется перерабатывать с последующим изготовлением различных топливных композиций на основе смешанного уран-плутониевого топлива (МОХ-топливо) и нитридного уран-плутониевого топлива (СНУП-топливо) для использования в двухкомпонентной системе, включающей тепловые и быстрые реакторы. Особое внимание уделяется включению МА в топливный цикл, поскольку они обеспечивают до 30% долгосрочной радиотоксичности ОЯТ, их эффективное вовлечение в топливо без потери энергетического потенциала возможно исключительно в спектре нейтронов быстрого реактора.

Вовлечение МА в топливный цикл обусловлено их высокой радиоактивностью и значительным тепловыделением, что суще-

ственно осложняет процесс переработки и хранения топлива. В ОЯТ тепловых реакторов основную долю МА составляют изотопы америция, преимущественно  $\text{Am}^{241}$ . Эффективность его выжигания зависит от баланса между его наработкой и выжиганием, который определяется изотопным составом плутония, а также его содержанием в МОКС- и СНУП-топливе. Основными источниками накопления америция являются изотопы  $\text{Pu}^{241}$  и  $\text{Pu}^{242}$  за счет реакций распада и радиационного захвата (трансмутации) соответственно [1].

В настоящее время применяются два основных метода размещения МА в активной зоне быстрого реактора: гомогенный (равномерное распределение в топливе) и гетерогенный (выделенные сборки). Исследования в работах [1,2] показали, что при гомогенном выжигании МА, эффективность выжигания МА за один рецикл составляет 12–42% для МОКС-топлива и 8–37% для СНУП-топлива. Однако для значительного сокращения объемов МА требуются достижение более глубоких показателей утилизации, что в случае гомогенного выжигания достигается только после многократного рецикла. В работе исследуется многократный рецикл МА с плутонием различного изотопного состава, оценены эффективность утилизации америция по мере рецикла, темпы накопления кюрия при рецикле, доля плутония подпитки, проектные ограничения тепловыделения СТВС и ОТВС.

### *Литература*

1 Исанов К.А., Сусакин В.А., Елисеев В.А., Гулевич А.В. Исследование влияния изотопного качества плутония МОКС-топлива на накопление и эффективность выжигания минорных актинидов в реакторе типа БН // Вопросы атомной науки и техники. Серия: Ядерно-реакторные константы. – 2024. – Вып. 4. – С. 137–152.

2 Исанов К. А., Сусакин В. А., Закиров Н. А. и др. Сравнительный анализ эффективности гомогенного выжигания минорных актинидов в реакторе типа БН с МОКС- и СНУП-топливом // Вопросы атомной науки и техники. Серия: Ядерно-реакторные константы. – 2025. – Вып.1. – С. 75–90.

## СРАВНЕНИЕ МЕТОДИК УТИЛИЗАЦИИ МИНОРНЫХ АКТИНИДОВ В ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ ЯДЕРНОМ РЕАКТОРЕ

*Д.Е. Ширкова, А.М. Терехова*

*Обнинский институт атомной энергетики – филиал  
Национального исследовательского ядерного  
университета «МИФИ», г. Обнинск, Россия*

Одна из основных проблем, связанных с атомной энергетикой, – обращение с радиоактивными отходами. Основную массу отработавшего ядерного топлива (ОЯТ) составляет америций, представленный изотопами Am-241, Am-242m, Am-243. Помимо этого, в отработавшем топливе накапливается кюрий, который существенно влияет на тепловыделение отработавшего топлива. Один из самых эффективных и одновременно самых обсуждаемых подходов к избавлению от радиоактивных изотопов, образующихся в топливе, – трансмутация.

В рамках настоящей работы проводится литературный обзор статей, посвящённых исследованиям по поиску оптимальных методов выжигания минорных актинидов (МА). Данная публикация относится к начальному этапу полноценного исследования утилизации Am и Cm в реакторных установках.

В работе [1] представлены результаты расчётов гетерогенной трансмутации малого количества Np, Am, Cm, размещённых в активной зоне реакторной установки в виде мишеней. Результаты расчётов гомогенной и гетерогенной трансмутации этих изотопов в быстром реакторе БРЕСТ приведены в работах [2, 3].

В статье [4] рассматриваются технологии утилизации и трансмутации нептуния (Np) и америция (Am) в быстрых реакторах со смешанным нитридным уран-плутониевым топливом. Предлагается подход, при котором реакторы типа БН работают в замкнутом цикле совместно с реакторами типа ВВЭР, что позволяет выжигать наибольшее количество минорных актинидов. Расчёты показали, что оптимальный уровень сжигания Np и Am составляет 25–30 кг/ГВт·год, а их полная утилизация требует многократной переработки.

Таким образом, можно утверждать, что задача утилизации минорных актинидов в ядерных реакторах является актуальной. Проводится большое количество исследований, направленных на поиск оптимального метода утилизации изотопов Am, Cm, Np. Решение данной задачи позволит сделать шаг вперед в решении проблемы обращения с отработавшим ядерным топливом.

### *Литература*

1 Бергельсон Б.Р., Белоног В.В., Герасимов А.С., Тихомиров Г.В. Утилизация Np, Am, Cm в энергетическом ядерном реакторе // Атомная энергия. – 2009. – Т. 107. – № 2. – С. 81-86.

2 Ганев И.Х., Лопаткин А.В., Орлов В.В. Гомогенная трансмутация Am, Cm, Np в активной зоне реактора типа БРЕСТ// Атомная энергия. – 2000. – Т. 89. – №5. – С. 355-361.

3 Ганев И.Х., Лопаткин А.В., Орлов В.В. Гетерогенная трансмутация Am, Cm, Np в активной зоне реактора типа БРЕСТ// Атомная энергия. – 2000. – Т. 89. – №5. – С. 362-365.

4 Гулевич А. В., Елисеев В. А., Клинов Д. А. и др. Возможность выжигания америция в быстрых реакторах // Атомная энергия. – 2020. – Т. 128. – № 2. – С. 82–87.

## **РАСЧЕТ ОСТАТОЧНОГО СРОКА СЛУЖБЫ ОБОРУДОВАНИЯ**

*М.И. Шкарупа, И.М. Ивлев*

*Обнинский институт атомной энергетики – филиал  
Национального исследовательского ядерного  
университета «МИФИ», г. Обнинск, Россия*

В контексте обеспечения безопасности объектов ядерной и тепловой энергетики, данное исследование посвящено оценке остаточного ресурса оборудования различных типов.

Актуальность работы определяется необходимостью поддержания высокой надежности систем контроля, поскольку выход из строя измерительного и иного оборудования может привести к утечкам опасных веществ (например, радиоактивных изото-

пов) и, как следствие, к угрозе здоровью персонала и загрязнению окружающей среды.

Целью работы является разработка методики оценки и прогнозирования остаточного срока службы различного оборудования с учетом специфических условий эксплуатации на объектах ядерной и тепловой энергетики (повышенные температуры, радиационный фон). В качестве основного метода прогнозирования будет использовано вероятностное моделирование с применением цифровых методов обработки данных и машинного обучения, адаптированное для анализа данных о наработке и отказах оборудования, эксплуатируемых в условиях ядерной и тепловой энергетики [1].

Работа включает в себя анализ влияния внешних факторов на износ оборудования, разработку алгоритмов обработки данных с учетом специфических факторов эксплуатации. Это позволит минимизировать риски пропусков опасных выбросов, снизить затраты на внеплановые ремонты и продлить срок службы оборудования. Кроме того, разработанная методика может быть использована для оценки рисков, связанных с эксплуатацией устаревшего оборудования, и принятия обоснованных решений о его замене на объектах не только ядерной и тепловой энергетики, но и других производственных отраслей [2, 3].

### *Литература*

Гулина О.М., Меркун А.В., Семишкин В.П. Вероятностное оценивание остаточного ресурса элементов контура теплоносителя реактора ВВЭР при управлении старением. // Известия вузов. Ядерная энергетика. – 2022. – № 3. – С. 95-105.

Курганова Н.В., Филин М.А., Черняев Д.С. и др. Внедрение цифровых двойников как одно из ключевых направлений цифровизации производства // International Journal of Open – 2019. – №5. – С.105 –115.

Хальясмаа А.И., Ревенков И.С., Сидорова А.В. Применение технологии цифрового двойника для анализа и прогнозирования состояния трансформаторного оборудования // Вестник Казанского государственного энергетического университета. – 2022. – Т. 14. – №3 (55). – С. 99 – 113.

## РЕАКТОР С ТЕПЛОНОСИТЕЛЕМ ИЗ ВИСМУТА

*И.Б. Шомахмадов, Н.Р. Асхадуллин  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г.Казань, Россия*

Одним из перспективных материалов для теплоносителей реакторов на быстрых нейтронах является висмут. Его химические, термические и замедляющие свойства удовлетворяют условиям использования его в качестве теплоносителя [1].

**Цель работы:** Определение тепловой мощности и необходимого количества ядерного топлива для реактора с висмутовым теплоносителем.

**Объект исследования:** Жидкий висмут при заданных условиях.

**Методы исследования:** Расчет тепловой мощности и количества делящегося материала для реактора на основе изначально заданных требований к теплоносителю.

Зная удельную теплоемкость висмута в данном температурном диапазоне,  $c(\text{Bi}) = 151 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot^\circ\text{C})$ , по формуле (1) находим тепловую мощность реактора, которая составляет  $P_{\text{тепл}} = 219,9 \text{ МВт}$ .

$$P = Gc\Delta t, \quad (1)$$

где  $P$  – тепловая мощность реактора [МВт],  $G$  – массовый расход теплоносителя [кг/с],  $c$  – удельная теплоемкость теплоносителя [Дж/(кг·°C)],  $\Delta t$  – нагрев теплоносителя [°C].

За основу расчета был взят массовый расход натрия через активную зону  $G_{\text{Na}} = 8567 \text{ кг/с}$ .

Зная температуру плавления  $t_{\text{пл}} = 271 \text{ }^\circ\text{C}$  и температуру кипения  $t_{\text{кип}} = 1477 \text{ }^\circ\text{C}$  висмута, был выбран температурный диапазон эксплуатации теплоносителя от  $450 \text{ }^\circ\text{C}$  до  $620 \text{ }^\circ\text{C}$ . Также с ростом температуры висмута, уменьшается его динамическая вязкость, и при  $t = 427 \text{ }^\circ\text{C}$   $\mu = 1,2 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}$ , а при  $t = 627 \text{ }^\circ\text{C}$   $\mu = 1,0 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}$  [2].

Поскольку в реакторе в качестве делящегося топлива будет использоваться уран-235, а энергия, выделяющаяся при его делении равна  $E_{\text{дел}} = 200 \text{ МэВ}$ , можно по формуле (2) найти коли-

чество атомов ядерного топлива, необходимого для поддержания данной мощности.

$$N = \frac{P}{E}, \quad (2)$$

Количество атомов урана-235, необходимого для поддержания данной мощности  $N = 6,87 \cdot 10^{18}$ . По формуле (3) было найдено необходимое количество вещества ядерного топлива.

$$\nu = \frac{N}{N_a}, \quad (3)$$

где  $\nu$  – количество вещества [моль].  $N_a$  – число Авогадро ( $N_a = 6,02 \cdot 10^{23}$  моль<sup>-1</sup>).

Далее была найдена необходимая массовая скорость выгорания урана-235 по формуле (4).

$$m = \nu \cdot M, \quad (4)$$

где  $M$  – молярная масса [кг/моль].  $m$  – массовая скорость выгорания урана [кг/с].

Необходимая массовая скорость выгорания урана-235 составила  $m = 84,57$  кг/год.

**Полученные результаты:** Для работы реактора на теплоносителе из жидкого висмута при тепловой мощности примерно 220 МВт необходимо 84,57 кг делящегося урана-235 при годовом цикле работы.

**Обсуждение результатов:** Полученная тепловая мощность соответствует малому модульному реактору.

### *Литература*

1 Шомахмадов И.Б. Перспективы развития реакторов с теплоносителем из жидких металлов // XXVII Всероссийский аспирантско-магистерский научный семинар: электронный сборник статей по материалам конференции: [в 3 томах] /– Казань: КГЭУ, 2023. – Т. 2. – С.112-115.

2 Свойства жидких металлов: плотность, теплопроводность, вязкость // Сайт «Thermalinfo.ru» [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://thermalinfo.ru/svoystva-materialov/metally-i-splavy/svoystva-zhidkih-metallov-plotnost-teploprovodnost-vyazkost> (дата обращения: 12.02.25).

## ЭКСПЛИКАЦИЯ ПОНЯТИЯ «МГНОВЕННАЯ КРИТИЧНОСТЬ»

*А.Г. Юферов*

*Обнинский институт атомной энергетики – филиал  
Национального исследовательского ядерного  
университета «МИФИ», г. Обнинск, Россия*

Понятие «мгновенная критичность» или «критичность на мгновенных нейтронах» широко используется при рассмотрении вопросов динамики ЯР для обозначения состояния, когда равны реактивность и «эффективная доля запаздывающих нейтронов»:  $\rho = \beta$ . Это состояние трактуется как граница управляемости ЯР. Однако анализ показывает, что такое понимание мгновенной критичности требует экспликации - терминологических и содержательных уточнений. Для этого достаточно рассмотреть стандартные уравнения динамики ЯР:

$$dn/dt = (\rho - \beta) / \Lambda n + \sum_{j=1}^J \lambda_j c_j + Q, \quad (1)$$

$$dc_j/dt = -\lambda_j c_j + (\beta_j / \Lambda) n, \quad j = \overline{1, J}, \quad (2)$$

Понимание условия  $\rho = \beta$  как «мгновенной критичности» исходит из рассмотрения вклада запаздывающих нейтронов

$$v_{\text{зн}}^{\Gamma} = \sum_{j=1}^J \lambda_j c_j$$

как независимого источника, которым можно

пренебречь в определённых условиях. При этом сохраняют слагаемое  $(\beta / \Lambda) n$  - скорость потребления нейтронов на генерацию предшественников запаздывающих нейтронов (ПЗН), но, тем не менее, подразумевают, что так усечённое уравнение переноса описывает только процессы на мгновенных нейтронах. Далее, предполагая выполненным условие стационарности  $dn/dt=0$ , получают равенство  $\rho = \beta$  и трактуют его как выражение «мгновенной критичности».

Представленные рассуждения содержат две ошибки. Во-первых, исключение слагаемого  $v_{\text{зн}}^{\Gamma}$  нарушает баланс скоростей

в уравнениях (1), (2) - ПЗН генерируются с суммарной скоростью  $(\beta / \Lambda)n$ , но не распадаются. Но это имеет место только на интервалах времён, характерных для ядерного взрыва. Если же для сохранения баланса исключить и слагаемые  $(\beta_j / \Lambda)n$ , то приходим к элементарному уравнению кинетики, стационарность которого означает критичность в смысле  $\rho = 0$  [1].

Вторая ошибка состоит в допущении стационарности  $dn/dt=0$  применительно к уравнению (1) без слагаемого  $v_{\text{зн}}^r$ . В действительности уравнение (1) при достижении надкритичности  $\rho = \beta$  переходит (без каких-либо дополнительных предположений и, следовательно, с заведомым сохранением баланса скоростей) в уравнение

$$dn(t)/dt = \sum_{j=1}^J \lambda_j c_j.$$

которое означает, что при  $\rho = \beta$  только генерация запаздывающих нейтронов обеспечивает разгон реактора.

Более того, на всём интервале  $0 < \rho < \beta$  скорость потребления нейтронов на генерацию ПЗН превосходит скорость репродукции:  $v_{\text{пзн}}^r = (\beta / \Lambda)n > (\rho / \Lambda)n = v_{\text{мн}}^p$ . Следовательно, разгон реактора при  $0 < \rho \leq \beta$  обусловлен только запаздывающими нейтронами. И лишь при  $\rho > \beta$  вклад в разгон будут давать и мгновенные нейтроны. Оценки для теплового реактора показывают, что этот вклад станет преобладающим только при  $\rho > 2\beta$ .

Поскольку равенство  $\rho = \beta$  означает, что популяция нейтронов увеличивается со скоростью генерации запаздывающих нейтронов, то обозначение этой ситуации как «мгновенной критичности» представляется некорректным. (Если строго следовать стандартному пониманию «критичности» как стационарного состояния ядерного реактора.)

Далее, обнаруживается, что, согласно уравнению обратных часов, стандартная установка минимального допустимого периода  $T=10$  с достигается уже при  $\rho = 0.4\beta$  (для случая деления U-235 тепловыми нейтронами). Поэтому нельзя рассматривать состояние  $\rho = \beta$  как границу безопасности или управляемости ЯР,

и, следовательно, соответствующие критерии в Правилах ядерной безопасности должны быть уточнены.

### *Литература*

1 Юферов А.Г. О понятиии «Мгновенная критичность» // Известия вузов. Ядерная энергетика. – 2021. – № 4 – С.135 – 145.<https://doi.org/10.26583/npe.2021.4.12>

## **РАСЧЁТНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СТЕРЖНЕЙ СУЗ РЕАКТОРА БН-600 ПРИ ПРОДЛЕНИИ РЕСУРСА**

*В.В. Яковлева, Э.М. Зарапина.*

*Акционерное общество «Государственный научный центр  
Российской Федерации – Физико-энергетический институт  
имени А.И.Лейпунского», г. Обнинск, Россия*

Безопасность реакторной установки (РУ) является главным критерием при проектировании и эксплуатации АЭС. Одним из важнейших инструментов обеспечения безопасности в реакторах является система управления и защиты (СУЗ), которая включает в себя органы регулирования (ОР). ОР СУЗ позволяют контролировать мощность реактора, компенсировать изменения реактивности и предотвращать развитие нештатных аварийных ситуаций.

Система управления и защиты реактора на быстрых нейтронах с натриевым теплоносителем БН-600 [1] включает в себя 27 ОР СУЗ, обеспечивающих как оперативное регулирование (регулирующие и компенсирующие стержни – РС и КС соответственно), так и аварийный останов реактора в случае необходимости (стержни аварийной защиты – АЗ) [2].

Измерение эффективности органов СУЗ является стандартной процедурой при эксплуатации реактора БН-600 и выполняется для подтверждения безопасности РУ.

В настоящее время ведутся работы по увеличению длительности кампании СУЗ, что требует детального анализа изменений нейтронно-физических характеристик (НФХ) активной зоны

(а.з.). В связи с чем возникает необходимость проведения расчетных исследований, направленных на оценку эффективности стержней СУЗ и нейтронно-физических характеристик а.з. при продлении кампании.

В текущей работе приведены результаты расчетов для варианта а.з. со стержнями СУЗ, отработавшими свой основной ресурс. Первым этапом проводился расчет нейтронно-физических характеристик активной зоны, далее определялась эффективность каждого стержня СУЗ и групп стержней. Результаты работы будут использованы для исследования изменения НФХ и эффективности стержней СУЗ, отработавших свой основной ресурс, с учётом кратности перегрузок.

### *Литература*

1 Габараев Б.А., Смирнов Ю.Б., Черепнин Ю.С. Атомная энергетика XXI века. Учебное пособие. – М.: Издательский дом «МЭИ», 2013. – 250 с.

2 Клинов Д.А., Гулевич А.В., Елисеев В.А. Особенности активных зон перспективных быстрых натриевых реакторов // Избранные труды АО «ГНЦ РФ-ФЭИ» – Обнинск, 2021. – С. 26-37.

## **СЕКЦИЯ 2. ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ**

### **РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ОПЕРАТИВНОГО ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОЛЕВОГО ПЕРСОНАЛА ДОБЫЧНОГО ПОЛИГОНА СПВ УРАНА**

*А.А. Березин, М.В. Гуцул, А.Д. Истомин, М.Д. Носков,  
А.А. Чеглоков*

*Северский технологический институт – филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Северск, Россия*

В горнодобывающей промышленности используется множество программных средств для анализа и обработки данных, которые позволяют улучшить эффективность добычи, повысить безопасность на месторождении и уменьшить затраты [1].

Отличительной особенностью работы горнодобывающих предприятий являются большие пространственные размеры добычных комплексов и необходимость оперативного доступа персонала к необходимой информации в полевых условиях. Для решения этой задачи в горнодобывающей промышленности применяются специализированные информационные системы, работающие на мобильных устройствах.

Скважинное подземное выщелачивание (СПВ) – это процесс извлечения полезных ископаемых с помощью систем многочисленных технологических скважин [2]. Полигон СПВ включает в себя сотни скважин, находящихся на обозначенном расстоянии друг от друга, требующих в процессе своей эксплуатации регулярного обслуживания и контроля работы. Полевой персонал регулярно проводит ремонтно-восстановительные работы, геофизические исследования, замену и установку погружных насосных агрегатов на скважинах и др [3].

Разрабатываемое мобильное Android приложение для предприятия СПВ урана повышает удобство работы с информацией

о скважинах, группируя данные из нескольких таблиц базы данных в одну таблицу для выбранной задачи, предоставляя только необходимые данные. При этом данные предоставляются не только в виде таблиц, но и в виде графиков, позволяющих определить тенденции к изменению состояния скважин. Также приложение позволяет формировать сводную и геологическую колонки скважины и строить план месторождения.

Таким образом, мониторинг состояния скважин приводит к накоплению определенных объемов данных, для которых требуется оперативная обработка с соответствующим представлением.

Приложение интегрировано в программный комплекс управления геотехнологическим предприятием добычного комплекса предприятия Горнорудного дивизиона Госкорпорации «Росатом» АО «Далур».

### *Литература*

1 Вавенков М.В. VR/AR-технологии и подготовка кадров для горной промышленности // Горные науки и технологии. – 2022. – № 2. – С. 180-187.

2 Носков М.Д., Михайлов А.Н., Нарышкин Р.С., Рудин Р.С. "Умный полигон" скважинного подземного выщелачивания урана // Горный журнал. – 2022. – № 4. – С. 39-45.

3 Березин А.А., Мелюшонок Н.С, Гуцул М.В. и др. Мобильное рабочее место полевого персонала геотехнологического предприятия / Открытая научно-техническая конференция молодежного движения топливной компании «Science and Youth TVEL». – Томск, 2023. – С. 94.

# РЕШЕНИЕ УРАВНЕНИЯ ДИФФУЗИИ НЕЙТРОНОВ В ГОМОГЕННОМ ЦИЛИНДРИЧЕСКОМ РЕАКТОРЕ С БОКОВЫМ ОТРАЖАТЕЛЕМ С ПРИМЕНЕНИЕМ ФИЗИЧЕСКИ-ИНФОРМИРОВАННОЙ НЕЙРОСЕТИ

*А.А. Болотникова, Н.П. Шлапак*

*Обнинский институт атомной энергетики – филиал  
Национального исследовательского ядерного  
университета «МИФИ», г. Обнинск, Россия*

Проектирование и эксплуатация ядерного реактора подразумевают необходимость моделирования его состояний. С ядерно-физической точки зрения состояние реактора характеризуется распределением его нейтронного потока и коэффициентом размножения нейтронов. в конструкторских расчетах широкое распространение получил метод диффузионного приближения.

В работе [1] было показано, что физически-информированные нейросети могут быть использованы для решения уравнения диффузии нейтронов в цилиндрическом реакторе без отражателя с удовлетворительной точностью.

В данном исследовании рассматривается решение уравнения диффузии нейтронов в однокрупном приближении в гомогенном цилиндрическом реакторе с боковым отражателем с помощью физически-информированной нейросети. Для упрощения будем считать, что поток нейтронов и его градиент на границе активной зоны с отражателем известны. Тогда задачу можно описать системой уравнений (1):

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r D \frac{\partial \varphi}{\partial r} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( D \frac{\partial \varphi}{\partial z} \right) - \Sigma_a \varphi = -f(r, z) \\ \left( r D \frac{\partial \varphi}{\partial r} \right) (0, z) = 0; \left( D \frac{\partial \varphi}{\partial z} \right) (r, 0) = 0 \\ \varphi(r, H_3) = 0; \varphi(R, z) = \varphi_1 \\ \left( D \frac{\partial \varphi}{\partial r} \right) (R, z) = \varphi_2 \end{array} \right. , (1)$$

где  $\varphi(r, z)$  – поток нейтронов,  $D$  – коэффициент диффузии,  $\Sigma_a$  – макроскопическое сечение поглощения,  $f(r, z)$  – источник нейтронов,  $H_3$  – экстраполированная высота реактора,  $R$  – ради-

ус внешней границы активной зоны реактора,  $\varphi_1$ ,  $\varphi_2$  – поток нейтронов на границы активной зоны с отражателем и его градиент.

Для решения системы (1) предполагается использование полносвязной нейронной сети с функциями потерь, учитывающими вид дифференциального уравнения и его граничные условия.

### *Литература*

1 Болотникова А.А., Шлапак Н.П. Применение физически информированных нейросетей для решения уравнений физики ядерных реакторов / Будущее атомной энергетики – AtomFuture 2024: XIX Международная научно-практическая конференция: Тезисы докладов. – Обнинск: ИАТЭ НИЯУ МИФИ, 2024. – С. 136-137.

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЙРОСЕТЕЙ ТИПА ТРАНСФОРМЕР В ЗАДАЧЕ ОПТИЧЕСКОГО РАСПОЗНАВАНИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОГО ТЕКСТА**

*Д.В. Замков, Н. П. Шлапак, М.Е. Можяева, В.В. Ли  
Обнинский институт атомной энергетики – филиал  
Национального исследовательского ядерного  
университета «МИФИ», г. Обнинск, Россия*

В современном мире существует множество систем анализа изображений с распознаванием рукописных и печатных символов. Такие системы называются OCR системами (англ. Optical Character Recognition). Они предназначены в первую очередь для ускорения процесса обработки текста на носителях (на бумаге, например), оцифровки его. Примеры задач таких систем: определение цифры на изображении, распознавание целого печатного текста.

Существует ряд систем распознавания символов (табл. 1): GOOCR [1], PhotoMath [2], SimpleTex [3] (существуют и другие, но они либо разительно отличаются от поставленной задачи,

либо похожи на указанные решения). Однако все они обладают недостатками, делающими их неприменимыми в этой задаче.

Таблица 1

Близкие к основной задаче решения

| Решение   | Достоинства                                     | Недостатки   |
|-----------|---|--|
| GOOCR     | Распознаёт печатные шрифты                      | Не распознаёт рукописные тексты                    |
| PhotoMath | Решает математическую задачу                    | Не позволяет экспортировать математические формулы |
| SimpleTex | Позволяет экспортировать математические формулы | Платная услуга, ищет только математические формулы |

Существуют и другие решения, такие как большие языковые модели, например, DeepSeek [4], включающие возможность анализа изображения, но их анализ фотографии конспекта лекции, написанного от руки, ошибочен или вовсе не поддаётся анализу. Или многоступенчатые подходы, основанные на специализированных open-source библиотеках [5].

Исследование проблемы и разработка программного обеспечения, способного быстро и без потери качества преобразовывать рукописные технические материалы (например, конспекты лекций по основам математического анализа) в тексты, оформленные в формате LaTeX, откроет новые возможности для оцифровки не только технической, но и иной литературы.

Цель данной работы – реализация такой OCR системы, которая позволит произвести оцифровку рукописной или печатной технической литературы достаточно быстро, с наибольшей точностью.

Проблема является комплексной. В качестве упрощения подхода к решению данного вопроса, разобьём конечную цель на задачи: OCR для математически сложных конструкций и перевод их в форму LaTeX; OCR для русского, английского и греческого алфавитов соответственно.

Реализовав такой программно-аппаратный комплекс, логичнее всего предложить доступ к такому инструменту. Например, с помощью запросов к некоторому серверу, который имеет заранее определённое API.

В итоге, полноценная система способна обрабатывать изображения математического текста.

### *Литература*

1 GOOCR – программа оптического распознавания символов // Сайт «GOOCR» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://jocr.sourceforge.net/> (дата обращения: 23.02.2025)

2 PhotoMath – программа решения математических задач // Сайт «PhotoMath» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://photomath.ru/> (дата обращения: 23.02.2025)

3 SimpleTex – программа оптического распознавания математических формул // Сайт «SimpleTex» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://simpletex.cn/> (дата обращения: 23.02.2025)

4 DeepSeek – большая языковая модель // Сайт «Deep Seek» [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://www.deepseek.com/> (дата посещения 23.02.2025)

5 Шлапак Н.П., Батулин С.П. Разработка мультимодальной нейросетевой модели для оцифровки текстовых документов / VII Международная (XX Региональная) научная конференция «Техногенные системы и экологический риск»: Тезисы докладов. – Обнинск: ИАТЭ НИЯУ МИФИ, 2024. – С. 81-82.

## ПРИМЕНЕНИЕ ИНТЕРФЕРЕНЦИИ ЧАСТОТНЫХ КОМПОНЕНТОВ ДЛЯ СТЕГАНОГРАФИИ В ИЗОБРАЖЕНИЯХ

*Д.А. Иову*

*Калужский филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана, г. Калуга, Россия*

Данный метод стеганографической интеграции данных в изображение основан на изменении коэффициентов DCT в парах блоков  $8 \times 8$ . В нем используются принципы интерференции волн сигналов для кодирования информации. Благодаря минимизации изменений в изображении усложняется обнаружение внедренных данных [1].

Кодирование происходит следующим образом:

- Анализ скрываемых данных и проектирование нужного интерференционного паттерна.
- Определение пар DCT-блоков, наиболее близких к необходимым для создания интерференции, коэффициенты которых будут изменены.
- Модификация этих коэффициентов.
- Генерация ключа на основе координат измененных пар DCT-блоков.
- Сохранение модифицированного изображения в формате JPEG.

Для декодирования из ключа извлекаются координаты. Далее DCT-пары анализируются и вычисляется интерференционный паттерн, при помощи которого восстанавливаются скрытые данные. В качестве дополнительного метода безопасности возможно добавление случайной соли, что значительно усложнит поиск скрытых данных без знания ключа.

Метод имеет высокую скрытность и надежность, так как изменения DCT коэффициентов имеют локальный и предсказуемый характер [2], что позволяет избежать заметных артефактов в изображении.

## *Литература*

1 Мельман А.С., Петров П.О., Шелупанов А.А. и др. Встраивание информации в JPEG-изображения с маскировкой искажений в частотной области // Доклады ТУСУР. – 2020. – №4. [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/vstraiivanie-informatsii-v-jpeg-izobrazheniya-s-maskirovkoj-iskazheniy-v-chastotnoy-oblasti> (дата обращения: 01.03.2025).

2 Рябко Б.Я., Фионов А.Н. Основы современной криптографии и стеганографии. – Москва: Горячая Линия–Телеком, 2010. – С. 208-212.

## **НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ: СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ**

*П.П. Левченко, П.А. Белоусов*

*Обнинский институт атомной энергетики – филиал  
Национального исследовательского ядерного  
университета «МИФИ», г. Обнинск, Россия*

Важной составляющей многих электронных устройств являются печатные платы, служащие для соединения и взаимодействия всех электронных компонентов. Качество и надежность печатных плат непосредственно влияют на функциональность и долговечность конечного продукта. Поэтому обеспечение их исправности на всех этапах производственного цикла становится критически важной задачей.

Цель данной работы – проанализировать методы неразрушающего контроля печатных плат, направленные на выявление дефектов и оценку качества продукции.

Среди методов неразрушающего контроля представленных в ГОСТ 18353-79 [1], рациональнее всего, для контроля качества печатных плат, будет использовать следующие: оптический контроль, рентгенографический контроль, электрический контроль.

При применении оптического контроля, проверяемая плата сравнивается с эталоном, что достаточно неудобно, но данная

проблема решается благодаря системам машинного обучения. Примером служит аппарат model 22XDL, использующий машинное обучение, для выявления различных дефектов связанных с размещением компонентов на плате, а также корректности их запайки.

Рентгенографический метод неразрушающего контроля, по средствам просвечивания платы рентгеновскими лучами, для выявления таких дефектов как: замыкание на контактных площадках, трещины, разрывы, отслоение, износ и т.д.

Электрический неразрушающий контроль направлен на оценку электрических характеристик материалов и компонентных соединений. Он может выявить различные внутренние дефекты, которые не могут быть обнаружены методами, представленными выше, к примеру: проблемы с контактами, износ соединений, целостность внутренней структуры компонентов и т.д [2].

В табл. 1 представлено сравнение трёх вышеперечисленных методов.

Таблица 1

Сравнение методов неразрушающего контроля

| Методы контроля  | Время определения дефекта | Себестоимость | Степень проверки работоспособности | Структурное тестирование |
|------------------|---------------------------|---------------|------------------------------------|--------------------------|
| Оптический       | Высокое                   | Низкая        | Низкая                             | Визуальное               |
| Радиографический | Высокое                   | Большая       | Средняя                            | Визуальное               |
| Электрический    | Низкое                    | Большая       | Высокая                            | Внутрисхемное            |

Исследования проходят на предприятии ООО “Микросистема”. Основной контроль качества плат осуществляется отделом технического контроля (ОТК), при помощи разнообразных стендов, которые проверяют корректность работы функций платы, задающихся техническим заданием. В случае нахождения отклонений, дефект ищется “вручную”.

Следует учитывать, что любые методы контроля не идеальны и имеют ряд как плюсов, так и минусов. Из этого можно сделать вывод о необходимости применения нескольких методов контроля для обеспечения достаточного качества продукции.

Проанализировав информацию, можно сделать выводы, что наиболее рациональным будет использовать электрический метод для первичного контроля печатных плат, а для вторичного контроля – оптический, перед их отправкой в ОТК.

### *Литература*

1 ГОСТ Р 56542-2019. «Контроль неразрушающий. Классификация видов и методов» – М: Стандартинформ, 2019. – 9 с.

2 Журавин А.И. Методы и средства измерений, испытаний и контроля. – СПб.: Издательство НО "МИПКИ", 2007. – 163 с.

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЙРОСЕТЕЙ ТИПА ТРАНСФОРМЕР В ЗАДАЧЕ ОПТИЧЕСКОГО РАСПОЗНАВАНИЯ КИРИЛЛИЦЫ**

*В.В. Ли, М.Е. Можяева, Д.В. Замков*

*А.А. Болотникова, Н.П. Шлапак*

*Обнинский институт атомной энергетики – филиал*

*Национального исследовательского ядерного*

*университета «МИФИ», г. Обнинск, Россия*

Оптическое распознавание символов (OCR) является одной из ключевых задач компьютерного зрения и машинного обучения, находя широкое применение в автоматизации обработки текстовой информации. В последние годы трансформерные архитектуры, такие как ViT [1] и TrOCR [2], показали высокую эффективность в анализе сложных текстов, позволяя обрабатывать размытые изображения, рукописный ввод и документы с нестандартными шрифтами.

Системы распознавания символов наиболее развиты для иероглифических языков, латинского алфавита и арабского письма. Однако распознавание текста с русскими символами, особенно в open-source решениях, всё ещё остается сложной за-

дачей. В последние годы внимание исследователей привлекли трансформерные архитектуры, но обычно они не ориентированы на распознавание кириллицы. В данном исследовании мы рассматриваем возможность использования трансформерных архитектур для распознавания русскоязычного текста.

Основной задачей проекта является разработка нейросети, которая по показателям метрик (например, Character Error Rate (CER), Word Error Rate (WER), Edit Distance и другие) будет превосходить существующие open-source решения.

**В ходе работы планируется:**

- проанализировать существующие методы OCR для кириллицы и выявить их ограничения;
- разработать и обучить трансформерную модель, адаптированную для распознавания русского текста;
- провести сравнение с традиционными и современными методами OCR, используя стандартные метрики качества;
- оценить возможность применения разработанного решения в реальных задачах цифровизации текстовой информации.

В качестве основы предполагается использование ViT (Vision Transformer) в качестве визуального энкодера (хорошо справляется с обработкой изображений текста, особенно если обучен на рукописных или сложных шрифтах) и GPT (Generative Pre-trained Transformer) [3] для декодирования текста.

Также рассматриваются альтернативные варианты:

- использование TrOCR (Transformer OCR) с дообучением на кириллице;
- применение Swin Transformer [4] + CTC Loss [5] – улучшенной вариации ViT, эффективной для работы с изображениями текста;
- использование Conformer OCR (CNN + Transformer) – сочетания сверточных слоев для выделения локальных признаков и трансформерного механизма для учета контекста.

Ожидается, что результаты исследования позволят улучшить качество распознавания текстов на русском языке по сравнению с существующими open-source решениями.

## *Литература*

1 Dosovitskiy A., Beyer L., Kolesnikov A. et al. An Image is Worth 16x16 Words: Transformers for Image Recognition at Scale // arXiv preprint arXiv:2010.11929. – 2020. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2010.11929>

2 Li M., Wang H., Zhang C. et al. TrOCR: Transformer-based Optical Character Recognition with Pre-trained Models // arXiv preprint arXiv:2109.10282. – 2021.

3 Brown T., Mann B., Ryder N. et al. Language Models are Few-Shot Learners // arXiv preprint arXiv:2305.10435. – 2023.

4 Liu Z., Lin Y., Cao Y. et al. Swin Transformer: Hierarchical Vision Transformer using Shifted Windows // arXiv preprint arXiv:2103.14030. – 2021.

5 CTCLoss // Сайт Pytorch [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://pytorch.org/docs/stable/generated/torch.nn.CTCLoss.html> (дата обращения 25.03.2025).

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ДЛЯ КОНТРОЛЯ И МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ ПЛОЩАДКИ АЭС**

*А.А. Лихоманов<sup>1</sup>, П.А. Белоусов<sup>1</sup>, В.И. Диденко<sup>2</sup>,  
О.В. Марухина<sup>3</sup>, С.В. Аксенов<sup>3</sup>*

*<sup>1</sup> – Обнинский институт атомной энергетики – филиал  
Национального исследовательского ядерного  
университета «МИФИ», г. Обнинск, Россия*

*<sup>2</sup> – ООО "АЙТЕКФОРСАЙТ", г. Москва, Россия*

*<sup>3</sup> – Национальный исследовательский Томский политехнический  
университет, г. Томск, Россия*

В данной работе рассмотрено применение спутниковых данных и методов машинного обучения для мониторинга площадки атомной электростанции. Основное внимание уделено использованию индексов NDVI и NDMI для оценки состояния растительности и выявления деградационных процессов.

В исследовании использованы спутниковые снимки Sentinel-2 с пространственным разрешением 10 м. Анализ проведён с 80

применением индексов NDVI и NDMI, а также алгоритмов автоматизированной векторизации. Для оценки изменений в растительности и выявления аномалий разработан алгоритм обработки растровых данных.

Компанией ООО «Айтекфорсайт» были представлены данные, где после анализа данных выяснилось, что распределение лесных пород: сосна обыкновенная (46.6%) и берёза повислая (43.4%) доминируют на исследуемой территории. Визуализация показала, что сосна сконцентрирована в западной части, а берёза – в восточной. Выявлены участки деградации, связанные с антропогенным воздействием и природными факторами. Разработаны алгоритмы для расчета индексов NDVI и NDMI, что позволило выявить ключевые закономерности в динамике растительного покрова. Проведена верификация результатов, показавшая высокую корреляцию между дистанционными методами и традиционными полевыми наблюдениями.

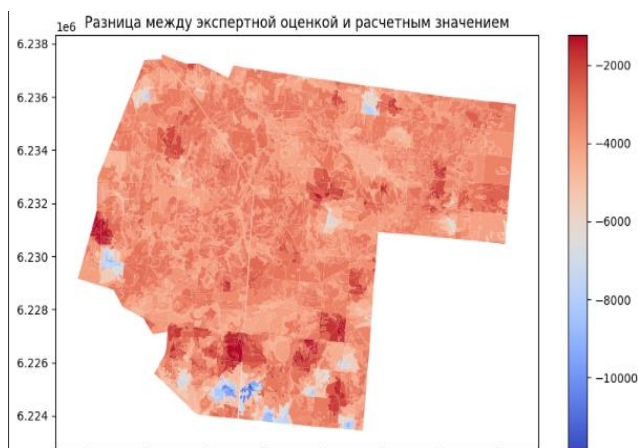


Рис. 1. Разница между экспертной оценкой и расчетным значением с использованием математической модели.

На изображении представлена карта, показывающая разницу между экспертной оценкой и расчетным значением, полученным с помощью модели машинного обучения. Цветовая шкала варьируется от красного до синего: красный цвет соответствует положительной разнице, то есть модель занижает предсказан-

ные значения по сравнению с экспертной оценкой, а синий цвет указывает на отрицательную разницу, когда модель завышает предсказанные значения. Светло-розовые области обозначают незначительные отклонения. Чем ближе значения к нейтральному цвету, тем лучше модель справляется с предсказаниями. Для оценки точности необходимо учитывать метрики  $R^2$  и MAE. Если  $R^2$  близко к 1, значит модель хорошо объясняет вариативность данных, а низкий MAE указывает на малую среднюю ошибку.

Исследование показало, что такой подход с использованием методов машинного обучения и результатов дистанционного зондирования земли может использоваться для дополнительного мониторинга состояния растительности вокруг АЭС.

### *Литература*

1 Гусев А.М. Тренды NDVI лесных экосистем в условиях меняющегося климата // Вестник Гомельского университета имени Ф. Скорины. – 2019. – № 3(108). – С. 171–176.

2 Кузнецов П.В. Исследование изменений состояния лесного покрова по разновременным изображениям NDVI // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2018. – № 2. – С. 45–50.

## **ОПТИЧЕСКОЕ РАСПОЗНАВАНИЕ НОТ С ПОМОЩЬЮ НЕЙРОСЕТЕЙ ТИПА ТРАНСФОРМЕР**

*М.Е. Можяева, В.В. Ли, Д.В. Замков  
Обнинский институт атомной энергетики – филиал  
Национального исследовательского ядерного  
университета «МИФИ», г. Обнинск, Россия*

Оптическое распознавание символов является одной из самых распространённых задач компьютерного зрения и машинного обучения. Оно активно используется для оцифровки документов в банковском деле, здравоохранении, образовании, и в целом - для упрощения обработки изображений, содержащих текст. В основном свое развитие получили системы распознава-

ния символов естественного языка - преимущественно латиницы, арабского и некоторых иероглифических языков. Однако, во многих сферах помимо письменной речи используется тот или иной язык графических символов, например - в нотной грамоте (рис.1.).



Рис. 1. Нотная грамота.

Нота - это графическое изображение звука. Нотная грамота в свою очередь - это система фиксации звуков при помощи нотных знаков. Ноты располагаются на нотном стане - пяти параллельных линиях, положение на которых определяет высоту звуков. Помимо нот на нотном стане могут присутствовать специальные символы, такие как ключи, знаки альтерации и обозначения размерности [1].

Распознавание и воспроизведение нот может быть очень полезно для музыкантов, не имеющих в конкретный момент инструмента под рукой, чтобы услышать свою партию для последующего воспроизведения и заучивания, а также - для начинающих или тех, кто с нотной грамотой в принципе не знаком.

Основной задачей этого проекта является создание ПО, способного прочесть ноты с листа и предоставить музыкантам возможность прослушать свои партии в аудиоформате (рис.2.). Для выделения признаков изображений применяются в основном два решения - сверточные НС или визуальные трансформеры (ViT) В этой работе будут использованы вторые в качестве кодирующего элемента. В приложение загружается фото нотной партии, трансформер разбивает изображение и присваивает им токены, производя классификацию для последующей обработки.

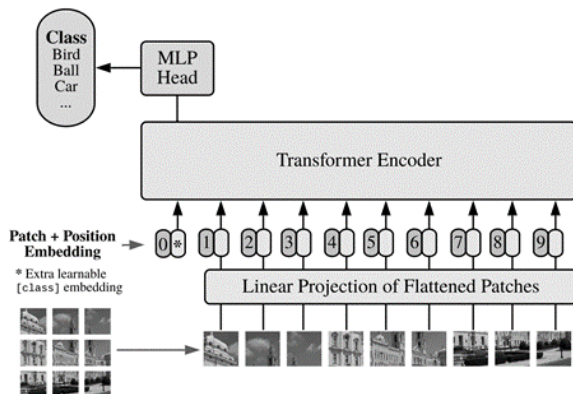


Рис. 2. Визуальный трансформер (схема).

Для генерации звуков будет использован WaveNet [2]. Обычно он применяется для генерации речи, но в этой работе его задача - генерировать звуки разной высоты и длительности на основе закодированных на предыдущем этапе нот.

### *Литература*

Современная музыкальная нотация: [Электронный ресурс]. Режим доступа:

[https://ru.wikipedia.org/wiki/Современная\\_музыкальная\\_нотация](https://ru.wikipedia.org/wiki/Современная_музыкальная_нотация)  
(дата обращения: 25.03.2025)

2. Aaron van den Oord et.al. WaveNet: A Generative Model for Raw Audio // arXiv:1609.03499v2. – 2016.  
<https://doi.org/10.48550/arXiv.1609.03499>

3. Dosovitskiy A., Beyer L., Kolesnikov A. et. al. An Image is Worth 16x16 Words: Transformers for Image Recognition at Scale // arXiv preprint arXiv:2010.11929. – 2020.  
<https://doi.org/10.48550/arXiv.2010.11929>

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОСТАВА ФИТОМАССЫ ЛЕСНОЙ ЗОНЫ ПО СПУТНИКОВЫМ СНИМКАМ

*М.В. Молчанова, Н.П. Шлапак, П.А. Белоусов  
Обнинский институт атомной энергетики – филиал  
Национального исследовательского ядерного  
университета «МИФИ», г. Обнинск, Россия*

На данный момент анализ значений индексов NDVI (Normalized difference vegetation index) и NDMI (Normalized Difference Moisture Index) является распространённым методом отслеживания состояния природной зоны. Преимуществом данного способа является то, что для получения этих данных достаточно спутникового снимка.

Цель нашего исследования – анализ зависимостей значений NDVI и NDVI от различных характеристик фитомассы. Выявление различных зависимостей индексов позволит оценивать более полный набор признаков лесной зоны.

В исследовании рассматриваются такие характеристики фитомассы, как средний возраст, относительная полнота древостоя и тип древесной породы. Для выявления зависимостей мы провели корреляционный анализ попарно для всех указанных признаков и составили корреляционную матрицу (рис. 1).

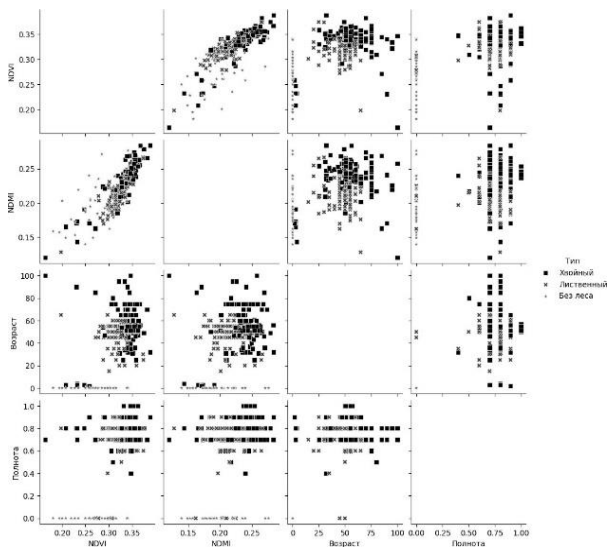


Рис. 1. Корреляционная матрица NDVI, NDMI, возраста и относительной плотности древостоя.

NDVI – стандартизированный индекс, отвечающий за наличие и состояние растительности, принимающий значения в диапазоне -1.0 и 1.0 [1]. Для растительности значение индекса находится в диапазоне от 0 до 1.0, диапазон от 0 до -1.0 указывает на наличие воды, снега или облаков на снимке.

NDMI — нормализованный разностный индекс влажности [2], принимающий значения от 0 до 1. Данный индекс используется для определения влажности почвы и растительности. Чем выше значение NDMI, тем больше влаги содержится в почве или растительности. Преимущество одновременного анализа индексов заключается в том, что он позволяет минимизировать влияние облаков на снимке на результат.

Значения индексов NDVI и NDMI хвойных пород, в среднем, превышает значения для лиственных пород, а значения у лиственных пород, в среднем превосходит значения в зонах без леса. Это может быть связано с различиями в густоте лиственного покрова деревьев. Наибольшими значениями NDVI и NDMI обладают деревья, возрастом ближе к среднему. Это связано с тем, что деревья среднего возраста, в силу своего размера, имеют

много листвы, в отличие от молодых, а также с тем, что она активно растёт, в отличие от листвы старых деревьев. Также, густой лес также имеет преимущество в значениях индексов над более редкими лесами. Это связано с плотностью расположения деревьев и густотой лиственного покрова в данной зоне.

### *Литература*

1 Сайт обсерватории Земли NASA [Электронный ресурс] Режим доступа: [https://earthobservatory.nasa.gov/features/MeasuringVegetation/measuring\\_vegetation\\_2.php](https://earthobservatory.nasa.gov/features/MeasuringVegetation/measuring_vegetation_2.php) (дата посещения 19.12.2024).

2 Сайт геологической службы США [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://www.usgs.gov/landsat-missions/normalizeddifference-moisture-index> (дата посещения 23.12.2024).

## **АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ОБОРУДОВАНИЯ ОПАСНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ**

*Е.Ю. Нарусова, В.Г. Стручалин*

*Российский университет транспорта, г. Москва, Россия*

Рассмотрим промышленные объекты, содержащие оборудование с жидкими или газообразными носителями, обеспечивающими производственный процесс, и несущими экологическую угрозу в случае возникновения аварийной ситуации.

Для контроля безопасности процессов разрабатывается автоматизированная система противоаварийной защиты, включающая: систему мониторинга на основе датчиков состояния ключевых процессов; специализированное программное обеспечение с алгоритмами обработки текущих данных; автоматизированные средства управления процессами для основных нештатных ситуаций; автоматизированную систему ручного управления; экспертную систему; базу данных; базу знаний [1, 2]. Для типовых сценариев отказов и происшествий целесообразно использование интеллектуальных инструментов поддержки при-

нения решений. На рис. 1 представлена примерная архитектура предлагаемой для рассматриваемого случая автоматизированной системы обеспечения безопасности опасных процессов.



Рис. 1. Архитектура автоматизированной системы защиты.

Для настройки автоматизированной системы защиты необходимо применение риск-ориентированного подхода и проведение на регулярной основе работы по управлению рисками для предотвращения возникновения аварийных ситуаций с использованием методов и инструментов логического и ситуационного анализа [3, 4].

В табл. 1 представлен пример применения метода анализа опасности и работоспособности на основе оценки рисков с использованием анализа ключевых показателей мониторинга процессов и моделирования сценариев нештатных ситуаций, возникающих вследствие недопустимых отклонений контролируемых показателей процессов или отказов элементов оборудования.

Таблица 1

Анализ опасности и работоспособности систем с опасным жидким или газообразным носителем

| Несоответствие параметра     | Возможные причины         | Последствия             | Рекомендации по управлению                  | Критичность риска |
|------------------------------|---------------------------|-------------------------|---|-------------------|
| Давление выше нормы          | Засор магистрали;         | Разрыв трубопровода     | Управление задвижками                       | Средняя           |
| Поток выше нормы             | Разгерметизация линии     | Выброс носителя         | Подключение резервной линии                 | Критичная         |
| Температура выше нормы       | Перегрев электродвигателя | Нестабильность носителя | Включение резервного компрессора            | Низкая            |
| Статический заряд выше нормы | Отказ электросети         | Воспламенение носителя  | Отключение, диагностика электрооборудования | Критичная         |

В качестве средств дополнительного контроля рабочего состояния ответственных узлов оборудования предлагается разработка системы видеомониторинга производственной площадки с текущей обработкой данных видеоряда с использованием алгоритмов искусственного интеллекта (в том числе на основе нейросетей), идентифицирующих предаварийные и аварийные состояния, такие как: утечки, разрывы, вибрации, нештатные срабатывания и перемещения узлов. Интеллектуальная идентификация отклонений производственных процессов по видеоданным позволит увеличить объем и детализацию текущего контроля, его чувствительность к появлению визуально распознаваемых предаварийных признаков.

### *Литература*

1. Struchalin V.G., Narusova E.Y. Simulation of the Dangerous Events Occurrence in Technological Processes in Railway Transport // Proceedings of the 2021 IEEE International Conference "Quality Management, Transport and Information Security, Information

Technologies", T and QM and IS 2021. – Yaroslavl, 2021. – P. 127-130.

2. Statsenko A.A. et.al. Developing Software and Hardware for Automation of Ground Urban Transport Traffic Management / Proceedings of the 2021 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering, ElConRus 2021. – Moscow, 2021. – P. 1102-1105.

3. Рогов А.А., Петряков А.М. Анализ надёжности и рисков в транспортных системах / Моделирование сложных процессов и систем: Сборник трудов XXXIV Международной научно-практической конференции, Химки, 01 марта 2024 года. – Химки: Академия гражданской защиты МЧС России им. генерал-лейтенанта Д.И. Михайлика, 2024. – С. 78-83.

4. Titov A.A., Rogov A.A. An algebra-logical approach to modeling of complex systems control problems / Proceedings of the 2020 IEEE International Conference "Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies", IT and QM and IS 2020. – Yaroslavl, 2020. – P. 299-302.

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФИЛЬТРА КАЛМАНА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЯ ОР СУЗ ПО ПОКАЗАНИЯМ ДПЗ В РЕАКТОРЕ ВВЭР-1000**

*А.А. Степанов, Н.П. Шлапак*

*Обнинский институт атомной энергетики – филиал  
Национального исследовательского ядерного  
университета «МИФИ», г. Обнинск, Россия*

В современных ядерных энергетических реакторах, таких как ВВЭР-1000, точный мониторинг движения органов регулирования системы управления защитой (ОР СУЗ) критически важен для обеспечения безопасности и эффективной работы реактора. Традиционные методы сбора данных могут быть подвержены шумам и ошибкам, что делает использование более продвинутых алгоритмов, таких как фильтр Калмана, актуальным для повышения точности определения положения и движения ОР СУЗ.

ОР СУЗ – это элементы, которые контролируют и регулируют процессы в реакторе, такие как управление реакцией деления. Положение и движение ОР непосредственно влияют на распределение нейтронного потока и, следовательно, на поле энерговыделения в реакторе. Неправильное управление может привести к неравномерному распределению энергии, что может снизить эффективность работы реактора и увеличить риск аварий [1].

Фильтр Калмана – это алгоритм, используемый для оценки состояния динамической системы на основе измерений, которые могут быть подвержены шумам. Фильтр Калмана позволяет оценивать скрытые состояния системы, основываясь на наблюдениях и моделировании динамики системы. Это полезно, например, в задачах предсказания, где нужно предсказать будущее состояние на основе предыдущих данных. Для лучшего понимания принципа работы фильтра Калмана приведена схема на рис. 1, которая иллюстрирует основные этапы обработки данных.



Рис.1. Принципиальная схема работы фильтра Калмана.

В контексте реактора ВВЭР-1000 фильтр Калмана может быть использован для обработки данных от датчиков прямого заряда (ДПЗ), измеряющих энерговыделение [2]. Он позволяет уменьшить влияние шумов и ошибок в измерениях, улучшая точность определения положения и движения ОР СУЗ, что, в свою очередь, способствует более эффективному и безопасному управлению реактором.

### *Литература*

1 Иваницкая Е.С., Лескин С.Т., Шлапак Н.П. Анализ состояния активной зоны реактора ВВЭР-1000 по показаниям СВРК с использованием нейросетевых алгоритмов / Техногенные системы и экологический риск: Тезисы докладов V Международной (XVIII Региональной) научной конференции. Под общей редакцией А.А. Удаловой. – Обнинск: ИАТЭ НИЯУ МИФИ, 2022. – С. 31-33.

2 Старшов В.Б., Шлапак Н.П. Применение фильтра Калмана для обработки показаний детекторов прямого заряда / Будущее атомной энергетики - AtomFuture 2023. Тезисы докладов XIX Международной научно-практической конференции. – Обнинск: ИАТЭ НИЯУ МИФИ, 2023. – С. 100-101.

## **ЦИФРОВЫЕ ДВОЙНИКИ В УЧЁТЕ И АНАЛИЗЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ В УЧРЕЖДЕНИЯХ ЗДРАВООХРАНЕНИЯ ФМБА РОССИИ**

*А.Р. Туков, М.Н. Зиятдинов, А.М. Михайленко,*

*М.Г. Арчегова*

*ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России, г.Москва,  
Россия*

Исследование направлено на оценку возможности применения элементов цифровых технологий в отраслевой службе ФМБА России профессионального здоровья. Актуальность исследования обусловлена изменением требований к учёту профессиональных заболеваний и их анализу.

В здравоохранении и медицине всё шире внедряются цифровые двойники (ЦД). ЦД – это виртуальная модель физического объекта с динамическими двунаправленными связями между физическим объектом и его соответствующим близнецом в цифровой области [1].

Целью цифрового здравоохранения является создание отвечающей на запросы потребителя развивающейся системы здравоохранения посредством максимальной ликвидации всех видов потерь.

Одним из вариантов использования ЦД в здравоохранении является разработка регистров на основе персональных данных.

Создание ЦД, в нашем случае – разработка Отраслевого регистра лиц, имеющих профессиональные заболевания (ОРПРОФИ), на основе персональных данных проходило поэтапно. На первом этапе Приказом ФМБА России от 10 декабря 2009 № 856 «О совершенствовании статистического учёта профессиональных заболеваний» была сформулирована задача и цель исследования: «Во исполнение Решения заседания технической секции № 5 «Медико-биологические аспекты использования атомной энергии» Научно-технического совета Госкорпорации «Росатом» от 29.06.2009 г. и с целью совершенствования статистического учёта профессиональных заболеваний ФМБА России».

Проведено предпроектное обследование системы учёта профессиональных заболеваний в учреждениях здравоохранения ФМБА России, по результатам которого разработано техническое задание на создание регистра.

Входными документами ОРПРОФИ являются Извещение об установлении заключительного диагноза острого или хронического профессионального заболевания (отравления), его уточнении или отмене и Акт расследования.

Для функционирования регистра разработаны справочники: «Пол», «Возраст», «Наименование предприятий» с их численностью, «Наименование учреждения, установившего, изменившего, уточнившего или отменившего диагноз (диагнозы)». Для кодирования диагнозов использована Международная классификация болезней 10-го пересмотра (МКБ-10) [1].

Регистр разработан в ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России и обеспечивает с 2011 г. сбор, хранение, учёт и анализ данных о состоянии здоровья лиц, получивших профессиональное заболевание в процессе трудовой деятельности из числа прикрепленных контингентов, состоящих на учёте в учреждениях здравоохранения отрасли. Использование ОРПРОФИ позволило получить впервые корректные показатели заболеваемости профессиональными болезнями работников предприятий и организаций Госкорпорации «Росатом», что позволяет принимать более эффективные решения по медико-социальной реабилитации работников предприятий и организаций, обслуживаемых учреждениями здравоохранения ФМБА России.

### *Литература*

1 Зиятдинов М. Н., Туков А. Р., Михайленко А. М., Арчегова М. Г. Цифровые технологии в учёте и анализе профессиональных заболеваний // Медицинская радиология и радиационная безопасность. – 2025. – Т. 70. – № 1. – С. 39–44. DOI:10.33266/1024-6177-2025-70-1-39-44

## **СРАВНЕНИЕ АРХИТЕКТУР «МАМБА» И «TRANSFORMER» В ЗАДАЧЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ ВЫГОРАНИЯ ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА**

*Н.П. Шлапак, В.В. Колесов*

*Обнинский институт атомной энергетики – филиал  
Национального исследовательского ядерного  
университета «МИФИ», г. Обнинск, Россия*

Моделирование выгорания ядерного топлива – комплексная задача, требующая высокой точности вычислений. Используемые на данный момент алгоритмы позволяют достичь этого только за счёт существенных затрат вычислительных ресурсов. Альтернативой может быть использование нейронных сетей [1].

Если переопределить задачу как «установление числа атомов определённых изотопов, тепловыделения, а также коэффициен-

та размножения нейтронов в заданный момент времени», то она описывается рядом характеристик:

1. Число атомов рассматриваемых изотопов в начальный момент времени.
2. Время, прошедшее с начала симуляции.
3. Микроскопические сечения всех рассматриваемых изотопов, а также тех, которые в ходе ядерных реакций могут превратиться в рассматриваемые.

Это справедливо для простейшей модели, рассматриваемой в данной работе – один тепловыделяющий элемент без поглотителя и в полной изоляции от окружающей среды.

С точки зрения обработки данных можно выделить несколько основных элементов:

- ядерные концентрации изотопов – одномерные временные ряды (по одному для каждого изотопа),
- сечения реакций – многомерные тензоры, описывающие вероятность протекания той или иной реакции для каждого изотопа при столкновении с нейтроном в зависимости от температуры материала и энергии нейтрона
- геометрия модели – 3D-объект (традиционно представляется в виде графа или сетки)

Для генерации временных рядов традиционно используют хорошо зарекомендовавшие себя рекуррентные нейронные сети [1, 2] либо пришедшие им на смену трансформеры.

В данной работе предлагается сравнить эти две архитектуры. Для этого используется простейшая модель – тепловыделяющий элемент с оболочкой, окружённый водой. Поглощение нейтронов окружающей средой отсутствует.

### *Литература*

1 Шлапак Н.П., Колесов В.В. Моделирование выгорания ядерного топлива с помощью рекуррентных нейронных сетей / Будущее атомной энергетики: XX Международная научно-практическая конференция. Тезисы докладов. – Обнинск: ИАТЭ НИЯУ МИФИ, 2024. – С. 122-124.

2 Болотникова А.А., Шлапак Н.П. Применение нейронных сетей в прогнозировании изменения изотопного состава ТВС

реактора ВВЭР-1000 / XXV Международная Научно-Техническая Конференция «Нейроинформатика-2023». – Москва: НИЯУ МИФИ Сборник научных трудов, 2023. – С. 328-33.

### **СЕКЦИЯ 3. ТЕХНОГЕННЫЙ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ РИСКИ. РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ**

#### **ANALYSIS OF RADON RADIATION AS AN ENVIRONMENTAL PUBLIC HEALTH RISK IN LA PAZ, BOLIVIA: DISTRIBUTION AND MITIGATION STRATEGIES**

*Brian Henry Ayala Cabrera*

*University of San Andrés, Nuclear Physics Club, La Paz, Bolivia*

Radon (Rn-222) is a naturally occurring radioactive gas that poses potential public health risks when accumulated in enclosed spaces. In La Paz, Bolivia, the complex geological structure and construction practices may contribute to elevated indoor radon levels, increasing the risk of respiratory diseases, including lung cancer. This abstract presents a preliminary analysis designed to establish a framework for future, more comprehensive studies on radon distribution and mitigation in urban environments.

The analysis focuses on two main aspects: the geophysical factors influencing radon emanation and the building characteristics that facilitate its indoor accumulation. Preliminary considerations suggest that areas with permeable soils and older constructions lacking adequate ventilation systems are more likely to exhibit higher radon concentrations. Although quantitative measurements have not yet been conducted, a review of existing literature indicates that the local geology – characterized by metamorphic and sedimentary formations – may play a significant role in radon release. Furthermore, construction practices in La Paz often do not incorporate radon mitigation techniques, underscoring the need for updated building codes and public awareness campaigns.

Proposed mitigation strategies include:

- **Enhanced Ventilation Systems:** The implementation of both natural and mechanical ventilation solutions to dilute indoor radon levels.

- Sealing Techniques: Targeted sealing of foundation cracks and other entry points to minimize radon infiltration from the soil.
- Regulatory Revisions: The incorporation of radon-resistant construction practices in local building regulations.
- Public Awareness and Monitoring Programs: Initiating community-based monitoring and educational programs to inform residents about radon risks and mitigation measures.

This preliminary analysis aims to guide the design of systematic studies that will provide reliable data for developing effective mitigation strategies, thereby contributing to improved public health outcomes in La Paz.

### ***References***

1 WHO handbook on indoor radon: a public health perspective [Electronic resource]: electronic textbook / Hajo Z., Ferid S.– Geneva: World Health Organization, 2009. – 94 p.

2 Guide to Radon // United States Environmental Protection Agency (EPA) Website [Electronic resource] <https://www.epa.gov/radon>

3 Melekhova O. P., Egorova E. I., et al. Biological Control of the Environment: Bioindication and Biotesting. Moscow: "Academy" Publishing Center, 2007.– 288 p.

## **EXPLORING FARMERS' PERSPECTIVES ON ENVIRONMENTAL RISK IN CRUDE OIL-IMPACTED AREAS OF NIGERIA**

*O. G. Opara*

*Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba, Moscow, Russia*

This study examines the consequences of crude oil pollution of farm products in Nigeria's Niger Delta, a region plagued by recurrent oil spills and gas flaring. This research utilized review of some literatures, qualitative research methods such as interviews and distribution of questionnaires. The relevance stems from the communities' reliance on subsistence farming and fishing, where oil pollution di-

rectly threatens food security, economy and health of the residents. The findings call for urgent environmental remediation and policy frameworks strategy in the Niger Delta.

The Niger Delta region of Nigeria is one of Africa's most important oil-producing zones, contributing significantly to the country's economy. However, this economic advantage comes with a significant environmental cost. Crude oil spill has arisen as a major issue harming agricultural output and farmers' livelihoods in the region. The region is home to a diverse range of ethnic groups and communities that rely significantly on agriculture for survival and economic activity of farmers [1]. The study [2] highlights that oil spillages have led to reduced agricultural outputs across various crops. Many Niger Delta inhabitants still rely heavily on agriculture for a living. Crude oil spillage has rendered many farmlands unusable for agriculture [3].

The economic consequences of lower agricultural output are significant. Many farmers have financial difficulties as a result of declining yields, which leads to food insecurity in their households. The socioeconomic impacts are profound with many farmers abandoning their farms due to persistent pollution [4].

This involves literatures from other researchers and qualitative research methods such as interviews and questionnaires distributed among some farmers in the Niger Delta, Nigeria.

Farmers have varying levels of awareness about the causes and consequences of crude oil spills, and some are frustrated with ineffective government response mechanisms. A common theme in farmer interviews is distrust towards multinational oil corporations that prioritise profit over environmental stewardship. Farmers displayed a lack of trust towards government interventions regarding oil spill management [5].

Crude oil spills pose considerable obstacles to agricultural output in Nigeria's Niger Delta region. Farmers' perspectives reflect deep-seated concerns about environmental degradation affecting their livelihoods, as well as broader socioeconomic repercussions linked directly to governance systems around resource management techniques in this critical sector of Nigeria's economy. Adaptation strate-

gies employed by farmers are often inadequate to mitigate the impacts caused by oil spills [6].

### ***References***

1 Ogbodo E., Okeke C. The socio-economic impacts of oil spillage on farming communities in the Niger Delta // *African Journal of Environmental Science and Technology*. – 2016.– V. 10. – No. 4. – P. 101-110.

2 Ogunbode S.O., Adeyemo A.J. Oil Spillages and their impact on agriculture: evidence from the Niger Delta region // *Journal of Environmental Studies*. – 2017.– V. 8. – No. 1-2. – P. 78-85.

3 Obioma I.N., Ezeani E.C. Effects of crude oil spillage on agricultural land use: a study from the Niger Delta // *International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology*. – 2017.– V. 5. – No.10.– P. 1234-1240.

4 Akanbi T.O., Adetunji M.A Socioeconomic impacts of crude oil pollution on farming activities: evidence from Niger Delta // *Journal of Environmental Protection*. – 2017.– V. 8 – No. 12.– P. 1450-1460.

5 Okoh R.O., Abam F.I. Perceptions and attitudes towards oil spill management among farmers in the Niger Delta region // *Environmental Monitoring and Assessment*. – 2018. – V. 190. – No .11. – P. 650-659.

6 Udoakah N.E., Udoakah P.E. Farmers' perception and adaptation strategies to oil spill impact on crop production in Akwa Ibom State // *Global Journal of Environmental Science and Management*. – 2017.– V .3. – No .1.– P. 23-30.

## $\alpha$ AND $\beta$ -DECAY OF $^{222}\text{Rn}$ DECAY SERIES RADIONUCLIDES: RECOIL ENERGY CONTRIBUTION

*R. K. Sadhukhan<sup>1</sup>, M. Jahangir Alam<sup>2</sup>, B.I. Synzynys<sup>3</sup>*

<sup>1</sup>– *Institute of Nuclear Power Engineering (INPE),  
Bangladesh University of Engineering and Technology (BUET),  
Dhaka, Bangladesh*

<sup>2</sup>– *Department of Electrical and Electronic Engineering (EEE),  
Bangladesh University of Engineering and Technology (BUET),  
Dhaka, Bangladesh*

<sup>3</sup>– *Obninsk Institute for Nuclear Power Engineering,  
Obninsk, Russia*

In brachytherapy treatments, radiation is delivered directly into tumors or cavities near the tumor using sealed radioactive sources. Recoil energy is not considered during energy calculation of an  $\alpha$  or  $\beta$ -particle emitted from a nucleus during nuclear medicine procedures (brachytherapy) or when doing repair work (industrial nuclear reactors) [1]. At high exposure rates, the recoil nucleus energy may pose a radiation risk. Radon ( $^{222}\text{Rn}$ ), a naturally occurring, non-reactive gas, is the leading cause of lung cancer in non-smokers and the second most prevalent cause in tobacco users.

**Purpose of Work** – Determine recoil energy contribution to total tissue dose from  $\alpha$  and  $\beta$ -decay of  $^{222}\text{Rn}$  decay series radionuclides.

**Materials and Methods** – Equations (1-2) determine the recoil nuclei energy for  $\alpha$  and  $\beta$ -decay, respectively. Equation (3) determines recoil nucleus's contribution to the total absorbed radiation dose.

$$E_{\alpha, \text{recoil}} = \frac{mE_{\alpha}}{M}, \quad (1)$$

$$E_{\beta, \text{recoil}} = \frac{E_{\beta}^2 + 2E_{\beta}m_0c^2 + E_{\nu}^2 + 2E_{\nu}\sqrt{E_{\beta}^2 + 2E_{\beta}m_0c^2} \cos \theta}{2Mc^2}, \quad (2)$$

$$\frac{D_{\text{recoil}}}{D_{\text{total}}} \times 100\% = \frac{E_{\text{recoil}}}{E_{\alpha/\beta, \text{max}} + E_{\text{recoil}}} \times 100, \quad (3)$$

where  $E_{\alpha, \text{recoil}}$  &  $E_{\alpha}$  are KE of recoil atom & emitted  $\alpha$ -particle, respectively,  $m$  &  $M$  – mass of radiated  $\alpha$ -particle & recoil atom,  $E_{\beta, \text{recoil}}$  &  $E_{\beta}$  – KE of recoil atom & emitted  $\beta$ -particle, respectively,  $c$

– speed of light,  $E_\nu$  – energy of neutrino,  $\theta$  – angle between emitted  $\beta$ -particle & neutrino,  $m_o$  – electron’s rest mass,  $D_{recoil}$  &  $D_{total}$  = dose absorbed by tissue from recoil energy & total tissue dose absorbed, respectively.

From (2), the highest energy of released electron,  $E_{\beta,max}$ , is used to calculate the maximum recoil nucleus energy,  $E_{\beta,recoil,max}$  from  $\beta$ -decay.

**Results and Conclusions** – Radiated  $\alpha$ -particles have ~55 times the recoil nuclei energy, while  $\beta$ -particles have a highest energy five orders of magnitude larger than recoil energy (Table 1, 2). Recoil energy contribution to total internal dose is ~2% ( $\alpha$ -decay) & ~10<sup>-4</sup>% ( $\beta$ -decay). Therefore, in  $\alpha$ -emitting radionuclides of <sup>222</sup>Rn decay series, recoil energy can be substantial at high exposure rates, although in  $\beta$ -decay, it is insignificant.

Table 1  
Recoil energy contribution to dose from  $\alpha$ -decay in <sup>222</sup>Rn decay series

| Parent Nucleus | $\alpha$ -Energy, $E_\alpha$ (MeV) | Recoil Nucleus | Recoil Energy, $E_{\alpha,recoil}$ (MeV) | $\frac{E_\alpha}{E_{\alpha,recoil}}$ | $\frac{D_{recoil}}{D_{total}}$ % |
|----------------|------------------------------------|----------------|--|--------------------------------------|----------------------------------|
| Ra-226         | 4.78                               | Rn-222         | 0.09                                     | 55.6                                 | 1.8                              |
|                | 4.60                               |                | 0.08                                     | 55.4                                 |                                  |
| Rn-222         | 5.49                               | Po-218         | 0.10                                     | 54.3                                 | 1.8                              |
| Po-218         | 6.00                               | Pb-214         | 0.11                                     | 53.6                                 | 1.8                              |
| Po-214         | 7.69                               | Pb-210         | 0.15                                     | 52.3                                 | 1.9                              |
| Po-210         | 5.30                               | Pb-206         | 0.10                                     | 51.5                                 | 1.9                              |

Table 2  
Recoil energy contribution to dose from  $\beta$ -decay in <sup>222</sup>Rn decay series

| Parent Nucleus | Max. $\beta$ -Energy, MeV $E_{\beta,max}$ | Recoil Nucleus | Max. Recoil Energy, eV $E_{\beta,recoil,max}$ | $\frac{E_{\beta,max}}{E_{\beta,recoil,max}} \times 10^5$ | $\frac{D_{recoil,max}}{D_{total}}$ (%) $\times 10^{-4}$ |
|----------------|---|----------------|---|--|---|
| Pb-214         | 1.03                                      | Bi-214         | 5.30  | 1.9  | 5.2   |
| Bi-214         | 3.28                                      | Po-214         | 3.53  | 9.3  | 1.1   |
| Pb-210         | 0.06                                      | Bi-210         | 0.18  | 3.6  | 2.8   |
| Bi-210         | 1.16                                      | Po-210         | 6.49  | 1.8  | 5.6   |

## References

1 Бекман И.Н. Радиохимия. Курс лекций. – Москва: Московский Государственный университет им. М.В. Ломаносова, Химический факультет, Кафедра радиохимии, 2006. – 568 с.

### ИЗМЕРЕНИЕ МАЛЫХ ДОЗ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ЗАГРЯЗНЕННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ

*Дм.М. Алексеев<sup>1,2</sup>, Т.Н. Лащеннова<sup>2,3</sup>, Дан.М. Алексеев<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup> – РХТУ им. Д.И. Менделеева, г. Москва, Россия*

*<sup>2</sup> – ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России,  
г. Москва, Россия*

*<sup>3</sup> – РУДН, г. Москва, Россия*

В соответствии с беспороговой моделью риска, принятой МКРЗ, необходимо проводить исследования, направленные на оценку биологического эффекта от воздействия «малых» доз ионизирующего излучения на биологические объекты. Эта оценка является важной и актуальной задачей на территориях с остаточным загрязнением техногенными радионуклидами. В рамках радиационного контроля и мониторинга территории основным показателем безопасности является средняя годовая эффективная доза ( $E$ ), формирующаяся природным (*nat*) и техногенным (*art*) излучением.  $E$  складывается из доз внешнего ( $E_{ext}$ ) и внутреннего облучения ( $E_{int}$ ). Как правило, суммарная доза внешнего облучения  $E_{ext}$  оценивается на основе данных по мощности амбиентного эквивалента дозы (МАЭД) фотонного излучения, измеряемую мгновенно-разовым методом. На загрязненных территориях возникают проблемы по выявлению вклада техногенной составляющей ( $E_{ext}^{art}$ ) в  $E_{ext}$  для критической группы населения, это особенно важно для диапазона «малых» доз.

Для решения этой задачи предложен интегральный метод термолюминесцентной (ТЛ) дозиметрии, адаптация которого на территориях с загрязненными почвами является целью данной работы. Авторами при организации измерений на территориях

предложена методология выделения и вклада оценки  $E_{ext}^{art}$  в  $E_{ext}$ , с учетом всех факторов воздействия по формуле [1]:

$$E_{ext}^{art} = (E_{ext} - E_{Back} - E_{Trans}) \times K_{Fad}, \text{ мЗв/год}$$

где  $E_{ext}$  – средняя годовая эффективная доза за счет внешнего облучения;  $E_{back}$  – доза на фоновом комплекте дозиметров, мЗв;  $E_{trans}$  – доза на транспортном комплекте дозиметров;  $K_{fad}$  – коэффициент фединга.

Эксперимент проводили с пробами почв, отобранными на территории радиационно опасного объекта. Выявили, что техногенное загрязнение обусловлено наличием  $^{137}\text{Cs}$ . Также отобрали пробы на фоновой территории, среднее содержание природного радионуклида  $^{40}\text{K}$  во всех пробах существенно не отличается. На расстоянии 10 см от каждой пробы почвы установили сборки ТЛ-дозиметров сроком на 1 год. Результаты измерений представлены в табл.1.

Таблица 1

Среднегодовая техногенная эффективная доза за счет внешнего облучения на территории, содержащей техногенные радионуклиды

| Радио-нуклид      | $A_{уд}$ , кБк/кг | n, изм | $E_{ext}$ , мЗв/год |     |            | $E_{ext}^{art}$ , мЗв/год |
|-------------------|-------------------|--------|---------------------|-----|------------|---------------------------|
|                   |                   |        | min                 | max | СА         |                           |
| $^{137}\text{Cs}$ | $10,82 \pm 2,34$  | 40     | 1,2                 | 2,1 | 1,7        | $0,5 \pm 0,2$             |
|                   | $5,31 \pm 1,83$   | 40     | 0,9                 | 1,5 | 1,4        | $0,3 \pm 0,2$             |
|                   | $0,52 \pm 0,31$   | 40     | 0,7                 | 1,3 | 0,9        | -                         |
| $^{40}\text{K}$   | $0,74^* \pm 0,32$ | 30     | 0,8                 | 1,2 | $1,0^{**}$ | -                         |

\* - для всех проб  $A_{уд}$   $^{40}\text{K}$  находится в доверительном интервале;  
 \*\* -  $E_{ext}$  на фоновой территории

Для почв с  $A_{уд}$   $^{137}\text{Cs}$  в почве ~10 кБк/кг значения  $E_{ext}$  составили 1,7 мЗв/год, из них  $E_{ext}^{art} = 0,5$  мЗв/год; при  $A_{уд}$   $^{137}\text{Cs}$  ~ 5,3 кБк/кг значения  $E_{ext}^{art}$  составили 0,3 мЗв/год при значительной неопределенности измерений; при  $A_{уд}$  ~0,5 кБк/кг выделить техногенную составляющую невозможно,  $E_{ext}$  соответствует показателям на фоновой территории.

В данном исследовании удалось статистически значимо выделить техногенную составляющую методом ТЛ-дозиметрии на

территориях, с содержанием в почве техногенного  $^{137}\text{Cs}$  на уровне от 0,5 ПЗУА.

### *Литература*

1 Алексеев Дм.М., Лашенова Т.Н., Алексеев Дан.М., Гимадова Т.И. Особенности оценки техногенных доз внешнего облучения / Сборник статей VII Научно-практической конференции Научный авангард и Межвузовской олимпиады ординаторов и аспирантов. – Москва, 2024. – С. 29-36.

## **ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ КОСТЮМА Эп-4(0) ВБЛИЗИ КОНТАКТНОЙ СЕТИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ**

*В.С. Баранов*

*Российский Университет Транспорта г. Москва, Россия*

Рабочие места электротехнического персонала, где могут отмечаться превышения уровней электрического поля промышленной частоты (ЭП ПЧ), находятся вблизи источника высокого напряжения, а именно, контактная сеть переменного напряжения, где работы, в том числе под напряжением, выполняются с изолирующих съёмных вышек, и рабочих площадок автотрис. Работник, находясь на вышке либо площадке, выполняет работу под рабочим напряжением контактной сети, т.е. работник, одетый с средствами индивидуальной защиты (СИЗ) от ЭП ПЧ имеет то же напряжения на костюме и площадке, что и на проводе. Комплект создает замкнутое экранированное пространство вокруг тела человека – индивидуальную «клетку Фарадея», практически исключая проникновение электрического поля внутрь.

В работе были смоделированы условия воздействия ЭП ПЧ на рабочем месте персонала линейной службы дистанции электроснабжения вблизи контактной сети с использованием СИЗ типа Эп-4(0) в комплектации комбинезон и куртка-брюки.

Таблица 1

## Результаты измерений напряженности ЭП ПЧ

| Комплектация СИЗ            | Коэффициент экранирования $K_E$ , дБ |                   |
|-----------------------------|--------------------------------------|-------------------|
|                             | однородное поле                      | неоднородное поле |
| комплектация «комбинезон»   |                                      |                   |
| полный комплект             | 82,16                                | 80,17             |
| без экрана                  | 63,01                                | 62,42             |
| без капюшона                | 55,25                                | 62,50             |
| комплектация «куртка-брюки» |                                      |                   |
| без капюшона                | 83,16                                | 81,32             |
| полный комплект             | 66,16                                | 60,92             |
| без экрана                  | 58,27                                | 60,14             |

Представленные в табл. 1 результаты измерений напряженности ЭП ПЧ показывают значительное увеличение уровня поля в области головы при использовании костюма без экрана, а затем и без капюшона. Такая тенденция отмечается как для условий однородного, так и неоднородного поля. Согласно полученным данным экранирующих характеристик наибольшей эффективностью обладают СИЗ от ЭП ПЧ в виде «комбинезон» и «куртка-брюки» при полной комплектации, надетом экране и капюшоне.

### АНАЛИЗ ЗАВИСИМОСТИ ДОЗА-ЭФФЕКТ ПРИ ХРОНИЧЕСКОМ РАДИАЦИОННОМ ПОРАЖЕНИИ ТРИТИЕМ

*Л.Г. Бондарева*  
*ФБУН "ФНЦГ им. Ф.Ф. Эрисмана" Роспотребнадзора,*  
*г. Мытищи, Россия*

Тритий (Т) является радиоактивным изотопом водорода (H) с массовым числом 3, ядро которого состоит из одного протона и двух нейтронов. Масса ядра трития (тритона) составляет 3,0168 массовых единиц. Средняя энергия связи частиц, образующих тритон, равна 2,71 МэВ. Радиоактивный распад трития сопровождается испусканием бета-частиц и превращением его в гелий

( $^3\text{He}$ ). Удельная радиоактивность трития составляет  $36 \cdot 10^{13}$  Бк/г. Вес 1 кюри трития (без стабильного изотопа) равняется  $1 \cdot 10^{-4}$  г. При нормальных условиях 1 мл чистого трития имеет активность  $9,5 \cdot 10^{10}$  Бк [1].

Цель работы – провести анализ потенциальной зависимости доза-эффект при хроническом радиационном поражении тритием, на примере лабораторных крыс.

Для экспериментов использовались лабораторные крысы линии Wistar. Средний вес каждого экземпляра варьировался в пределах 50-60 г. Количество самцов и самок было одинаковым – по 20 штук. Возраст 3 недели.

Анализ зависимости доза-эффект при хроническом радиационном поражении тритием представляет значительные трудности, так как отсутствуют общие подходы к такого рода анализу.

Считается, что скорость развития основных радиационных биологических эффектов (поражение и восстановление) зависит от радиационной дозы. В этом случае изучаемый на один и тот же срок при разных дозах показатель может быть следствием принципиально различных процессов.

Проведена попытка в оценке дозовой зависимости интегральных показателей, рассчитанных методом площадей за три периода исследования: первый месяц введения НТО (0-30 сут) – период развития радиационных изменений при больших дозах, весь период введения НТО (0-90 сут) и период после прекращения введения радионуклида (90-365 сут).

В некоторых случаях для получения дозовой зависимости использованы значения показателей, полученных в отдельные сроки исследования, например, для расчета зависимости от дозы максимального радиационного поражения. По этим значениям рассчитывали зависимость доза-эффект.

Анализ показал, что в течение первого месяца введения животным НТО в зависимости от поглощенной дозы снижались масса лимфоидных органов, содержание в них нуклиновых кислот и концентрации ДНК в костном мозге. Зависимость интегральных показателей от дозы хорошо описываются экспоненциальными (или линейными) уравнениями.

Скорость снижения интегральных показателей лимфоидной ткани с увеличением дозы была низкой. С такой же скоростью уменьшались масса лимфоидных органов и содержание в них нуклиновых кислот в течение всего времени введения НТО (90 сут).

### *Литература*

1 Бондарева Л.Г., Чеботина М.Я., Артамонова С.Ю., Тананавев И.Г. Тритий. Теория, практика, последствия. – Апатиты: ФГБУН ФИЦ "Кольский научный центр" РАН, 2024. – 359 с.

## **ОЦЕНКА ИНТЕГРАЛЬНОГО ПОКАЗАТЕЛЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА РАДИОНУКЛИДАМИ СЗЗ ФГУП «ГХК» В 2000-2024 ГГ.**

*А.А. Бурякова*

*ФГБУ «НПО «Тайфун», г. Обнинск, Россия*

В современной структуре Горно-химического комбината (ФГУП «ГХК», г. Железногорск) функционируют три подразделения, являющиеся предприятиями потенциальной радиационной опасности. Регулярный мониторинг радиоактивного загрязнения окружающей среды на территории 100-км зоны ГХК позволяет осуществлять непрерывный контроль параметров окружающей среды и проводить анализ многолетней динамики показателей.

В настоящей работе определены интегральные показатели загрязнения (ИПЗ) атмосферного воздуха в санитарно-защитной зоне (СЗЗ) ГХК в 2000-2024 гг. Интегральный показатель загрязнения атмосферы в зоне влияния ГХК определен по данным радиационного мониторинга [1] по природоохранному (экологическому) и радиационному критериям сохранения благоприятной окружающей среды в соответствии с Рекомендациями Росгидромета Р 52.18.913–2021 [2].

Распределение величины интегрального показателя загрязнения атмосферного воздуха в зоне влияния Горно-химического комбината показывает тенденцию роста в современный период

его деятельности (рис. 1). В период до 2016 г. показатель изменялся в пределах  $4 \cdot 10^{-5} - 1,9 \cdot 10^{-4}$ , а после 2016 г. увеличился до  $3,1 \cdot 10^{-4} - 5,5 \cdot 10^{-2}$ . Пиковое значение ИПЗ в многолетней динамике определено в 2023 г. и составило 0,05. Основной вклад в показатель загрязнения вносил  $^{239,240}\text{Pu}$  (35,3-93,6%), однако с 2016 г. кроме  $^{239,240}\text{Pu}$  присутствует весомый вклад  $^{241}\text{Am}$  (22,8-56,4%), а с 2021 г. –  $^{238}\text{Pu}$  (46,5-70,1%).

Согласно отчетам по экологической безопасности [3] рост выбросов изотопов плутония связан с выходом завода фабрикации топлива на проектную мощность производства тепловыделяющих сборок и увеличением выпуска тепловыделяющих элементов с МОКС-топливом, переработкой высокофонового диоксида плутония (в соответствии с производственной программой МОКС-топлива).

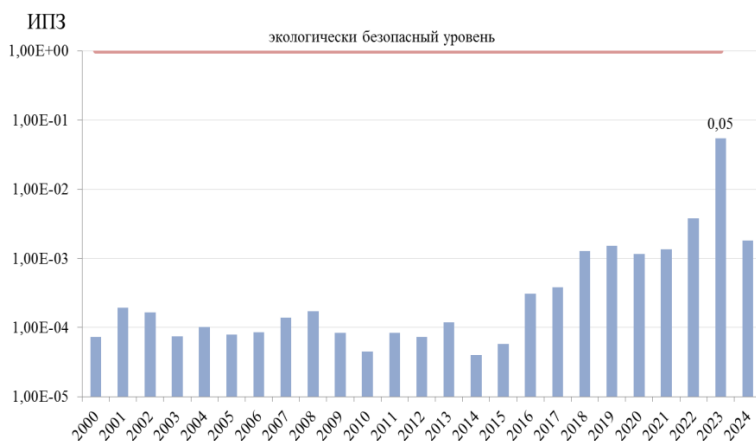


Рис. 1. Результаты определения ИПЗ атмосферы в СЗЗ ГХК.

В 2024 г. значение интегрального показателя загрязнения атмосферы снизилось на порядок величины, что вероятно обусловлено оптимизацией технологических процессов. Несмотря на стремительный среднегодовой рост, ИПЗ атмосферы в зоне влияния ГХК в рассматриваемый период был ниже экологически безопасного уровня.

## *Литература*

1 Радиационная обстановка на территории России и сопредельных государств в 2000-2024 гг. – Обнинск: ФГБУ «НПО «Гайфун», 2001-2024.

2 Рекомендации Росгидромета Р 52.18.913–2021. Порядок расчета контрольных уровней содержания радионуклидов в атмосферном воздухе. Утверждены приказом Росгидромета № 273 от 23.08.2021. – Обнинск, 2021. – 52 с.

3 Костюченко Н.Е., Коновалова Е.П., Громова Е.Г., и др. Отчет по экологической безопасности за 2023 год ФГУП «ГХК». – Железногорск: ФГУП «ГХК», 2024. – 44 с.

## **СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ УСТАНОВЛЕНИИ СВЯЗИ ЗАБОЛЕВАНИЯ С ВОЗДЕЙСТВИЕМ РАДИАЦИОННОГО ФАКТОРА В РЕЗУЛЬТАТЕ КАТАСТРОФЫ НА ЧАЭС**

*И.В. Веялкин, С.Н. Никонович*

*Государственное учреждение «Республиканский научно-практический центр радиационной медицины и экологии человека», г. Гомель, Республика Беларусь*

Связать стохастические заболевания с воздействием радиационного фактора достаточно сложно. Ионизирующее излучение не вызывает каких-то специфических повреждений генетического материала, по которым можно определить, что мутации и заболевание были вызваны воздействием именно радиационного фактора. В Республике Беларусь связь заболевания с катастрофой на ЧАЭС и другими радиационными авариями устанавливается согласно перечню заболеваний, которые могут быть связаны с воздействием радиационного фактора. Перечень заболеваний – это обобщенный документ, он не учитывает множество условий, которые могут влиять на радиационный риск, в различные временные периоды. Также перечень не учитывает многие редкие злокачественные новообразования. В настоящее время накоплен большой объем данных о рисках возникновения

злокачественных новообразований в различных группах пострадавшего населения в зависимости от воздействия различных факторов по отдельности или в комплексе. В связи с этим предлагается в ряде спорных случаях опираться на индивидуальный риск, а не на перечень.

ГУ «РНПЦ РМиЭЧ» в рамках выполнения НИР была разработана «Система поддержки принятия решений при определении связи заболевания, инвалидности или смерти с воздействием радиационного фактора в группах населения, пострадавшего в результате катастрофы на ЧАЭС» (далее Система), данный электронный ресурс содержит информацию о рисках развития онкологических заболеваний и смерти от них в группах населения, пострадавшего в результате катастрофы на ЧАЭС и предназначен для облегчения принятия решения при установлении связи заболевания или смерти.

Система является информационно-аналитическим комплексом, состоящим из базы данных с рассчитанными показателями относительного риска развития онкологических заболеваний или смерти от них в зависимости от комбинации различных факторов риска, с модулем расчета риска по заданному набору факторов. В системе содержится информация о показателях стандартизованного соотношения заболеваемости (SIR) и смертности (SMR), с возможностью проводить статистическую оценку показателя. Система представлена в виде файлов MS Excel и не требует установки дополнительного программного обеспечения. Система может быть использована как для решения научных (проведение научных исследований, построения графиков и сопоставления показателей) и управленческих (оценка риска в когортах населения, пострадавшего от катастрофы на ЧАЭС) задач (файл НАУКА.xlsx), так и для определения индивидуального риска развития онкологического заболевания в определенных период времени в зависимости от воздействия конкретного установленного набора факторов (возраст на момент аварии, пол, место проживания, время первого въезда на территорию радиоактивного загрязнения, продолжительность и место нахождения на территории радиоактивного загрязнения, индивидуализированная поглощенная доза на красный костный

мозг, индивидуализированная поглощенная доза в щитовидной железе) (файл РИСК.xlsx). Для решения более сложных задач был разработан макрос для определения индивидуального риска по комбинации из факторов в количестве до 11. Следует отметить, что увеличение количества факторов снижает точность оценки, но позволяет выявить уникальные комбинации из набора факторов (файл РАСЧЕТ.xlsm). В Системе собраны 694 477 возможных комбинаций факторов риска для 100 видов злокачественных новообразований.

Отдельным макросом прописана возможность дополнительно дорассчитывать риски и количество человеко-лет наблюдения для комбинации параметров, не включенных в систему.

## **ОЦЕНКА СТРЕССОВЫХ РЕАКЦИЙ РАСТЕНИЙ САЛАТА ПРИ КУЛЬТИВАЦИИ НА РАЗНЫХ СУБСТРАТАХ В ПРИСУТСТВИИ БИОДОСТУПНЫХ СОЕДИНЕНИЙ КАДМИЯ**

*М.М. Годяева<sup>1,2</sup>, Т.А. Парамонова<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> – *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова», г. Москва, Россия*

<sup>2</sup> – *Федеральное государственное бюджетное научное учреждение "Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ", г. Москва, Россия*

Салат посевной (*Lactuca sativa*) является одной из наиболее распространенных сельскохозяйственных культур для выращивания в системах закрытого грунта, таких как гидропонные и тепличные [1]. Несмотря на наличие систем очистки и фильтрации в таких системах зачастую накапливаются тяжелые металлы, поступающие в составе поливных вод и удобрений, способные негативно воздействовать на организм конечного потребителя, а также быть фитотоксичными для самих растений [2,3].

Объектом исследования являлся салат посевной сорта «Азарт». В эксперименте по оценке влияния стресс-факторов

культивация проводилась в течении 35 дней на 3 типах субстратов: стеклогрунте (d=1 мм), стекловате, торфе кислотом (pH), выявляющих разную доступность кадмия растениям. В качестве питания использовался раствор Хогланда (1/2). Растения были разделены на три группы по добавленной концентрации Cd (ацетата кадмия) – контрольная, 10 и 25 мг/л. Все эксперименты проводились в трехкратной повторности. Оценка фитотоксического воздействия производилась на основе определения активности каталазы, как одного из наиболее показательных критериев оценки стресса. Каталаза определялась по методу Эверса. Проведение измерений проводилось на тридцать пятый день культивации, дополнительному стрессу растения не подвергались. Исходя из полученных данных (рис.1), растения испытывают некоторый стресс при выращивании на стеклогрунте без внесения токсиканта. Это может быть связано с низкой влагоудерживающей способностью, а также выносом питательных веществ в нижние слои субстрата.

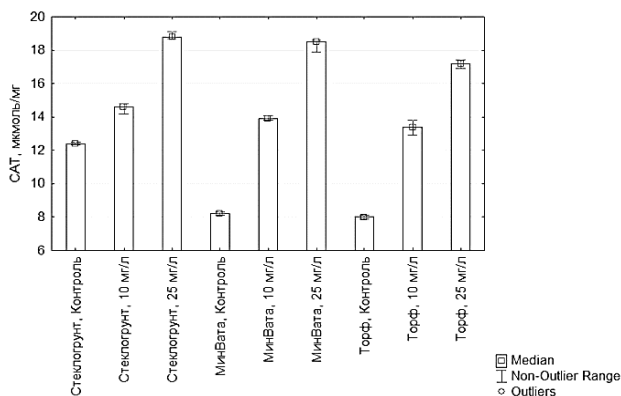


Рис.1. Активность каталазы в растениях салата, культивируемых на разных субстратах в присутствии Cd.

При внесении Cd в 10 и 25 мг дозах, отмечалось достоверное увеличение активности каталазы в растениях салата, что указывает на идентичный уровень стресса. Наименьший стресс растения испытывают при культивации на торфяных грунтах. Резюмируя вышенаписанное, при культивации на минеральных суб-

стратах за счет отсутствия фиксационных свойств, биодоступность Cd значительно выше чем при культивации на торфогрунте, обладающем поглощающими свойствами. Несмотря на разные условия культивирования, при наличии стресс-фактора в концентрациях, выявляющих значительный фитотоксический эффект, влияние грунтов нивелируется.

### *Литература*

1 Wang Y., Ma X., Shang W et al. Comparative transcriptome analysis reveals differential mechanisms of soft rot resistance in lettuce grown under white and blue light // Food Energy Secur. – 2025. – 14: e70038. <https://doi.org/10.1002/fes3.70038>.

2 Nunes E. A., Kiyota E., Andrade S. A. L. Cadmium accumulation in a tropicalized lettuce variety under overfertilization simulation // Clean - Soil, Air, Water. – 2022. – V. 50: 2100065.

3 Yazdi M., Kolahi M., Mohajel Kazemi E., Goldson Barnaby A. Study of the contamination rate and change in growth features of lettuce (*Lactuca sativa* Linn.) in response to cadmium and a survey of its phytochelatin synthase gene // Ecotoxicology and Environmental Safety. – 2019. – V. 180. – P. 295–308.

## **ЗАКОНОМЕРНОСТИ ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЯ РАДИОНУКЛИДОВ ( $^{137}\text{Cs}$ , $^{90}\text{Sr}$ ) В ПОЧВЕННОМ ПОКРОВЕ ВОСТОЧНО-УРАЛЬСКОГО ЗАПОВЕДНИКА**

*Д.И. Долгушин<sup>1</sup>, В.С. Баранчуков<sup>1</sup>, В.Ю. Березкин<sup>1</sup>,  
О.В. Тарасов<sup>2</sup>, С.Л. Романов<sup>3</sup>*

*<sup>1</sup> – ФГБУН Институт геохимии и аналитической химии  
им. В.И. Вернадского РАН, г. Москва, Россия*

*<sup>2</sup> – ФГУП «ПО «Маяк»», г. Озёрск, Россия*

*<sup>3</sup> – Белорусский государственный университет,  
г. Минск, Беларусь*

После аварии на ПО «Маяк» в 1957 г., радиоактивному загрязнению подверглась территория площадью около 20 тыс. км<sup>2</sup> – Восточно-Уральский радиоактивный след (ВУРС). Цель исследований – проверка гипотезы о наличии закономерной упо-

рядоченности пространственного распределения вещества в элементарных ландшафтно-геохимических системах (ЭЛГС) типа: вершина-склон-замыкающее понижение.

Исследования проведены летом 2021 г. в южной части ВУРС. На тестовой площадке (рис. 1)  $6 \times 16$  м проводились полевые измерения  $\gamma$ -активности (спектрометр Violinist-III [2]) и  $\beta$ -активности (спектрометр «Колибри» [3]) в почвенном покрове ЭЛГС по регулярной сети с шагом 1 м.

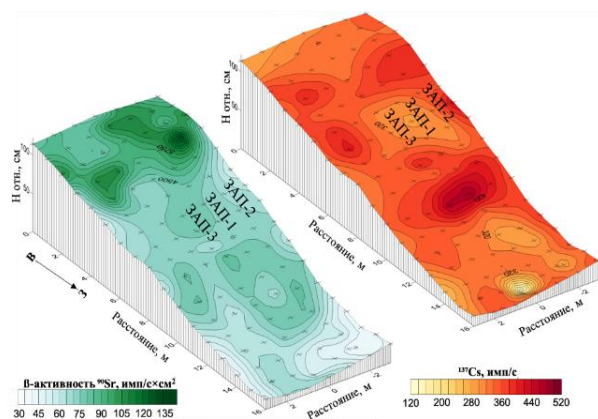


Рис. 1. Структура пространственного перераспределения  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в почвенном покрове ЭЛГС по данным полевой  $\gamma$ - и  $\beta$ -спектрометрии.

Статистическая обработка данных проводилась в RStudio 2024.09.0 (Posit Software), пространственный анализ – в Surfer 11.6.1159 (Golden Software).

Для верификации полевых измерений, по секущему профилю ЗАП-1 проводился отбор ненарушенных почвенных кернов до глубины 40 см. Полученные результаты показали высокую сходимость ( $r=0,974$ ,  $p < 0,001$ ,  $n=8$  для  $^{137}\text{Cs}$ ;  $r=0,913$ ,  $p=0,002$ ,  $n=8$  для  $^{90}\text{Sr}$ ) полевых и лабораторных измерений активности РН.

Подтверждена ранее выявленная [4] пространственная упорядоченность распределения  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$ , которая проявляется в циклической изменчивости содержания радионуклидов в направлении от вершин к понижениям при слабо выраженном латеральном переносе. При этом общая структура полей загряз-

нения  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в пределах исследуемого участка не идентична, что обусловлено разницей в их подвижности (рис. 1).

Полученные результаты демонстрируют возможность применения радиоактивных маркеров в исследованиях закономерностей перераспределения вещества в ландшафтно-геохимических системах на локальном уровне.

*Работа выполнена по теме госзадания ГЕОХИ РАН.*

### ***Литература***

1 Алексахин Р.М., Булдаков Л.А., Губанов В.А. и др. Крупные радиационные аварии: последствия и защитные меры / Под ред. Л.А. Ильина и В.А. Губанова. – М.: Изд. АТ, 2001. – 752 с.

2 Романов С.Л., Коробова Е.М., Самсонов В.Л. Опыт применения модернизированного прибора VIOLINIST-III в полевых радиоэкологических исследованиях. // Ядерные измерительно-информационные технологии. – 2011. – № 3 (39). – С. 56–61.

3 Потапов В.Н. Измерение активности радионуклидов Sr-90 радиометрическим способом с использованием сцинтилляционного детектора бета-излучения. Методика выполнения измерений. – Москва: НТК «Реабилитация» ФГУ РНЦ «Курчатовский институт», 2005. – 9 с.

4 Долгушин Д.И., Коробова Е.М. Особенности распределения  $^{137}\text{Cs}$  в почвенно-моховом покрове элементарных ландшафтно-геохимических систем // Геохимия. – 2022. – Т. 67. – №8. – С. 773-786.

## **ВЕРОЯТНОСТНЫЙ РИСК ДЛЯ РАБОТАЮЩИХ ПРИ СОВМЕСТНОМ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ПЕСТИЦИДОВ РАЗЛИЧНЫХ КЛАССОВ**

*Н.Г. Заволокина  
ФБУН "ФНЦГ им. Ф.Ф. Эрсмана" Роспотребнадзора,  
г. Мытищи, Россия*

Оценка риска воздействия пестицида на здоровье человека исторически сосредоточена на влиянии каждого активного вещества в отдельности. На практике в сельском хозяйстве меха-

низаторы в течение рабочего дня применяют средства защиты растений как от вредителей (инсектициды), так и от заболеваний (фунгициды).

В связи с отсутствием экспериментальных данных по оценке риска при одновременном или последовательном применении пестицидов различных классов, для прогнозирования неблагоприятных условий труда возможно использование расчетных методов. Предложена математическая модель вероятностной оценки риска, основанная на теории Марковских процессов, в которой за реальную вероятность принимается относительная частота осуществления некоторого события в многократно проведенных испытаниях [1].

Ранее на основании данных натурных исследований было установлено максимальное безопасное время работы с препаратами на основе имидаклоприда (инсектицид, класс неоникотиноиды) и манкоцеба (фунгицид, класс дитиокарбаматы) [2, 3].

Время, в течение которого вероятностный риск формирования высоких, вплоть до недопустимых, концентраций пестицида в воздухе рабочей зоны и на коже оператора не превышает вероятностей безопасных или малоопасных условий труда, для работы с препаратами на основе имидаклоприда составляет 6 час, с препаратами на основе манкоцеба – 5 час.

Для определения вероятностного риска для оператора при совместной обработке вышеуказанными пестицидами использован алгоритм расчетов для неоднородной цепи Маркова:

$$\{p_j(k)\} = \{p_j(0)\} P(1) P(2),$$

где  $p_j(0)$  – вектор начального распределения,  $P(1)$ ,  $P(2)$  – стохастические матрицы переходов, рассчитанные для имидаклоприда ( $P1$ ) и манкоцеба ( $P2$ ).

В результате расчетов получен вектор распределения вероятностей возможных состояний (безопасного, умеренно опасного, высоко опасного, недопустимого) для каждого часа опрыскивания. После первого часа работы вероятность безопасных условий труда для оператора составляет порядка 70%, а недопустимых – всего 10%.

Через три часа работы эти риски сопоставимы: 33% и 32%, соответственно. Вероятность недопустимого риска начинает

превышать другие после четырех часов опрыскивания: риск для оператора остаться в безопасном состоянии равен 23%, перейти в умеренно опасное – 10%, в высоко опасное – 23%, в недопустимое – 44%. С увеличением времени работы тенденция роста вероятности неблагоприятных условий труда сохраняется, и после шести часов работы их вероятность составляет 62%.

Проведенные численные исследования демонстрируют уменьшение максимального безопасного времени работы при совместном или последовательном использовании различных пестицидов для опрыскивания сельскохозяйственных культур, по сравнению с применением препаратов одного типа.

### *Литература*

1 Кирьянов Б.Ф., Токмачев М.С. Математические модели в здравоохранении: монография. – Великий Новгород: НовГУ им. Ярослава Мудрого, 2009. – 307 с.

2 Ракитский В.Н., Заволокина Н.Г., Березняк И.В. Вероятностная модель оценки и прогнозирования риска здоровью операторов при применении пестицидов в сельском хозяйстве // Гигиена и санитария. – 2021. – Т. 100. – № 9. – С. 969-974.

3 Ракитский В.Н., Заволокина Н.Г., Березняк И.В. Условия труда и риски для здоровья операторов при применении пестицидов на основе манкоцеба на высоких садовых культурах // Гигиена и санитария. – 2023. – Т. 102. – № 1. – С. 50-54.

## **МОНИТОРИНГ СОДЕРЖАНИЯ РАДИОУГЛЕРОДА В КОМПОНЕНТАХ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ В РАЙОНАХ РАЗМЕЩЕНИЯ СМОЛЕНСКОЙ И НОВОВОРОНЕЖСКОЙ АЭС**

*А.А. Зубачева, З.А. Баратова, А.О. Тарасенко, М.Н. Каткова  
ФГБУ «НПО «Тайфун», г. Обнинск, Россия*

Техногенный  $^{14}\text{C}$  характеризуется высокой подвижностью в окружающей среде, интенсивно распространяется в глобальном масштабе под воздействием атмосферных процессов [1]. Мониторинг содержания радиоуглерода в компонентах окружающей

среды вокруг АЭС является актуальной задачей на сегодняшний день.

В 2024 г. были проведены измерения проб, отобранных в районах размещения Смоленской и Нововоронежской АЭС. Подготовка проб осуществлялась с помощью системы Sample Oxidizer A307, в которой пробы сжигались в потоке кислорода. Измерение проб проводилось на жидкостинтиляционном спектрометре Quantulus-1220. Полученные данные представлены в табл. 1.

Таблица 1  
Содержание  $^{14}\text{C}$  в компонентах окружающей среды

| Компонент окружающей среды | Удельная активность, Бк/кг |                     |
|----------------------------|----------------------------|---------------------|
|                            | Смоленская АЭС             | Нововоронежская АЭС |
| Донные отложения           | 16,3                       | <11,0               |
| Трава                      | 69,0-113,4                 | 68,6-98,5           |
| Корнеплоды                 | 111,3                      | 121,0-124,0         |
| Зерно                      | -                          | 97,4                |

Удельная активность  $^{14}\text{C}$  в компонентах окружающей среды варьировала от <11,0 до 124,0 Бк/кг, полученные данные сопоставимы с аналогичными исследованиями вокруг других АЭС [2-4].

### *Литература*

1 Рублевский В.П., Яценко В.Н., Чанышев Е.Г. (Под ред. Кочеткова О.А.). Роль углерода-14 в техногенном облучении человека. – М., 2004. – 197 с.

2 Цыгвинцев П.Н., Нуштаева В.Э. и др. Радиоэкологический мониторинг в районе размещения Ленинградской АЭС // Мониторинг природных и аграрных экосистем в районах расположения атомных электростанций: Труды ФГБНУ ВНИИРАЭ. Выпуск 3 / Под ред. проф. С.В. Фесенко. Обнинск: ФГБНУ ВНИИРАЭ, 2020. – С.107-133.

3 Панов А.В., Трапезников А.В. и др. Радиационно-экологический мониторинг агроэкосистем в районе Белоярской АЭС // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2021. – Т.332. – №3. – С. 146-157.

4 Барчуков В.Г., Кочетков О.А. и др. Распространение углерода-14 в окружающей среде при нормальных условиях эксплуатации Курской АЭС // Медицинская радиология и радиационная безопасность. – 2023. – Т.68. – №1. – С.25-33.

**ОРГАНИЗАЦИЯ ЛАНДШАФТНО-  
РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ГИС  
ДЛЯ МОНИТОРИНГА ЦЕЗИЯ-137  
В ПОЧЕПСКОМ РАЙОНЕ БРЯНСКОЙ ОБЛАСТИ**

*О.М. Иваницкий, В.Г. Линник*

*Институт геохимии и аналитической химии  
им. В.И. Вернадского (ГЕОХИ РАН), г. Москва, Россия*

Для анализа ландшафтных закономерностей распределения  $^{137}\text{Cs}$  организована радиоэкологическая геоинформационная система [1], в которой используется цифровая модель рельефа (ЦМР), созданная по данным SRTM с разрешением около 60x90 м. Данные по загрязнению  $^{137}\text{Cs}$  (рис.1) получены в результате обработки аэрогаммасъемки (АГ) в масштабе 1:25000 (размер пиксела 100x100м).

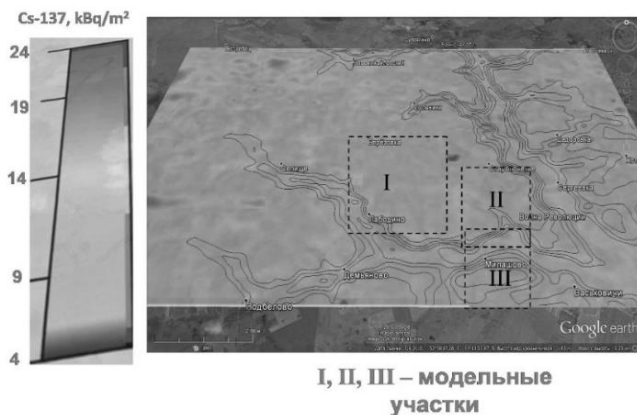


Рис.1. Фрагмент загрязнения  $^{137}\text{Cs}$  модельного участка долины р.Коста и р.Костицы (Почепский р-н Брянской области).

Анализ данных АГ выявил «пятнистый» характер загрязнения  $^{137}\text{Cs}$  [2], связанный как с первичной неоднородностью радиоактивного загрязнения, так и с результатом склоновых процессов миграции  $^{137}\text{Cs}$  под воздействием гравитационного поля.

В долине р.Костица (рис.1) были заложены три модельных участка, на которых проводились исследования вторичного перераспределения  $^{137}\text{Cs}$  по различным склоновым сопряжениям. Была установлена нелинейная зависимость концентрации  $^{137}\text{Cs}$  от различных параметров ЦМР [3].

Анализировался мезорельеф, который относится к комплексному биогеохимическому фактору, регулирующему поверхностный сток (включая эрозию), в результате проявления которых происходит перераспределение  $^{137}\text{Cs}$  в ландшафте. Склоновые сопряжения представляют естественные природные системы, формирующие геометрию геохимических потоков радиоактивных элементов в ландшафте.

### *Литература*

1 Linnik V.G., Ivanitsky O.M., Sokolov A.V. GIS in Radioecology: History and Prospects of Data Processing. In: Advances in Geochemistry, Analytical Chemistry and Planetary Sciences, Springer, (1st ed. 2023) 75th Anniversary of the Vernadsky Institute of the

Russian Academy of Sciences. Edited by Natalia S. Bezaeva, Vladimir P. Kolotov, 2023. pp. 613-638.

2 Линник В.Г., Иваницкий О.М., Соколов А.В. Радиоэкологический мониторинг и геоинформационное моделирование распределения Cs-137 на ландшафтном уровне в Брянской области // Метеорология и гидрология. – 2023. №5. – С. 20-31.

3 Линник В.Г., Соколов А.В., Иваницкий О.М., Воропаев С.А. К проблеме моделирования биогеохимического латерального и вертикального переноса радионуклидов и тяжелых металлов / Проблемы загрязнения объектов окружающей среды тяжелыми металлами: Труды междунар. конф. (28–30 сентября 2022 г., Тула) [Электронный ресурс]. – Тула: Тул. гос. пед. ун-т им. Л. Н. Толстого, 2022. – С. 141-144.

## **ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ СЕЛИТЕЛЬНЫХ ТЕРРИТОРИЙ ВБЛИЗИ ОБЪЕКТОВ ПРОШЛОЙ ДОБЫЧИ УРАНОВЫХ РУД**

*Л.Э. Карл<sup>1,2</sup>, Т.Н. Лащенова<sup>2,3</sup>, С.В. Новиков<sup>1</sup>*

*<sup>1</sup> – ФГУП НТЦ РХБГ ФМБА России, г. Москва, Россия*

*<sup>2</sup> – ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России,  
г. Москва, Россия*

*<sup>3</sup> – РУДН, г. Москва, Россия*

В Российской Федерации и странах СНГ имеются территории прошлой деятельности уранодобывающих и перерабатывающих предприятий – объекты уранового наследия, имеющие остаточное содержание естественных радионуклидов (ЕРН), которые могут формировать дозовую нагрузку на население. Оценка состояния территории с точки зрения соблюдения требований радиационной безопасности для населения путем проведения комплексного радиоэкологического мониторинга является актуальной и важной задачей, которая решается в данном исследовании.

Поэтому **целью работы** является разработка системы оценки потенциальной опасности территории для проживания населения, в районе расположения объектов уранового наследия.

Исследования проводили на территории проживания населения вблизи предприятия по добыче и переработке урана ЛПО «Алмаз» (город Лермонтов, Ставропольский край).

**Материалы и методы.** Удельную активность ЕРН в горных породах измеряли на гамма-спектрометрическом комплексе «РАДЭК».  $OA_{Rn}$  измеряли интегральным методом с комплектом аппаратуры «ТРЕК-РЭИ-1М». В качестве критерия оценки использовали значение эквивалентной равновесной объемной активности радона ( $ЭРОA_{Rn}$ ), значение которой нормируется п. 5.3.3. НРБ-99/2009. Расчет СГЭД $_{Rn}$  проводили по МУ 2.6.1.2397-08. Индивидуальный пожизненный риск (ИПР) рассчитывали по МР 2.6.1.0145 – 19.

**Результаты.** Провели радиоэкологический мониторинг территории жилой зоны г. Лермонтов. Получили, что основные превышения  $ЭРОA_{Rn}$  сосредоточены на 1-ых этажах зданий старого года постройки, без организованных подвалов, с нарушенными перекрытиями, которые позволяют радону поступать из грунта в здания. Выявили, что содержание  $^{226}Ra$  в горных породах и отложениях менялось от 30 до 156 Бк/кг. Провели сортировку данных, которые разделились на 3 группы, получили медианное значение в каждой группе по  $ЭРОA_{Rn}$  и соответствующее им содержание  $^{226}Ra$ . Рассчитали СГЭД $_{Rn}$  в помещениях для каждой группы и оценили потенциальную опасность для здоровья населения по показателю ИПР. Каждой группе придали статус тип территории от 1 до 3 по степени потенциальной опасности (табл.1).

Таблица 1  
Типирование территории по степени потенциальной опасности в зависимости от содержания  $^{226}Ra$  в грунтах

| Тип                | Медиана $ЭРОA_{Rn}$ , Бк/м <sup>3</sup> | $A_{уд}^{226}Ra$ , Бк/кг | СГЭД $_{Rn}$ , мЗв/год | ИПР                  | Степень опасности* |
|--------------------|---|--------------------------|------------------------|----------------------|--------------------|
| 1                  | 222 (183-261)                           | 102(87-156)              | 14,2                   | $2,5 \times 10^{-3}$ | Высокая            |
| 2                  | 115 (90-140)                            | 67 (44-77)               | 7,4                    | $1,3 \times 10^{-3}$ | Повышенная         |
| 3                  | 68 (43 – 93)                            | 30(19-41)                | 4,4                    | $7,8 \times 10^{-4}$ | Допустимая         |
| *По ОСПОРБ-99/2010 |   |                          |                        |                      |                    |

Анализ таблицы показал, что при содержании  $^{226}\text{Ra}$  в почве от 44-77 Бк/кг СГЭД<sub>Rn</sub> уже более 5 мЗв/год, и степень потенциальной опасности территории повышенная, а при  $A_{\text{уд}}$   $^{226}\text{Ra}$  выше 87 Бк/кг СГЭД<sub>Rn</sub> высокая. Комплексный радиоэкологический мониторинг на таких территориях требует значительных финансовых и временных затрат. Это позволяет выделить территории, которые потенциально опасны, и на них провести более детальное обследование.

**Выводы.** Предложенная система оценки потенциальной опасности территории в зависимости от содержания  $^{226}\text{Ra}$  в грунтах позволит создать условия для оптимизации объёма мониторинга территорий объектов уранового наследия и принятия управленческих решений для администрации регионов.

## РАДИОАКТИВНОСТЬ МИКОФЛОРЫ РЕСПУБЛИКИ АДЫГЕЯ

*Д.А. Качусов, К.А. Кузнецова, Е.А. Буряева*  
*Южный федеральный университет, г. Ростов-на-Дону, Россия*

Грибы являются неотъемлемой частью жизни человечества, поскольку обладают большим количеством полезных веществ. Грибы используют как в традиционной кухне, так и в создании лекарств. Грибы являются хорошим биоиндикатором радиоактивной загрязненности территорий [1]. По различным оценкам, разные виды грибов по-разному накапливают радионуклиды, это может обуславливаться географическим положением, распределением и концентрацией радионуклидов в почве и климатическими условиями [2]. Употребление грибов, подвергшихся радиоактивному загрязнению, может повысить дозовую нагрузку на население от источников ионизирующих излучений естественного и искусственного происхождения, что негативно скажется на здоровье людей [3]. Поэтому целью работы является изучение удельной активности естественных радионуклидов ( $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$ ) и искусственного радионуклида  $^{137}\text{Cs}$  в грибах и почвах на различных элементах рельефа в горных районах Республики Адыгея.

Удельная активность радионуклидов исследована в съедобных и условно съедобных грибах: Белый гриб (*Boletus edulis*), Валуи (*Russula foetens*), Груздь перечный (*Lactarius turpis*), Лисичка (*Cantharëllus cibãrius*), Подберезовик (*Leccinum scabrum*), Подосиновик (*Lëccinum aurantiãcum*), Сыроежка красная (*Russula alutacea*) и др. Удельная активность данных поллютантов в грибах и почвах измерена на гамма-спектрометре «Прогресс-гамма».

Показано, что естественные радионуклиды в почвах распределены равномерно, аномалий не обнаружено. Средние удельные активности  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$  составляют 25,0, 30,3 и 425,1 Бк/кг соответственно. Радиоцезий в почвах распределен неравномерно, средняя удельная активность составляет 28,0 Бк/кг. Неравномерное распределение  $^{137}\text{Cs}$  связано с особенностями его выпадения после аварии на Чернобыльской АЭС.

Радионуклиды в грибах, отобранных в различных почвенно-ландшафтных условиях, распределены неравномерно – средние геометрические удельные активности  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$  составляют 0,5, 1,9, 1,0 и 100,0 Бк/кг соответственно и сопоставимы с данными о радионуклидном составе плодовых тел грибов в различных регионах Российской Федерации и не превышают нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009) [4].

В заключение стоит отметить, что в отдельных образцах грибов удельная активность анализируемых радионуклидов превышает средние удельные активности  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$  в почвах в два и более раза. Подобные результаты могут быть обусловлены как возрастом отобранных грибов, хорошей поглощающей способностью отдельных видов грибов, так и, возможно, механическим загрязнением грибов частицами почвы и горных пород.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ (Государственное задание в сфере научной деятельности 2023 г.). Проект № FENW-2023-0010/(ГЗ0110/23-11-ИФ).*

## *Литература*

1 Густова М.В., Каплина С.П., Каманина И.З. и др. Определение микроэлементов и радионуклидов в грибах из разных регионов России // Проблемы региональной экологии. – 2021. – №4. – С. 5-10.

2 Бекман И.Н. Радиоэкология и экологическая радиохимия. – М.: Юрайт, 2025. – 497 с.

3 Дементьев Д.В., Болсуновский А.Я. Содержание техногенных радионуклидов в кустарниковых растениях и грибах в зоне влияния Горно-химического комбината (Красноярский край) // Journal of Siberian Federal University. Biology. – 2009. – Т. 2. – № 2. – С.172–181.

4 СанПин 2.6.1.2523-09. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009). Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009. – 100 с.

## **ЭКОЛОГО-ГИГИЕНИЧЕСКАЯ ОБСТАНОВКА НА ТЕРРИТОРИИ МАЛЫХ ГОРОДОВ СЕВМОРПУТИ**

*С.М. Киселёв, В.В. Шлыгин, Ю.Н. Зозуль, Т.И. Гимадова  
ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России,  
г. Москва, Россия*

ЗАТО г. Островной с населением 1331 человек располагается на побережье Баренцева моря вблизи Йоканьгских островов и полуострова Святой Нос, имея уникальное стратегическое положение [1]. В послевоенные годы здесь развивалась военноморская база, в задачи которой входило обеспечение атомных подводных лодок, плавремзавода, включая эксплуатацию и перезарядку ядерных. К концу 90-х инфраструктура базы оказалась разрушена и не соответствовала современным требованиям безопасности. Сегодня на территории бывшей береговой технической базы остается пункт хранения радиоактивных отходов, обработавшее ядерное топливо вывезено в декабре 2024 г. [2].

Обследование включало районы проживания населения ЗАТО (мкр. Гремиха, мкр. Островной, окрестности), между которыми расположен радиационно-опасный объект.

Годовая доза внешнего облучения в зоне проживания населения составила 0,89 мЗв, изменяясь от 0,75 до 1,0 мЗв, что соответствует значению, полученному на открытой местности в фоновом районе (оз. Змей). Дозы внешнего облучения на открытой местности и в помещениях ЗАТО по данным годовых экспозиций, статистически не различаются.

Среднегодовые уровни ЭРОА<sub>Rn</sub> в эксплуатируемых помещениях характеризуются низкими значениям - от 1 до 12 Бк/м<sup>3</sup> (медианное значение – 3 Бк/м<sup>3</sup>). Вода поверхностного источника водоснабжения по содержанию техногенных радионуклидов соответствует требованиям качества питьевой воды - удельная активность <sup>137</sup>Cs и <sup>90</sup>Sr на 3 порядка ниже уровня вмешательства, регламентированного НРБ-99/2009. Удельная активность техногенных радионуклидов <sup>137</sup>Cs и <sup>90</sup>Sr в почве и дикорастущих продуктах (ягоды и грибы) на селитебной и прилегающих территориях находится на уровне регионального фона (табл.1).

Таблица 1

техногенных радионуклидов

| Вид пробы | Удельная активность, Бк/кг |                  |
|-----------|----------------------------|------------------|
|           | <sup>137</sup> Cs          | <sup>90</sup> Sr |
| Почва     | 10±3                       | <1               |
| Грибы     | 80±24                      | 7±3              |
| Ягоды     | 1,8±0,7                    | 0,3±0,1          |

Почвы большей части территории ЗАТО по значению суммарного показателя химического загрязнения относятся к категории «допустимая» (Zc <16). Содержание металлов 1 (Pb, As, Cd, Zn) и 2 (Ni, Cu, Cr) классов опасности не превышает ПДК, но выше региональных фоновых значений [3].

Сравнительная оценка канцерогенного риска для здоровья населения от воздействия радиационного фактора и химического загрязнения окружающей среды показала сопоставимые резуль-

таты, ориентировочный уровень риска не превышает  $10^{-6}$  и является пренебрежимо малым.

Результаты проведенных исследований позволяют заключить, что производственная деятельность, осуществляемая на радиационно-опасном объекте, не формирует значимого риска воздействия радиационного фактора для окружающей среды и населения, проживающего в районе его расположения.

### *Литература*

1 Сайт «Городской округ ЗАТО г. Островной» [Электронный ресурс] Режим доступа: [http://zato-ostrov.ru/index/gorod\\_ostrovnoj/0-2](http://zato-ostrov.ru/index/gorod_ostrovnoj/0-2) (дата посещения 10.03.2025).

2 Сайт «Медиацентр атомной промышленности» [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://atommedia.online/2024/12/02/zavershen-vyvoz-otrabotavshego-yaderno/> (дата посещения 10.03.2025).

3 Киселёв С.М., Шандала Н.К., Лашенова Т.Н. и др. Анализ риска для здоровья населения при воздействии радиационных и химических факторов в районе расположения объекта ядерного наследия // Анализ риска здоровью. – 2021. – № 1. – С. 38–47.

## **ДОЗЫ ОБЛУЧЕНИЯ В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ В 2022 ГОДУ**

*В.В. Костерев<sup>1</sup>, А.Г. Цовьянов<sup>2</sup>, А.Г. Сивенков<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> – *Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Москва, Россия*

<sup>2</sup> – *ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России, г. Москва, Россия*

Приведена информация о профессиональном облучении, содержании радионуклидов в воздухе и воде открытых водоемов санитарно-защитных зон и зон наблюдения атомных объектов, включая АЭС, а также в продуктах питания местного производства, природном фоне, радиационном облучении населения и облучении пациентов во время радиологических обследований в 2022 году на территориях, обслуживаемых Федеральным меди-

ко-биологическим агентством России (ФМБА). Анализируется количество лиц, подлежащих индивидуальному дозиметрическому контролю, с учетом диапазона доз облучения. В табл. 1 приведено распределение персонала групп А и Б по диапазонам индивидуальных годовых эффективных доз производственного облучения в 2022 году.

Таблица 1  
Численность и процент персонала в диапазоне доз облучения, мЗв

| Персонал, получивший дозу в заданном диапазоне, мЗв |       |      |        |         |       |     |
|---|-------|------|--------|---------|-------|-----|
| 0-1   | 1-2   | 2-5  | 5-12.5 | 12.5-20 | 20-50 | >50 |
| 58965   | 16897 | 9065 | 3351   | 589     | 2     | 1   |
| 67.5  | 17.6  | 10.4 | 3.8    | 0.7     | 0.0   | 0.0 |

Видно, что 58965 человек, или 67.5% от всех контролируемых лиц, получили дозы в диапазоне 0-1 мЗв, 16897 человек (17.6%) – в диапазоне 1-2 мЗв и 9065 (10.4%) – в диапазоне 2-5 мЗв.

В табл. 2 в качестве примера представлена структура средней индивидуальной дозы облучения населения от природных источников в 2022 году в Московской области.

Таблица 2  
Структура средней индивидуальной дозы облучения

| Тип излучения         | К-40 | Кос-мика | Внешнее | Радон | Пища | Вода | Сумма |
|-----------------------|------|----------|---------|-------|------|------|-------|
| Эффективная доза, мЗв | 0.17 | 0.40     | 0.77    | 0.85  | 0.12 | 0.01 | 2.32  |
| Вклад, %              | 7    | 17       | 33      | 37    | 5    | 1    | 100   |

Анализ табл. 2 показывает, что при средней дозе облучения от природных источников в Московской области в 2.32 мЗв в 2022 году наибольший вклад приходится на радон (37%), внешнее облучение от терригенных источников (33%) и космических лучей (17%), на долю других источников приходится 13%.

В табл. 3 приведены данные о медицинском облучении пациентов в 2022 году.

Таблица 3

Виды процедур, коллективные и средние дозы

| Процедура                  | ФГ      | РГ      | РС    | КТ     | П    | Итог    |
|----------------------------|---------|---------|-------|--------|------|---------|
| Число процедур             | 1647268 | 3575209 | 34384 | 351262 | 9747 | 5617870 |
| Коллективная доза, чел.-Зв | 76.3    | 284.9   | 96.5  | 1663.0 | 96.6 | 2217.3  |
| Средняя доза, мЗв          | 0.05    | 0.08    | 2.81  | 4.73   | 9.90 | 3.51    |

ФГ – флюорография, РГ – рентгенография, РС – рентгеноскопия, КТ – компьютерная томография, П – прочие.

Анализ показывает, что наибольший вклад в коллективную дозу вносят: компьютерная томография – 1663.0 чел.-Зв и рентгенография – 284.9 чел.-Зв. Рентгенография (3575209 процедур), флюорография (1647268 процедур) и компьютерная томография (351262 процедур) преобладают по числу процедур. Самая низкая средняя доза облучения достигается при проведении флюорографии (0.05 мЗв), а самая высокая – при проведении прочих обследований (9.9 мЗв).

## **ИССЛЕДОВАНИЕ СЛИЗНЕЙ КАК РЕФЕРЕНТНЫХ ОРГАНИЗМОВ В ЗАГРЯЗНЕННЫХ ЦЕЗИЕМ-137 УРБОЭКОСИСТЕМАХ ГОРОДА ЭЛЕКТРОСТАЛЬ**

*Д.Н. Липатов, А.Е. Белов*

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова», г. Москва, Россия*

Оценка экологических рисков на радиоактивно загрязненных территориях включает анализ доз облучения референтных видов флоры и фауны [1, 2]. Беспозвоночные могут выбираться в качестве референтных организмов благодаря их высокой численности, чувствительности к техногенным воздействиям, способно-

сти концентрировать загрязняющие вещества, многообразие экологических связей, видовому разнообразию.

Определение удельной активности цезия-137 в почвах и биоценозах проводилось на локальном участке города Электросталь (Московская область), загрязненном вследствие радиационного инцидента в 2013 г. [3]. Для сбора животных применены методы почвенных ловушек и почвенных раскопок в квадратах 15 x 15 см. Удельная активность Cs-137 в пробах измерялась с помощью сцинтилляционного гамма-спектрометра «Мультирад».

На контрольных площадках в составе почвенной мезофауны были распространены слизни, относящиеся к типу Mollusca, классу Gastropoda, отряду Stylommatophora. По количеству экземпляров на отдельных площадках преобладали, дождевые черви, муравьи, мокрицы, жесткокрылые, однако наибольший вклад в биомассу зооценозов вносили именно слизни.

Измеренные значения удельной активности Cs-137 в почвах и компонентах биоты существенно варьировали (табл. 1). Уровни удельной активности Cs-137 в пробах слизней, включавших 10–30 особей, были гораздо ниже, чем для почвы. Это обусловлено тем, что слизни – фитофаги, питающиеся органами растений. В листьях доминирующей растительности удельная активность Cs-137 близка к уровням, зафиксированным в слизнях.

В расчете дозовых нагрузок использованы факторы дозовой конверсии Cs-137 для наземных брюхоногих в слое почвы 0–10 см [4]. Внешнее облучение от загрязненной Cs-137 почвы превалировало (табл. 1). Оцененные суммарные суточные дозы облучения слизней в загрязненных урбозкосистемах в 64–215 раз ниже контрольного уровня, составляющего 1 мЗв/сутки.

Таблица 1  
Удельная активность Cs-137 в почвах и биоте, оценки доз облучения слизней на контрольных площадках

| Контрольная площадка                                   | №2   | №3   | №4   |
|--|------|------|------|
| Удельная активность Cs-137 в слое 0–10 см почвы, Бк/кг | 3130 | 5407 | 1452 |
| Удельная активность Cs-137 в листьях растений, Бк/кг   | 142  | 92   | 124  |

|   |      |      |      |
|---|------|------|------|
| Удельная активность Cs-137 в слизнях,<br>Бк/кг      | 177  | 57   | 143  |
| Мощность дозы внешнего облучения слизней, мкЗв/ч    | 0,38 | 0,65 | 0,17 |
| Мощность дозы внутреннего облучения слизней, мкЗв/ч | 0,02 | 0,01 | 0,02 |
| Суммарная суточная доза облучения слизней, мкЗв/сут | 9,6  | 15,8 | 4,7  |

### *Литература*

1 Публикация 91 МКРЗ. Основные принципы оценки воздействия ионизирующих излучений на живые организмы, за исключением человека. – М.: Комтехпринт, 2004. – 76 с.

2 Лаврентьева Г.В., Мирзеабасов О.А., Сынзыныс Б.И., Гешель И.В. Радиационный экологический риск для наземной экосистемы в зоне влияния хранилища радиоактивных отходов // Радиация и риск. – 2018. – Т.27. – №4. – С. 65-75.

3 Липатов Д.Н., Вараченков В.А., Манахов Д.В. и др. Загрязнение <sup>137</sup>Cs в почвах и растениях городских экосистем вблизи Электростальского завода тяжелого машиностроения // Радиационная биология. Радиоэкология. – 2023. – Т.63. – №2. – С. 186-198.

4 Р 52.18.820-2015. Оценка радиационно-экологического воздействия на объекты природной среды по данным мониторинга радиационной обстановки. Утв. Росгидрометом Минприроды России 17.04.2015 г. – Обнинск, 2015. – 60 с.

## **ВОПРОСЫ УПРАВЛЕНИЯ РИСКОМ ЗДОРОВЬЯ ТРУДОСПОСОБНОГО НАСЕЛЕНИЯ МОНОГОРОДА С КАНЦЕРОГЕНООПАСНЫМ ПРЕДПРИЯТИЕМ**

*М.С. Любимова*

*Федеральное государственное бюджетное научное учреждение  
«Научно-исследовательский институт медицины труда имени  
академика Н.Ф. Измерова», г. Москва, Россия*

В г. Норильске регистрируется крайне высокий уровень антропогенного загрязнения, связанный с производственной деятельностью предприятия «Норильский никель», относящегося к канцерогеноопасным. Ежегодно в атмосферный воздух попадает 1,7-1,8 млн т загрязняющих веществ, что составляет 65-80% всех выбросов Красноярского края. Зафиксировано превышение среднегодовых концентраций взвешенных веществ, диоксида серы (до 2,5 ПДКсс), диоксида и оксида азота (до 2,7 ПДКсс), фенола (до 1,3 ПДКсс). Концентрации канцерогенных веществ превышали среднегодовые значения по бенз(а)пирену до 3,4 раз, по никелю до 7,5 раз.

Были проанализированы стандартизованные по возрасту показатели заболеваемости и смертности мужского населения трудоспособного возраста (15-59 лет) г. Норильска в среднем за 2015-2020 гг. Результаты сопоставлены с данными по России.

Стандартизованный по возрасту коэффициент заболеваемости в г.Норильске от класса ЗН в целом был на четверть выше по сравнению с Россией (178,9 и 143,2 на 100 тыс. мужчин в возрасте 15-59 лет соответственно). Данное превышение формировалось преимущественно за счет двух подклассов, специфичных при воздействии никеля: ЗН органов пищеварения (52,2 и 37,8 на 100 тыс. в Норильске и России соответственно) и ЗН губы полости рта, глотки (13,4 и 10,3 на 100 тыс. соответственно). Заболеваемость ЗН органов дыхания была примерно одинакова (27,5 на 100 тыс. в Норильске и 28,3 на 100 тыс. в России).

Стандартизованные показатели смертности в г. Норильске среди мужского населения трудоспособного возраста, напротив, были ниже среднероссийских. Показатели смертности от ЗН органов пищеварения 31,1 и 33,4 на 100 тыс. мужчин в Норильске и России соответственно, от ЗН губы, рта глотки – 6,5 и 7,5 на 100 тыс., от ЗН органов дыхания 25,7 и 30,9 на 100 тыс. соответственно [1].

Необходимо отметить роль качества и доступности медицинской помощи в г. Норильске, т.к. вопросы частоты заболеваний связаны с их выявляемостью. В Норильске внедрены программы онкологического скрининга с особым вниманием к органам-мишеням при воздействии никеля:

- рак пищевода, желудка и двенадцатиперстной кишки – с 45 лет (эзофагогастроуденоскопия);
- рак кожи и видимых слизистых – с 18 лет (осмотр кожных покровов, слизистых губ и ротовой полости);
- колоректальный рак – с 40 лет (анализ кала на скрытую кровь).

Помимо профилактических скрининговых программ, непосредственно в городе, на базе Норильской больницы для населения доступен полноценный комплекс по лечению злокачественных заболеваний на современном технологическом уровне, в том числе с применением высокотехнологичной медицинской помощи при лечении ЗН органов пищеварения.

Таким образом в Норильске при высоком уровне канцерогенного риска были установлены более высокие по сравнению с Россией уровни заболеваемости ЗН на фоне более низких уровней смертности, в особенности от форм ЗН, специфичных при воздействии никеля. Указанное свидетельствует, что наряду с гигиеническими мероприятиями по снижению воздействия вредных производственных факторов, профессиональные и экологические риски могут быть снижены путем внедрения медико-социальных и корпоративных программ, направленных на раннее выявление новообразований и сохранение здоровья работников и населения.

## *Литература*

1 Тихонова Г.И., Брылева М.С. К анализу факторов риска смертности от злокачественных новообразований мужского населения промышленных моногородов // Анализ риска здоровью. – 2021. – № 3. – С. 67-77.

## **РЕАЛИЗАЦИЯ ЭКВИДОЗИМЕТРИЧЕСКОГО ПОДХОДА ПРИ ОЦЕНКЕ ПОСЛЕДСТВИЙ КОМБИНИРОВАННОГО РАДИОАКТИВНОГО И ХИМИЧЕСКОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВЫ И БИОТЫ**

*С.В. Мамихин, Цю Ванцяо*

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова», г. Москва, Россия*

В настоящее время биосфера подвергается все более массивному комбинированному воздействию разнообразных химических и физических антропогенных факторов. Это выдвигает особые требования к исследованиям в области факториальной экологии, связанным с изучением последствий техногенного загрязнения окружающей среды. Используемые подходы к оценке комбинированного воздействия техногенных загрязнений на биоту определяются в том числе наличием необходимой количественной информации и в первую очередь уравнений, описывающих зависимость характеристик объекта от факторов влияния. Для экосистем эти характеристики – их экологическое состояние, для живых организмов - индивидуальные или коллективные жизненные показатели, например биомасса отдельной особи или численность популяции. Оценить воздействие разных факторов можно, используя эквидозиметрический подход, который в последнее время используется не только в радиобиологии, но и в экологии. Использование эквидозиметрического подхода позволяет сопоставлять степень воздействия факторов на биоту, выделять наиболее значимые из них в каждой

конкретной ситуации и на этой основе проводить оценку последствий воздействия.

Такая методика оценки предполагает наличие информационно-прогностических систем, включающих в себя базы данных формализованных зависимостей характеристик биоты от факторов. Нами разработана информационная система «ФАКТОРИАЛЬНАЯ ЭКОЛОГИЯ», и идет процесс заполнения ее соответствующей информацией. Попытки создать нечто похожее уже предпринимались в нашей стране, в частности в свое время была разработана база данных АРДЭКС, предназначенная для работы с информацией по вопросам миграции радионуклидов и тяжелых металлов и по действию ионизирующих излучений на растения, животных и микробоценозы [1]. К сожалению эта работа не получила должного развития, внимания и популяризации. Мы надеемся, что наши усилия в этой области будут более востребованными.

В настоящее время система «ФАКТОРИАЛЬНАЯ ЭКОЛОГИЯ» содержит 3 базы данных: Одиночное воздействие; Комбинированное воздействие; Математические модели комбинированного воздействия. Для реализации эквидозиметрического подхода используется первая база данных, которая наиболее активно пополняется в настоящее время. Она включает в себя следующие поля: Объект воздействия; Среда обитания; Фактор влияния; Характеристика (параметр) объекта по которой идет оценка воздействия фактора; Количественная оценка воздействия: Показатель или уравнение зависимости типа «доза – эффект»; Комментарий; Источник информации. Предполагается реализация системы также на английском и китайском языках. Информация для заполнения берется из открытых литературных источников, при необходимости для получения уравнений проводятся дополнительные расчеты.

*Исследование проводилось в рамках НИОКТР № АААА-А21-121012290189-8, выполняемой по государственному заданию, при поддержке Междисциплинарной научно-образовательной школы Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова «Будущее планеты и глобальные изменения окружающей среды».*

## *Литература*

1 Государственная регистрация базы данных № 2018621801 Российская Федерация. Систематизация результатов исследований по воздействию ионизирующих излучений, миграции и действию радионуклидов и тяжелых металлов на компоненты агроэкосистем: № 2018621142: заявл. 2018.08.13: опубл. 2018.11.16 / Володин В.В., Епимахов В.Г., Мироненко Р.И.; заявитель Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии» (ФГБНУ ВНИИРАЭ ФАНО). Режим доступа: [https://www1.fips.ru/registers-doc-view/fips\\_servlet?DB=DB&DocNumber=2018621801&TypeFile=html](https://www1.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet?DB=DB&DocNumber=2018621801&TypeFile=html).

### **ИЗМЕНЕНИЕ ЛЕГКОДОСТУПНЫХ ФОРМ НАХОЖДЕНИЯ УРАНА И ТОРИЯ В ПОЧВЕ ВО ВРЕМЯ ВЫРАЩИВАНИЯ ГОРОХА**

*М.В. Маркова<sup>1</sup>, К.Е. Шаврина<sup>1</sup>, М.А. Эдомская<sup>1</sup>, А.А. Шурик<sup>1</sup>  
С.А. Дорохов<sup>2</sup>,*

*<sup>1</sup> – НИЦ «Курчатовский институт» – ВНИИРАЭ,  
г. Обнинск, Россия*

*<sup>2</sup> – ФГБОУ ВО РГАУ – МСХА имени К. А. Тимирязева,  
г. Москва, Россия*

Поступление урана и тория в растение и их миграция по пищевой цепочке зависит от их форм нахождения в почве. Определение концентраций легкодоступных форм нахождения урана и тория (водорастворимой и обменной легкодоступной) позволяет определить динамику поступления этих элементов в растения.

Вегетационный опыт по выращиванию гороха сорта Немчиновский-50 проводили на серой лесной почве с поддержанием разной влажности почвы от 20% до 45%. Анализ форм нахождения урана и тория в почве делали без выращивания растений («черный пар») и после завершения вегетационного периода.

Выделение форм проводили с использованием методики Павлоцкой [1].

На рис. 1 и 2 показаны диаграммы содержания легкодоступных форм содержания урана и тория в серой лесной почве при разных влажностях после завершения эксперимента.

Для водорастворимой формы для урана и тория наблюдается схожая динамика уменьшения по экспоненте при увеличении влажности почвы, причем для урана значения максимума и минимума отличаются на два порядка, а для тория на один.

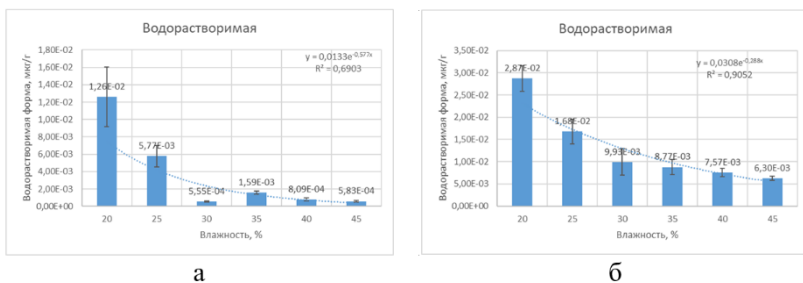


Рис. 1. Содержание водорастворимой формы нахождения урана (а) и тория (б) в почве с разной влажностью.

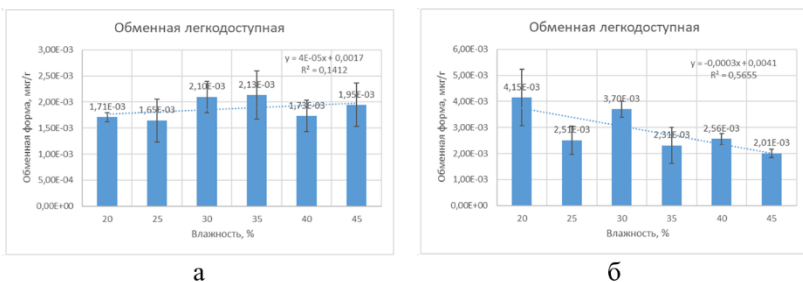


Рис. 2. Содержание обменной легкодоступной формы нахождения урана (а) и тория (б) в почве с разной влажностью.

Для обменной легкодоступной формы нахождения для обоих радионуклидов однозначной зависимости концентрации от влажности почвы не наблюдается. Для урана содержание обменной легкодоступной формы при разных влажностях почвы

не отличается, тогда как для тория есть достоверное отличие для влажностей 20% и 45%.

### *Литература*

1 Павлоцкая Ф.И. Миграция радиоактивных продуктов глобальных выпадений в почвах. – М.: Атом-издат, 1974. – 215 с.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ РАДОНООПАСНОСТИ СЕЛИТЕЛЬНЫХ ТЕРРИТОРИЙ В РАЙОНЕ ДАЛМАТОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ АО «ДАЛУР» КУРГАНСКОЙ ОБЛАСТИ**

*П.С. Микляев<sup>1</sup>, Т.Б. Петрова<sup>2</sup>, С.М. Киселев<sup>3</sup>, В.В. Шлыгин<sup>3</sup>,  
Ю.К. Губанова<sup>4</sup>, Л.Э. Карл<sup>4</sup> Е.И. Кайгородов<sup>1,4</sup>*

*<sup>1</sup> – Федеральное государственное бюджетное учреждение  
науки «Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева» Российской  
академии наук, г. Москва, Россия*

*<sup>2</sup> – Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования «Московский государственный  
университет имени М.В.Ломоносова», г.Москва, Россия*

*<sup>3</sup> – ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России,  
г. Москва, Россия*

*<sup>4</sup> – ФГУП НТЦ РХБГ ФМБА России, г. Москва, Россия*

Природные источники облучения доминируют в структуре облучения населения. Радиационная обстановка на территориях расположения урандобывающих предприятий традиционно является предметом беспокойства населения. Вместе с тем, как правило, такие территории характеризуются повышенным содержанием природных радионуклидов уранового ряда в геологической среде. Это, например, характерно для территорий Забайкальского и Ставропольского края. Предметом настоящих исследований являлась оценка радоноопасности территорий проживания населения в районе Далматовского месторождения урана, разрабатываемого предприятием АО «Далур», где уран добывают с больших глубин методом подземного выщелачивания.

Определено, что средние по территории населенных пунктов значения плотности потока радона (ППР) составляют: в с. Уксянском – 195 мБк/(м<sup>2</sup>·с), в с. Новопетропавловское – 92 мБк/(м<sup>2</sup>·с), в с. Песчано-Коледино – 55 мБк/(м<sup>2</sup>·с). Возможной причиной наблюдаемых повышенных значений ППР в с. Уксянское является выделение радона из приповерхностного слоя высокопористых лёссовых грунтов, покрывающих поверхности водоразделов на исследуемой территории. При этом в Песчано-Коледино преобладают песчаные отложения, которые сменяются лессовидными суглинками только в восточной части села. Определение удельной активности радия-226 в разных типах почв, встречающихся на исследуемой территории, подтверждают это предположение. Среднее содержание радия-226 в лёссах (с. Уксянское) составляет 30 Бк/кг, тогда как в суглинистых почвах – 18 Бк/кг, песчаных (Песчано-Коледино) – 10 Бк/кг. Наибольшие значения ЭРОА радона в жилых помещениях также зарегистрированы в с. Уксянское (табл. 1). Повышенные значения ЭРОА радона как в с. Уксянском, так и в с. Песчано-Коледино, наблюдаются на территориях, сложенных лессовидными суглинками. Отмечается превышение нормативных показателей в некоторых помещениях непостоянного пребывания людей (подвалы, бани), что в целом характеризует радоновый потенциал территории, но не является опасным для населения, учитывая низкое время экспозиции.

Таблица 1  
Среднегодовые уровни ЭРОА радона в эксплуатируемых помещениях населенных пунктов Курганской области

| Населённый пункт    | Среднегодовая ЭРОА радона, Бк/м <sup>3</sup> |     |              |
|---------------------|--|-----|--------------|
|                     | Min  | Max | Med          |
| с. Песчано-Коледино | 22   | 225 | 61 (32-140)  |
| с. Уксянское        | 42   | 522 | 107 (53-330) |

Совокупность представленных данных позволяет охарактеризовать исследуемые районы как территории с повышенным уровнем радоноопасности, что определяет целесообразность

совершенствования надзора и практики радонозащитных мероприятий при выборе площадок под строительство и вводе в эксплуатацию жилых и общественных зданий. Вместе с тем, радоноопасность территории никак не связана с наличием урановых месторождений в глубоких горизонтах геологического разреза и их разработкой.

## **РАСПРЕДЕЛЕНИЕ УРАНА В ВОДНОЙ СРЕДЕ В РАЙОНЕ УРАНОДОБЫВАЮЩЕГО ПРЕДПРИЯТИЯ АО «ДАЛУР»**

*П.С. Микляев<sup>1</sup>, Т.Б. Петрова<sup>2</sup>, С.М. Киселев<sup>3</sup>, В.В. Шлыгин<sup>3</sup>,  
Ю.К. Губанова<sup>4</sup>, Л.Э. Карл<sup>3,4</sup>, Е.И. Кайгородов<sup>4</sup>*

*<sup>1</sup> – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева» Российской академии наук, г. Москва, Россия*

*<sup>2</sup> – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова», г.Москва, Россия*

*<sup>3</sup> – ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России, г. Москва, Россия*

*<sup>4</sup> – ФГУП НТЦ РХБГ ФМБА России, г. Москва, Россия*

В настоящей работе представлены результаты распределения урана в водных объектах экосистемы в районе АО «Далур», осуществляющего добычу урана на Далматовском месторождении методом подземного выщелачивания. Уран – основной потенциальный загрязнитель, способный при определенных окислительно-восстановительных условиях природной среды мигрировать за территорию промплощадки в результате аварийных проливов или сбросов. На примере разработанной нами концептуальной модели территории рассмотрены пути миграции урана и представлены результаты содержания урана в водной среде. Основной сток загрязненных вод с территории месторождения осуществляется с поверхностными водами в ручьях и речках, дренирующих промплощадку. Проникновение загрязнения в грунтовые воды, залегающие под слоем лессовидных суглинков возможно только в долинах рек, где лессовидные суглинки от-

сутствуют и имеет место гидравлическая связь поверхностных и подземных вод.

Таблица 1

Содержание урана в природной водной среде

| Объекты отбора проб воды                          | Количество проб |         |         |              | Кратность ПДК              |          |
|---|-----------------|---------|---------|--------------|----------------------------|----------|
|   | Общее кол-во    | 1-3 ПДК | 3-5 ПДК | $\geq 5$ ПДК | Медиана                    | Максимум |
| Вода поверхностных водоёмов (рек)                 | 3               | 0 (0%)  | 0 (0%)  | 0 (0%)       | 0,19<br>(0,15 – 0,21)      | 0,21     |
| Грунтовые воды ( колодцы, глубина 5-8 м)          | 12              | 2 (20%) | 0 (0%)  | 2 (20%)      | 0,23<br>(0,019 – 1,9)      | 6,3      |
| Подземные воды (вода из скважин, глубины 20-50 м) | 13              | 0 (0%)  | 0 (0%)  | 0 (0%)       | 0,0049<br>(7,9E-4 – 0,061) | 0,13     |
| Вода из водопровода                               | 8               | 0 (0%)  | 0 (0%)  | 0 (0%)       | 0,0027<br>(3,3E-4 – 0,016) | 0,73     |

В колодцах, используемых для полива огорода, обнаружено содержание урана, превышающее ПДК (табл. 1). Грунтовый горизонт отделен от более глубоких водоносных горизонтов (источники питьевого водоснабжения) мощным слоем водоупорных глин, в связи с чем проникновение загрязнения в более глубокие горизонты исключено, что подтверждается результатами измерений концентрации урана в артезианских водах (табл. 1).

В результате проведенных исследований охарактеризовано состояние водной среды на территории проживания населения в районе предприятия по добыче урана. Показано, что источники питьевого водоснабжения характеризуются фоновыми содержаниями урана. При этом обнаруженные локальные превышения урана в грунтовых водах требует дальнейшего наблюдения в

плане в плане контроля возможного потенциального распространения урана с территории предприятия.

## **СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ САНИТАРНО-ГИГИЕНИЧЕСКИХ НОРМАТИВОВ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ И ЕВРОПЕЙСКОГО СОЮЗА ПО СОДЕРЖАНИЮ СВИНЦА В ПИТЬЕВОЙ ВОДЕ И ПРОДУКЦИИ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА**

*Э.Б. Мирзоев*

*НИЦ «Курчатовский институт» – ВНИИРАЭ,  
г. Обнинск, Россия г. Обнинск, Россия*

В Российской Федерации (РФ) и странах Европейского союза (ЕС) безопасность питьевой воды и продукции сельского хозяйства регламентируется санитарно-гигиеническими требованиями. Принципы нормирования свинца в продуктах питания базируются на пороговой концепции, которую определяют на основе оценки риска для здоровья населения. В РФ допустимые уровни поступления свинца в организм человека не установлены. Следует отметить, что Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) в 2011 г. отменила нормативы свинца в дозе 3.6 мкг/кг массы тела/сут, так как они не обеспечивали безопасность здоровья детского и взрослого населения [1]. В пользу этого свидетельствуют данные, что при хроническом поступлении свинца в дозах 1.9, 2.3 и 3.9 мкг/кг массы тела/сут накопление металла в почках наблюдали при максимальной дозе воздействия [2].

Цель исследования – провести анализ санитарно-гигиенических нормативов РФ и ЕС по содержанию свинца в питьевой воде и продукции сельского хозяйства.

Сравнительный анализ санитарно-гигиенических нормативов РФ (0,1 мг/л) и ЕС (0,01 мг/л) в питьевой воде обнаружил существенные различия [3-5]. Необходимо подчеркнуть, что в ЕС до 2036 г. планируют снижение предельно допустимой концентрации (ПДК) свинца в питьевой воде до 5 мкг/л. В продукции сельского хозяйства растительного происхождения нормативы РФ превышают стандарты ЕС от 2 до 5 раз. Аналогичные различия выявлены в продукции животного происхождения: молоко и

мясо РФ (0,1 и 0,5 мг/кг), а ЕС (0,02 и 0,1 мг/кг), соответственно. Следует отметить, что нормативы РФ в субпродуктах одинаковы для всех видов животных и составляют 0,6 мг/кг, а в почках – 1 мг/кг [3]. В то же время стандарты ЕС в субпродуктах дифференцированы по видам животных: крупный и мелкий рогатый скот не превышают 0,2 мг/кг, свиней – 0,15 мг/кг, птиц – 0,1 мг/кг [4].

Оценка суточного поступления свинца на основе санитарно-гигиенических нормативов РФ и ЕС и рациональных норм потребления продуктов питания обнаружила существенные различия. Низкий уровень суточного поступления свинца в странах ЕС обусловлен более жесткими ПДК.

Для гармонизации и усовершенствования санитарно-гигиенических требований РФ следует определить безопасный уровень суточного поступления свинца и пересмотреть нормативы в питьевой воде и продукции сельского хозяйства.

### *Литература*

1 Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives. Evaluation of certain food additives and contaminants. Seventy-third report of the joint FAO/WHO expert committee on food additives. WHO Technical Report Series. – 2011. – No 960.

2 Мирзоев Э.Б., Кобялко В.О., Губина О.А. и др. Содержание свинца в органах крыс-самцов при хроническом поступлении с рационом в малых дозах // Российский журнал “Проблемы ветеринарной санитарии, гигиены и экологии”. – 2018. – №4 (28). – С. 78-84.

3 Технический регламент Таможенного союза “О безопасности пищевой продукции” (ТР ТС 021/2011).

4 European Commission. Commission Regulation (EU) 2023/915 of 25 April 2023 on maximum levels for certain contaminants in food and repealing Regulation (EC) No 1881/2006 // Official Journal of the European Union. – 2023. – V. 119. – P. 103–157.

5 European Commission. Commission Regulation (EU) 2020/2184 of 16 December 2020 on the quality of water intended for human consumption (recast) // Official Journal of the European Union. – 2020. – V.435. – P 1-62.

## РЕЦИКЛИРОВАНИЕ МАГНИТНЫХ СПЛАВОВ СИСТЕМЫ $R_2Fe_{14}B$ : ОСНОВНЫЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ, ЦЕЛИ И МЕТОДЫ

*Р.Ю. Михалев, И.К. Кикенина, Е.К. Грачев*  
*Северский технологический институт – филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Северск, Россия*

Дефицит редкоземельных металлов и необходимость снижения воздействия на окружающую среду требуют разработки экологически безопасных технологий переработки магнитов. Современные методы рециклинга, включая пирохимические, экстракционные и порошковые процессы, обладают разной степенью экологичности. Однако большинство традиционных методов сопровождаются значительным потреблением энергии, образованием токсичных отходов. Добыча и переработка редкоземельных металлов сопровождаются высокими затратами энергии и приводят к экологическим проблемам, таким как загрязнение воды, почвы и выбросам парниковых газов. Это вызывает необходимость поиска более чистых и эффективных методов.

Современные методы рециклирования магнитных сплавов включают экстракционные, пирохимическое и порошковое извлечение материалов. Экстракционный метод, основан на использовании органических растворителей для отделения редкоземельных металлов, является относительно эффективным и избирательным, но требует большого количества стадий и использования токсичных растворителей. Пирохимические методы позволяют перерабатывать крупные объемы материалов и обладают высокой степенью извлечения редкоземельных металлов, однако они требуют большого количества энергии и образуют множество вредных газов и токсичных отходов. Метод «магнит-к-магниту», основанный на технологии «порошковой металлургии» является одним из самых перспективных, позволяя восстанавливать магнитные свойства отработавших магнитов.

Считается, что основной проблемой современных методов переработки является их высокая стоимость и сложность, что ограничивает их широкое применение. Для повышения эффективности переработки следует развивать более энергоэффективные и экологичные технологии, такие как методы, использующие возобновляемые источники энергии или менее токсичные химические вещества. Кроме того, важно улучшить инфраструктуру для рециклирования магнитов, чтобы повысить доступность и масштабируемость этих технологий [1].

По предлагаемой в Северском технологическом институте НИЯУ МИФИ комплексной технологии методом «магнит к магниту» совместно процессами дробной кристаллизации и электрохимического восстановления суммы редкоземельных металлов, предложено растворять порошки гидридов, полученных методом «магнит к магниту» в серной кислоте, с получением суммы кристаллов сульфатов РЗМ и кристаллов сульфатов железа, с последующей прокалкой до оксидов и электрохимическим восстановлением до металлов в расплавах жидких солей.

В докладе будет представлено сравнение основных методов рециклирования.

### *Литература*

1 Muammer K. An overview of NdFeB magnets recycling technologies // Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry. – 2024. – V. 46:100884. <https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2024.100884>.

## **ОЦЕНКА РИСКА ДЛЯ ЗДОРОВЬЯ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ ПЕСТИЦИДОВ НА ОСНОВЕ МЕТРИБУЗИНА В ЛИЧНЫХ ПОДСОБНЫХ ХОЗЯЙСТВАХ**

*Е.Н. Михеева*

*ФБУН "ФНЦГ им. Ф.Ф. Эрисмана" Роспотребнадзора,  
г. Мытищи, Россия*

Метрибузин – селективный гербицид триазина, который можно использовать как в довсходовый, так и в послевсходовый

период, для борьбы с однолетними злаковыми и двудольными сорняками в посадках розы эфиромасличной, картофеля, томатов, люцерны. Механизм действия метрибузина заключается в ингибировании процесса фотосинтеза в растениях. Пестициды на основе метрибузина широко используются на овощных и полевых культурах в личных подсобных хозяйствах, для защиты картофеля почва опрыскивается до всходов, томатов в фазе 2-4 листьев.

Для оценки риска здоровью пользователей в личных подсобных хозяйствах при ручном ранцевом опрыскивании полевых и овощных культур пестицидами на основе метрибузина, с максимальной норма расхода препарата 17 мл/5л воды в натуральных условиях проводили отбор проб воздуха рабочей зоны, воздуха в пределах санитарного разрыва и сносов, а также смывов с кожных покровов пользователя.

Для определения экспозиционных уровней метрибузина в воздушной среде и на кожных покровах пользователя были использованы методы измерения концентраций метрибузина в воздухе рабочей зоны, смывах с кожных покровов пользователя и атмосферном воздухе населенных мест (МУК 4.1.2207-07; МУ № 4992-85).

В ходе проведенных аналитических исследований установлено, что при приготовлении рабочего раствора, заправке бака опрыскивателя и опрыскивании в воздухе рабочей зоны пользователя действующее вещество метрибузин обнаружено в 3-х пробах из 10-ти в количестве 0.0005-0.006 мг/м<sup>3</sup> (нижний предел количественного определения д.в. - 0.0005 мг/м<sup>3</sup>).

В смывах с кожных покровов пользователя после опрыскивания действующее вещество метрибузин обнаружено на лице, шее, кистях, предплечьях, груди и голенях в количестве 0.02-0.1 мкг/смыв (нижний предел количественного определения д.в. - 0.02 мкг/смыв).

В воздухе в пределах ЛПХ на расстоянии 15 м от участка обработки д.в. метрибузин обнаружено в 2-х пробах в количестве 0.0003 мг/м<sup>3</sup>, что ниже ПДК м.р. метрибузина в атмосферном воздухе – 0.02 мг/м<sup>3</sup> [1].

В воздушных сносах на расстоянии 15 м от участка обработки метрибузин обнаружен в трех пробах на уровне 0.0026-0.003 мг/ м<sup>2</sup>, что составляет 0.0052-0.006 % от нормы расхода д.в., попавшего на землю в зоне обработки.

Риск комплексного ингаляционного и дермального воздействия пестицидов на основе метрибузина для пользователя в личном подсобном хозяйстве был допустимым: величина суммарного коэффициента безопасности КБсумм по экспозиции при работе с пестицидами была меньше 1, и составляла 0.0026, также как и величина коэффициента безопасности по поглощенной дозе КБп, которая составляла 0.0223 [2].

Установленный допустимый риск для здоровья пользователя при применении пестицидов на основе метрибузина позволил рекомендовать их для применения в личных подсобных хозяйствах.

### *Литература*

1 СанПиН 1.2.3685-21 Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания. – М.: Центрмг, 2021. – 736 с.

2 МУ 1.2.3017-12. Оценка риска воздействия пестицидов на работающих. Методические указания. – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2012.

## **СУММАРНАЯ ОБЪЕМНАЯ АЛЬФА- И БЕТА-РАДИОАКТИВНОСТЬ ВОДЫ Г.ОБНИНСКА: СЕЗОННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОЙ ДОЗЫ И РИСКИ ДЛЯ ЗДОРОВЬЯ**

*М. Наликена, И.Н. Гончарова, Б.И. Сынзыныс  
Обнинский институт атомной энергетики – филиал  
Национального исследовательского ядерного университета  
«МИФИ», г. Обнинск, Россия*

Обводнение (питание водозаборов) родников и скважин в последние два года сильно различалось. Из-за обильных снегопадов зимой 2023-2024 гг., которые просачивались под землю, по-

полняя водоносные горизонты вместо того, чтобы вызывать наводнения, основным источником загрязнения стал поверхностный сток и разбавление природных радионуклидов в подземных водах. Это привело к снижению концентрации природных радионуклидов в родниковой и водопродной воде в течение последующего лета и, как следствие, к снижению индивидуальных эффективных доз альфа- и бета-радиоактивности. Целью данного исследования являлась оценка опасности для здоровья при употреблении родниковой и водопродной воды на основании данных по суммарной альфа- и бета-радиоактивности с помощью вычисления риска для здоровья.

Была определена индивидуальная эффективная доза за год и оценён пожизненный радиационный риск при употреблении родниковой и водопродной воды. Эффективную индивидуальную дозу внутреннего облучения определяли по формуле:  $E = A * M * CF$ , где  $A$  - удельная активность (Бк/л);  $M$  - индивидуальное годовое потребление воды (730 л/год), а  $CF$  - коэффициент преобразования дозы ( $3,4 \times 10^{-4}$  мЗв/Бк для альфа-,  $4,6 \times 10^{-4}$  мЗв/Бк для бета-излучения).

Пожизненный риск развития рака рассчитывали с использованием формулы  $\text{Риск} = E * r_E$ , где  $r_E$  равно  $5,5 \times 10^{-2} \text{ Зв}^{-1}$ ;  $E$  - годовая доза внутреннего облучения (Зв) [1].

Зимой 2024 г. в воде из родника «Труд» суммарная объемная альфа-активность составила  $0,11 \pm 0,09$  Бк/л, а суммарная объемная бета-активность равнялась  $0,70 \pm 0,12$  Бк/л. Общая эффективная доза составила  $0,26 \pm 0,05$  мЗв, а общий риск –  $(1,44 \pm 0,25) * 10^{-5}$ .

В воде общежития “Лесное” зимой 2024 г. суммарная объемная альфа-активность составила  $0,05 \pm 0,01$  Бк/л, а суммарная объемная бета-активность –  $0,70 \pm 0,20$  Бк/л. Общая эффективная доза -  $0,25 \pm 0,072$  мЗв и риск  $(1,36 \pm 0,37) * 10^{-5}$ .

Летом 2024 г. в воде из родника «Труд» суммарная объемная альфа-активность составила  $0,07 \pm 0,05$  Бк/л, а суммарная объемная бета-активность –  $0,04 \pm 0,03$  Бк/л. Общая эффективная доза -  $0,03 \pm 0,02$  мЗв, и общий риск составил  $(1,69 \pm 0,88) * 10^{-7}$ .

В воде общежития “Лесное” летом 2024 г. суммарная объемная альфа-активность составила  $0,04 \pm 0,03$  Бк/л, а суммарная

объемная бета-активность –  $0,06 \pm 0,04$  Бк/л. Общая эффективная доза -  $0,03 \pm 0,02$  мЗв и риск  $(1.65 \pm 0.42) * 10^{-6}$ .

Объемная активность альфа- и бета-излучения колебалась в зависимости от сезона, с более низкими показателями летом. Несмотря на повышенные уровни радиоактивности, годовая доза и риск от потребления воды оставались значительно ниже допустимых пределов ( $5,5 \times 10^{-6}$ ), что указывает на отсутствие существенной радиологической опасности для потребителей. Прогнозируется, что из-за малоснежной зимы 2025 г. и промерзшей почвы, летом ожидается снижение уровня грунтовых вод и повышение концентрации металлов естественного радиационного фона.

### *Литература*

1 Момот О.А., Сынзыныс Б.И. Оценка риска для здоровья при употреблении питьевой воды, содержащей малые количества трития // Вестник Калужского университета. – 2017. – №. 2. – С. 96-100.

## **ОСОБЕННОСТИ ТЕЧЕНИЯ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ НА РАДИАЦИОННО-ЗАГРЯЗНЕННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ КАЛУЖСКОЙ ОБЛАСТИ**

*Ю.В. Нефедочкина<sup>1</sup>, О.Е. Поповкина<sup>2</sup>, М.Н. Каткова<sup>3</sup>,  
Г.К. Игнатенко<sup>4</sup>*

*<sup>1</sup> – ГБУЗ КО Калужская областная клиническая больница,  
г. Калуга, Россия*

*<sup>2</sup> – Медицинский радиологический научный центр имени А.Ф. Цыба – филиал ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России,  
г. Обнинск, Россия*

*<sup>3</sup> – ФГБУ «НПО «Тайфун», г. Обнинск, Россия*

*<sup>4</sup> – Независимый исследователь, г. Обнинск, Россия*

В настоящее время не сформировалось устоявшегося мнения о возможной взаимосвязи проживания на загрязненной радионуклидами территории с распространением сердечно-сосудистых заболеваний (ССЗ) [1]. При этом эпидемиологиче-

ские исследования последнего десятилетия свидетельствуют о чувствительности сердечно-сосудистой системы к радиации [2].

По данным Минздрава Калужской области и данным по радиоактивному загрязнению территорий населенных пунктов РФ цезием-137 [3], рассмотрены особенности течения ССЗ, а именно, болезни системы кровоснабжения (БСК) у лиц, постоянно проживающих в районах Калужской области, подвергшихся радиоактивному загрязнению [4]. Изучалась причинно-следственная связь заболеваемости БСК с радиоактивным загрязнением территории проживания путем попарного сравнения показателей годичной заболеваемости БСК (на 1000 чел.) и средних значений уровня цезия-137 (Ки/км<sup>2</sup>) на загрязненных территориях по годам исследуемого временного периода, с 2010 по 2023 гг. (табл. 1).

Таблица 1

Заболеваемость БСК и средний уровень цезия-137 (Ки/км<sup>2</sup>)

| Загрязненные территории | 2010 год |        | 2011 год |        | ... | 2023 год |        |
|-------------------------|----------|--------|----------|--------|-----|----------|--------|
|                         | БСК      | Cs-137 | БСК      | Cs-137 |     | БСК      | Cs-137 |
| Хвостовичский           | 386,4    | 1,354  | 367,6    | 1,34   | ... | 298,3    | 1,189  |
| Ульяновский             | 315      | 2,492  | 311      | 2,467  | ... | 393,9    | 2,189  |
| Думиничский             | 160,9    | 0,35   | 179,1    | 0,347  | ... | 382,9    | 0,307  |
| Жиздринский             | 355,2    | 1,463  | 350,7    | 1,449  | ... | 218      | 1,285  |
| Куйбышевский            | 136,8    | 0,562  | 137,7    | 0,556  | ... | 299,8    | 0,494  |
| Кировский               | 183,8    | 0,511  | 190,4    | 0,506  | ... | 332      | 0,449  |
| Козельский              | 251,1    | 0,468  | 210,3    | 0,464  | ... | 297,3    | 0,411  |
| Людиновский             | 263,5    | 0,829  | 242      | 0,821  | ... | 574,1    | 0,729  |
| Мещовский               | 222,6    | 0,321  | 186      | 0,318  | ... | 227,3    | 0,282  |

Проведенный анализ не позволил установить причинно-следственную связь заболеваемости БСК с уровнем радиоактивного загрязнения цезием-137 за рассматриваемый период. Одна-

ко выявленная корреляционная связь выше 0,7 в течение 2 лет (2010, 2011) требует углубленного анализа с учетом миграции радионуклидов, а случавшиеся годовые всплески заболеваемости, превышающие среднестатистические показатели в 2 раза, обуславливают необходимость постоянного дистанционного мониторинга ССЗ в данных районах. Полученные обобщающие тренды заболеваемости позволяют делать её оценочный прогноз по загрязненным территориям на предстоящий год и разрабатывать оптимальные мероприятия профилактики ССЗ.

### *Литература*

1 Научно-организационный комитет проекта ЭССЕ-РФ. Эпидемиология сердечно-сосудистых заболеваний в различных регионах России (ЭССЕ-РФ). Обоснование и дизайн исследования // Профилактическая медицина. – 2013. – Т.16. – №6. – С. 25-34.

2 Островская С.С., Шаторная В.Ф. Радиационно-индуцированные повреждения сердечно-сосудистой системы (обзор литературы) // Вестник проблем биологической медицины. – 2015. – Т.2(126). – №4. – С. 47-52.

3 Ежегодные данные по радиоактивному загрязнению территории населенных пунктов Российской Федерации цезием-137, стронцием-90 и плутонием-239,240. – Обнинск: ФГБУ «НПО «Тайфун», 2017. – 230 с.

4 Ашитко А.Г., Золочевский Д.В., Овсянникова Л.В., Рожкова С.А. Радиационная обстановка на территории Калужской области 30 лет спустя после аварии на Чернобыльской АЭС // Радиационная гигиена. – 2016. – Т.9. – №2. – С. 40-47.

## **РЕТРОСПЕКТИВНЫЙ АНАЛИЗ ЗАБОЛЕВАЕМОСТИ БОЛЕЗНЯМИ СИСТЕМЫ КРОВООБРАЩЕНИЯ И ОРГАНОВ ДЫХАНИЯ В ПЕРЕМЫШЛЬСКОМ РАЙОНЕ КАЛУЖСКОЙ ОБЛАСТИ**

*Ю.В. Нефедочкина<sup>1</sup>, О.Е. Поповкина<sup>2</sup>, Г.К. Игнатенко<sup>3</sup>*

*<sup>1</sup> – ГБУЗ КО Калужская областная клиническая больница,  
г. Калуга, Россия*

*<sup>2</sup> – Медицинский радиологический научный центр имени А.Ф.  
Цыба – филиал ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России,  
г. Обнинск, Россия*

*<sup>3</sup> – Независимый исследователь, г. Обнинск, Россия*

При анализе данных Министерства здравоохранения Калужской области «Здоровье населения и деятельность учреждений здравоохранения Калужской области» за 2010-2023 гг. [1-3] обращают внимание максимальные показатели по заболеваемости болезнями системы кровообращения (БСК) и органов дыхания (БОД) в Перемышльском районе [4] по сравнению с другими районами области. Данные показатели имеют резкий устойчивый тренд увеличения заболеваемости и в два и более раз превышают среднестатистические показатели по Российской Федерации. Какого-либо объяснения и акцентирования внимания на данный факт в отчетных документах по Региональной программе «Борьба с сердечно сосудистыми заболеваниями» нет, что и явилось следствием проведения данной работы. На первом этапе это ретроспективный анализ заболеваний за период 2010-2023 годы, на втором этапе - установление причин устойчивого тренда заболеваемости.

При этом данный район является экологически чистым, на его территории располагаются экологические тропы, поэтому ретроспективный анализ указанных показателей имеет большую практическую значимость.

Высокие годовичные показатели заболеваемости (на 1000 человек) в Перемышльском районе отмечаются с 2018 г., в 2019 г. произошел «всплеск» заболеваемости. В 2021 г. был зафиксирован максимальный показатель по БСК – 758,7 (средний по обла-

сти – 453), в 2023 г. по БОД – 908 (средний по области – 636). В целом, показатели заболеваемости БСК и БОД по району превысили среднестатистические значения по РФ почти в 4 раза.

Анализ динамики общей и детской заболеваемости по Перемышльскому району показал, что по рассматриваемым нозологическим формам наблюдается рост заболеваемости: общей по БСК – на 76,24%, детской – на 169,44%, по БОД – на 118,58% и 175,17% соответственно.

Было установлено, что тренд заболеваемости БСК коррелирует с трендом заболеваемости БОД, особенно среди детей. Проведен корреляционный анализ общей и детской заболеваемости БСК и БОД (табл. 1).

Таблица 1

Показатели корреляционной связи заболеваемости БСК и БОД, общей и у детей в возрасте 0-14 лет

| Заболеваемость | БСК, общая | БСК, 0-14 лет | БОД, общая | БОД, 0-14 лет |
|----------------|------------|---------------|------------|---------------|
| БСК, общая     | 1          |               |            |               |
| БСК, 0-14 лет  | 0,65       | 1             |            |               |
| БОД, общая     | 0,85       | 0,77          | 1          |               |
| БОД, 0-14 лет  | 0,68       | 0,87          | 0,89       | 1             |

Выявленная высокая корреляционная связь позволяет заявлять о достоверности данных и об общих причинных факторах, вызывающих высокий процент заболеваемости БСК и БОД в Перемышльском районе Калужской области.

Полученные показатели заболеваемости служат важной отправной точкой. Для эффективного управления ситуацией необходим комплексный подход, включающий сбор и анализ дополнительных данных и разработку научно обоснованных профилактических мер.

## *Литература*

1 Здоровье населения и деятельность учреждений здравоохранения Калужской области. – Министерство здравоохранения Калужской области. – Выпуски 2010-2023 гг.

2 Постановление Правительства Калужской области от 17.06.2019 N 379 Об утверждении региональной программы «Борьба с сердечно-сосудистыми заболеваниями» // Электронный фонд правовых документов [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/553367003> (дата посещения: 18.01.2025).

3 Федеральный проект «Борьба с сердечно-сосудистыми заболеваниями» // Сайт Минздрава России [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://minzdrav.gov.ru/poleznye-resursy/natsproektzdravoohranenie/bssz> (дата посещения: 18.01.2025).

4 Перемышль (Калужская область) // Википедия [Электронный ресурс] Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Перемышль\\_\(Калужская\\_область\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/Перемышль_(Калужская_область)) (дата посещения: 27.02.2025).

## **РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ВОДОЕМА-ОХЛАДИТЕЛЯ БЕЛОЯРСКОЙ АЭС**

*А.В. Панов<sup>1</sup>, А.В. Коржавин<sup>2</sup>, Т.Н. Коржавина<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup> – Обнинский институт атомной энергетики – филиал  
Национального исследовательского ядерного  
университета «МИФИ», г. Обнинск, Россия*

*<sup>2</sup> – ИЭРиЖ УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия*

Белоярская атомная электростанция им. И.В. Курчатова является одной из старейших АЭС в России. Ее первая очередь включает два энергоблока с реакторами на тепловых нейтронах АМБ-100 и АМБ-200, запущенные в 1964 и 1967 гг. Оба реактора остановлены более 30 лет назад и сейчас находятся на стадии вывода из эксплуатации. На реакторах АМБ впервые отработывались технологии и режимы работы по ядерному перегреву пара, новые конструктивные решения, оборудование и материалы,

поэтому их эксплуатация сопровождалась значительным количеством отклонений и нарушений в работе, включая аварийные ситуации. Вторая очередь АЭС состоит из двух энергоблоков с реакторами, работающими на быстрых нейтронах: №3 БН-600 работает с 1980 г. и №4 БН-800 введен в действие в 2016 г., оба эксплуатируются в настоящее время. Энергоблок БН-800 с жидким натрием в качестве теплоносителя является на сегодняшний день крупнейшим в мире реактором на быстрых нейтронах. Серия реакторов на быстрых нейтронах (БН-600 и БН-800) позволили значительно увеличить коэффициент использования ядерного топлива, что приближает атомную энергетику к замыканию ядерного топливного цикла. В реакторах серии БН реализован принцип глубоководной защиты, основанный на комплексной системе барьеров и технических мер по минимизации воздействия выбросов и сбросов АЭС на человека и окружающую среду.

Цель работы: оценка накопления техногенных радионуклидов в компонентах экосистемы водоема-охладителя Белоярской атомной станции на основе анализа результатов многолетнего (1976-2019 гг.) радиоэкологического мониторинга.

Для создания системы охлаждения реакторов и технического водоснабжения в 1959-1963 гг. на Белоярской АЭС путем регулирования русла р. Пышмы было создано Белоярское водохранилище. Длина водоема-охладителя составляет 20 км, максимальная ширина 3 км напротив Белоярской АЭС. Глубина водоема достигает 24 м при средней – 7 м, площадь акватории – 38,6 км<sup>2</sup>. Полный объем водохранилища составляет  $2,65 \cdot 10^8$  м<sup>3</sup>, норма естественного стока из него 2,8 м<sup>3</sup>/с.

Изучено влияние сбросных технологических вод тепловых (АМБ-100 и АМБ-200) и быстрых (БН-600 и БН-800) реакторов АЭС на содержание техногенных радионуклидов в поверхностных водах, донных отложениях, макрофитах и ихтиофауне Белоярского водохранилища. Показано, что технология производства электроэнергии на Белоярской АЭС, основанная на быстрых реакторах, оказывает гораздо меньшее влияние на поступление техногенных радионуклидов в водную экосистему водохранилища. Представлена долговременная динамика удельной

активности  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  и  $^3\text{H}$  в основных компонентах водной экосистемы на разном расстоянии от источника сброса радионуклидов. В течение всего периода мониторинговых исследований снижение удельной активности радионуклидов стационарного происхождения в поверхностных водах составило 4,3-74,5 раза, в донных отложениях – 10-505 раз, в макрофитах – 13-25800 раз, в ихтиофауне – 1,3-44,6 раза [1]. Улучшение радиологического состояния водоема-охладителя произошло в результате остановки эксплуатации тепловых реакторов первой очереди атомной станции (АМБ-100 и АМБ-200), а также за счет распада и перераспределения радиоизотопов из водной фазы в донные отложения и миграции с водным стоком из водохранилища в речную систему. Максимальный сброс техногенных радионуклидов в водохранилище отмечен в период проведения восстановительных и дезактивационных работ, направленных на устранение аварий на тепловых реакторах АМБ-100 и АМБ-200 первой очереди Белоярской АЭС.

### *Литература*

1 Панов А.В., Коржавин А.В., Коржавина Т.Н. Итоги многолетнего радиологического мониторинга водоема-охладителя Белоярской АЭС // Известия вузов. Ядерная энергетика. 2024. – №2. – С. 138-154. DOI: <https://doi.org/10.26583/npe.2024.2.12>

## **ОЦЕНКА УРОВНЕЙ ОБЪЕМНОЙ АКТИВНОСТИ ЙОДА-131 В ПРИЗЕМНОЙ АТМОСФЕРЕ ОБНИНСКА**

*О.Н. Полянская, М.Н. Каткова  
ФГБУ «НПО «Тайфун», г. Обнинск, Россия*

В Обнинске ФГБУ «НПО «Тайфун» ведет многолетний мониторинг за содержанием  $^{131}\text{I}$  в приземной атмосфере города. Пробы атмосферных аэрозолей отбираются на метеоплощадке города с помощью воздухо-фильтрующей установки с суточной экспозицией. Для отбора проб используются фильтры для улавливания аэрозольной  $^{131}\text{I}_a$  и молекулярной фракции  $^{131}\text{I}_m$ . Для определения объемной активности  $^{131}\text{I}$  применялся гамма-

спектрометрический метод анализа фильтров с помощью полупроводникового детектора ORTEC (США). В докладе рассматривается период регистрации  $^{131}\text{I}$  с 2013 г. по 2023 г.

Среднегодовая объемная активность  $^{131}\text{I}_{\text{сум}}$  ( $^{131}\text{I}_{\text{сум}} = ^{131}\text{I}_{\text{а}} + ^{131}\text{I}_{\text{м}}$ ) в период с 2013 г. по 2023 г. изменялась с  $2,5 \cdot 10^{-5}$  Бк/м<sup>3</sup> до  $8,8 \cdot 10^{-4}$  Бк/м<sup>3</sup>. В 2015 г. среднегодовая объемная активность  $^{131}\text{I}_{\text{сум}}$  возросла на порядок с  $2,5 \cdot 10^{-5}$  Бк/м<sup>3</sup> до  $4,8 \cdot 10^{-4}$  Бк/м<sup>3</sup>. Максимальная среднегодовая объемная активность  $^{131}\text{I}_{\text{сум}}$  пришлось на 2018 г. и постепенно снизилась до  $9,7 \cdot 10^{-5}$  Бк/м<sup>3</sup> в 2023 г. На рис. 1 представлена динамика среднемесячной объемной активности  $^{131}\text{I}_{\text{сум}}$ .

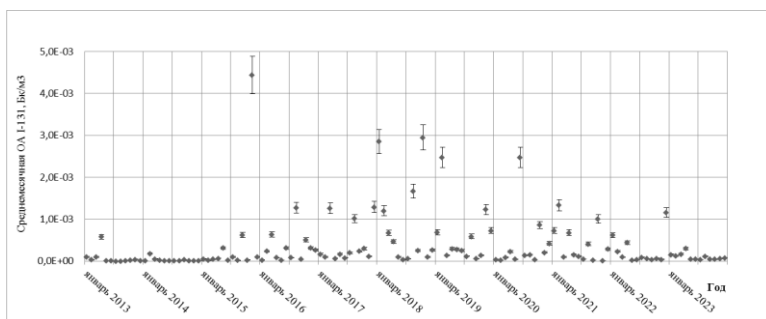


Рис.1 Динамика среднемесячной объемной активности  $^{131}\text{I}_{\text{сум}}$  с 2013 г. по 2023 г.

Наиболее вероятным источником поступления  $^{131}\text{I}$  в атмосферу города является АО «НИФХИ им. Л.Я. Карпова» (НИФХИ), занимающийся производством радиофармпрепаратов и в аэрозольных выбросах которого присутствуют изотопы йода [1]. Среднегодовая объемная активность  $^{131}\text{I}_{\text{сум}}$  в приземном воздухе хорошо коррелирует с годовыми выбросами НИФХИ, с коэффициентом корреляции Пирсона  $r = 0,89$ . Проведенный анализ направления ветра в дни регистрации  $^{131}\text{I}_{\text{сум}}$  в период 2013-2023 гг. показал, что в 25% случаев регистрации радионуклида наблюдается южное направление ветра, в 19% юго-восточное и в 18% юго-западное. НИФХИ расположен на юго-востоке города. Распределение объемной активности  $^{131}\text{I}_{\text{сум}}$  в зависимости от направления ветра показано на рис. 2.

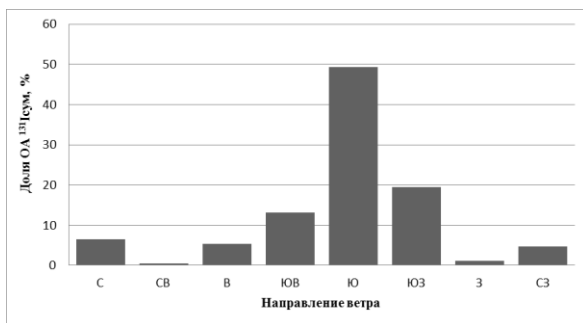


Рис. 2. Распределение объемной активности  $^{131}\text{I}_{\text{сум}}$  от направления ветра.

Зафиксированные максимальные суточные значения объемной активности  $^{131}\text{I}_{\text{сум}}$  в период с 2013 г. по 2023 г. составляли от  $2,0 \cdot 10^{-3}$  Бк/м<sup>3</sup> (2023 г.) до  $9,3 \cdot 10^{-1}$  Бк/м<sup>3</sup> (2018 г.), что на один-три порядка ниже допустимой среднегодовой объемной активности для населения в соответствии с НРБ-99/2009.

### *Литература*

1 Радиационная обстановка на территории России и сопредельных государств в 2023 г. Ежегодник // Под ред. В.С. Косых и др. – Обнинск: ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД», 2024. – 334 с.

## **РОЛЬ БАЗЫ ДАННЫХ ИНДИВИДУАЛЬНОГО ДОЗИМЕТРИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ В ОПТИМИЗАЦИИ РАДИАЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ**

*А.Ф. Семенова, О.Л. Ташлыков  
ФГАОУ ВО «УрФУ имени первого  
Президента России Б.Н. Ельцина», г.Екатеринбург, Россия*

В соответствии с МУ 2.6.5.054-2017 [1], содержащими указания для проведения оптимизации радиационной защиты персонала в условиях нормальной эксплуатации источников ионизирующих излучений в организациях Госкорпорации «Росатом», должна функционировать база данных индивидуального дози-

метрического контроля (ИДК). База данных должна содержать дозиметрические данные, которые служат исходным материалом для анализа и совершенствования системы радиационной безопасности на предприятии, оценки эффективности выполненных мероприятий по реализации методологии оптимизации (ALARA методологии) [2].

Существующие базы данных (БД) ИДК реализованы в соответствии с требованиями к организации и проведению дозиметрического контроля на предприятиях для проведения контроля накопления индивидуальной эффективной дозы и планирования дальнейшей работы персонала, подготовки отчетной документации, в том числе для регулирующих органов [3]. Однако, существующая БД ИДК требует совершенствования для решения задач по оптимизации, поскольку не позволяет в полной мере представить анализ дозовых нагрузок на персонал, из-за отсутствия:

- структурированных сведений по дозовым нагрузкам при выполнении конкретных видов работ повышенной радиационной опасности;
- возможности оперативного контроля за накопленными дозами персонала при выполнении работ повышенной радиационной опасности со стороны руководителя работ;
- инструмента для анализа дозовых нагрузок;
- централизованной системы планирования дозовых нагрузок на персонал и мониторинга соблюдения планируемых доз;
- возможности выборки лиц из числа персонала, для которого требуется первоочередная оптимизация дозовых нагрузок.

Модернизация существующей БД ИДК позволит эффективно реализовать задачи для непрерывного процесса оптимизации радиационной защиты. Введение функционала оптимизации радиационной защиты в БД ИДК позволит ускорить анализ данных дозиметрического контроля, оперативно производить планирование доз облучения персонала при выполнении работ повышенной радиационной опасности, оценивать необходимость реализации или корректировки защитных мероприятий, управлять индивидуальными радиационными рисками. Введение базы данных является важным этапом цифрового развития, обеспечи-

вающим эффективную реализацию основных принципов радиационной безопасности.

### *Литература*

1 МУ 2.6.5.054-2017 Оптимизация радиационной защиты персонала предприятий Госкорпорации «Росатом». Методические указания. – М, 2017. / Информационно-справочная система «Консультант-Плюс».

2 Михайлова А. Ф., Ташлыков О. Л. Пути реализации принципа оптимизации в радиологической защите персонала // Ядерная физика и инжиниринг. – 2018. – Т. 9. – № 4. – С. 393-401.

3 Михайлова А.Ф., Ташлыков О.Л. Совершенствование системы автоматизированного сбора, хранения и обработки данных индивидуального дозиметрического контроля персонала АО «ИРМ» // Вопросы атомной науки и техники. Сер. Материаловедение и новые материалы. – 2019. – Вып. 5(101). – С. 64-73.

## **ИНСТРУМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА РАДИАЦИОННОЙ ОБСТАНОВКИ НА ТЕРРИТОРИИ РАСПОЛОЖЕНИЯ ХРАНИЛИЩА РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ ПОСЛЕ ВЫВОДА ИЗ ЭКСПЛУАТАЦИИ**

*И. Увазе, Р.Р. Шошина, Е.Е. Черкасова*

*Обнинский институт атомной энергетики – филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ»,  
г. Обнинск, Россия*

Вывод из эксплуатации хранилищ радиоактивных отходов требует комплексной оценки радиационной обстановки для обеспечения безопасности окружающей территории [1, 2]. Остаточное радиоактивное загрязнение угрожает окружающей среде и здоровью. Исследование направлено на оценку радиационной обстановки на территории выведенного из эксплуатации Обнинского хранилища РАО.

Для оценки на территории расположения хранилища выбранны участки с учетом исследований, проведенных ранее на данной территории [3].

Измерения проводятся с использованием дозиметра-радиометра МКС-15Д «Снегирь» в соответствии с выбранными точками измерений на карте. В каждой контрольной точке выполняются замеры мощности амбиентного эквивалента дозы гамма-излучения (мкЗв/ч) на высоте 1 м и плотности потока бета-частиц ( $\text{см}^{-2}\text{мин}^{-1}$ ) на высоте 30 см.



Рис. 1. Расположение точек измерения

Пункты измерений включают участки с различным типом почвы, возможные зоны накопления радионуклидов (низины, водоемы), территории со следами утечек [2].

### *Литература*

1. СанПин 2.6.1.2523-09. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009). Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009. – 100 с.

2. МУ 2.6.5.008-16 2.6.5. Атомная энергетика и промышленность. Контроль радиационной обстановки. Общие требования. Методические указания. – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2016. – 82 с.

3. Сынзыныс Б. И., Мирзеабасов О. А., Лаврентьева Г. В. и др. Оценка радиационного экологического риска и её неопреде-  
162

лённость для биоценоза регионального хранилища радиоактивных отходов // Радиация и риск. – 2014. – Т. 23. – № 4. – С. 43-54

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ НАКОПЛЕНИЯ РАДИОНУКЛИДОВ И ТЯЖЁЛЫХ МЕТАЛЛОВ В СИСТЕМЕ «ПОЧВА-РАСТИТЕЛЬНОСТЬ» В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ НИФХИ ИМ. Л.Я.КАРПОВА (2023 Г.)**

*Н.Н. Хамрокулов, Т.В. Мельникова, А.А. Удалова, Л.А. Киселева  
Обнинский институт атомной энергетики – филиал  
Национального исследовательского ядерного университета  
«МИФИ», г. Обнинск, Россия*

Территория, прилегающая к радиационно опасным объектам, может быть подвергнута антропогенному воздействию. В связи с этим возникает необходимость проводить мониторинг различных объектов окружающей среды на данной территории.

Целью исследования было определение коэффициентов накопления ( $K_n$ ) радионуклидов (РН) и тяжёлых металлов (ТМ) в системе «почва-растительность» вблизи НИФХИ им. Л.Я. Карпова.

Объектами исследования являлись почва и растительность, отобранные в 2023 г. в 5 точках (рис.1.) в санитарно-защитной зоне и зоне наблюдения НИФХИ им. Л.Я. Карпова.



Рис.1. Точки пробоотбора.

Определение РН и ТМ выполнялось методом гамма-спектроскопии и инверсионной вольтамперометрии соответственно.

В табл. 1 представлены результаты расчета  $K_n$  (отношение содержания элемента в растительности к его содержанию в почве [1]). Из табл. 1 видно, что накопление уменьшается: в ряду ТМ Zn, Cu, Cd, и Pb; в ряду РН  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{40}\text{K}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{232}\text{Th}$ . Наибольшее значение  $K_n$ , как для ТМ, так и для РН наблюдалось в точке 2.5 (min-max 0,02-10,66, mean 2), наименьшее - в точке 2.9 (min-max 0,04-1,58, mean 0,6).

Таблица 1

Коэффициенты накопления

| № пробы | $K_n$ элемента |      |      |       |                   |                 |                   |                   |
|---------|----------------|------|------|-------|-------------------|-----------------|-------------------|-------------------|
|         | Cd             | Pb   | Cu   | Zn    | $^{137}\text{Cs}$ | $^{40}\text{K}$ | $^{226}\text{Ra}$ | $^{232}\text{Th}$ |
| 1.10a   | 0,29           | 0,04 | -    | 1,96  | 1,31              | 1,35            | 1,35              | 0,27              |
| 2.5     | 1,15           | 0,02 | 1,91 | 10,66 | 0,17              | 0,76            | 1,03              | 0,12              |
| 2.9     | 0,33           | 0,04 | 0,24 | 1,58  | 1,19              | 0,22            | 1,22              | 0,19              |
| 2.10    | 0,31           | 0,01 | 1,24 | 2,03  | 0,39              | 0,57            | 1,32              | 0,29              |
| 2.11    | 0,55           | 0,01 | 1,27 | 2,29  | 0,26              | 1,07            | 1,79              | 0,35              |

Для травянистой растительности, которая исследовалась в работе, мы получили низкие значения  $K_n(\text{ТМ})$  по сравнению с данными работы [2], в которой  $K_n$  составили: Cd – 2,74, Pb – 1,01, Cu – 20,0, Zn – до 30,0. Для всех исследуемых радионуклидов получены  $K_n$ , близкие к значениям, характерным для разнотравья. В точках с  $K_n > 1,0$  (для  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{40}\text{K}$ ) повышенные значения связаны с тем, что в этих местах могут произрастать злаковые дикорастущие травы [3,4].

*Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (грант № 23-29-10166).*

**Литература**

1 Фокин А.Д., Лурье А.А., Торшин С.П. Сельскохозяйственная радиология: Учебник. 2-е изд. – СПб.: Лань, 2011. – 416 с.

2 Пархоменко Н.А. Агроэкологическая оценка действия тяжёлых металлов в системе почва-растение / Автореферат дисс. ... канд. сельскохозяйств. наук. – Омск: ОмГАУ, 2004.

3 Парамонова Т.А., Романцова Н.А. Сравнительный анализ поступления цезия-137 и калия-40 в травянистую растительность на радиоактивно загрязнённой территории Тульской области // Живые и биокосные системы. – 2013. – №5. DOI: 10.18522/2308-9709-2013-5-4

4 Калдыбаев Б.К. Содержание тяжёлых естественных радионуклидов в растительном покрове Прииссыккулья // Наука и новые технологии. – 2010. – №2. – С. 153-155.

## **ТРАНСФОРМАЦИЯ ФОРМ НАХОЖДЕНИЯ ПЛУТОНИЯ ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ ГОРОХА**

*К.Е. Шаврина<sup>1</sup>, М.А. Эдомская<sup>1</sup>, А.А. Шупик<sup>1</sup>, С.Н. Лукашенко<sup>1</sup>,  
М.В. Маркова<sup>1</sup>, А.В. Никулина<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup> – НИЦ «Курчатовский институт» - ВНИИРАЭ,  
г. Обнинск, Россия*

*<sup>2</sup> – РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, г. Москва, Россия*

Биодоступность радионуклидов является ключевым фактором для их перехода в растительность и впоследствии в организм человека. Ключевой характеристикой радионуклидов как загрязняющих веществ является то, что их потенциальная токсичность и способность усваиваться живыми организмами во многом зависят от химической формы, в которой они присутствуют в окружающей среде.

Цель работы – установить закономерности изменения форм нахождения плутония при выращивании сельскохозяйственных культур на примере гороха сорт Немчиновский-50.

Эксперимент по выращиванию гороха сорт Немчиновский-50 проводили на дерново-подзолистой почве, предварительно загрязненной <sup>239</sup>Pu, при варьировании влажности почвы от 15% до 35%. Анализ форм нахождения плутония в почве проводили без выращивания растений («черный пар») и после завершения вегетационного периода. Выделение форм проводили с использо-

ванием модифицированной методики Павлоцкой [1]. Анализ содержания плутония проводили методом альфа-спектрометрии с предварительным радиохимическим выделением [2].

Результаты представлены на рис. 1.

Наибольшее содержание  $^{239+240}\text{Pu}$  наблюдается в труднорастворимой форме.

Влажность почвы не оказывает существенного влияния на формы нахождения плутония. Однако при выращивании гороха наблюдается снижение водорастворимой и обменно-легкодоступной форм нахождения в среднем в 4,4 и 1,9 раз соответственно. Помимо этого, наблюдается увеличение органической формы после выращивания в 8,3 раз.

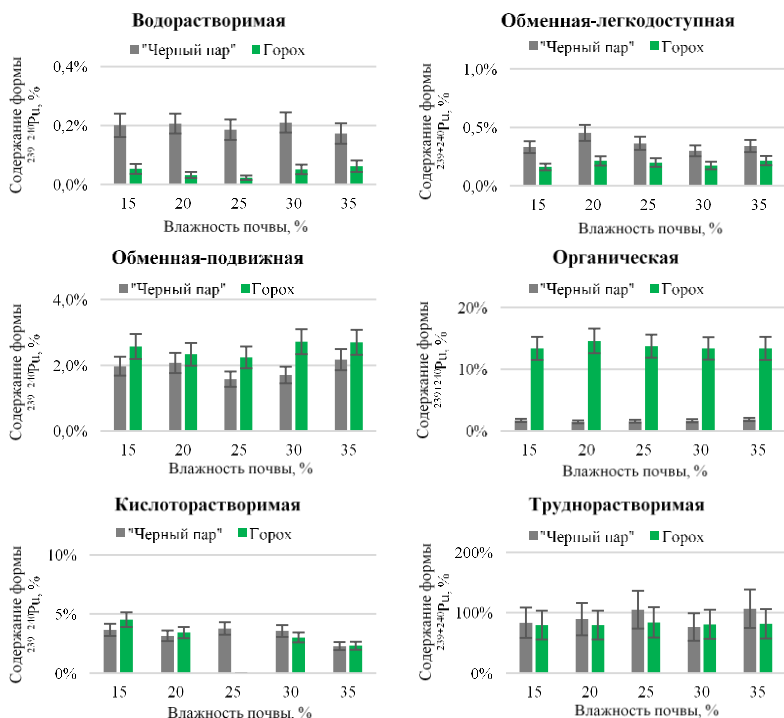


Рис. 1. Содержание форм нахождения  $^{239+240}\text{Pu}$  в почве при разной влажности до и после выращивания.

## *Литература*

1 Кундузбаева А.В. Исследование подвижности искусственных радионуклидов в почвах Семипалатинского испытательного полигона при различных условиях формирования радиоактивного загрязнения: специальность 1.5.1 – Радиобиология: дисс. ... канд. биол. наук. – Обнинск, 2023. – 178 с.

2 Edomskaaya M.A. et al. Estimation of radionuclides global fall-out levels in the soils of CIS and Eastern Europe territory // Journal of Environmental Radioactivity. – 2022. – V. 247. – P. 106865. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2022.106865>

## **ВОЛОКНИСТЫЕ СОРБЕНТЫ ДЛЯ СОВМЕСТНОГО ИЗВЛЕЧЕНИЯ $^{137}\text{Cs}$ И ЕСТЕСТВЕННЫХ РАДИОНУКЛИДОВ ИЗ ПРИРОДНЫХ ВОД**

*Ю.Г. Шибецкая<sup>1</sup>, В.А. Разина<sup>1</sup>, В.А. Турянский<sup>1</sup>, Н.А. Бежин<sup>1</sup>,  
И.Г. Тананаев<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup> – СевГУ, г. Севастополь, Россия*

*<sup>2</sup> – ФИЦ КНЦ РАН, г. Апатиты, Россия*

Постоянный систематический мониторинг активности техногенных радионуклидов в природных водах позволяет выявить свежие источники поступления радиоактивного загрязнения.

Естественные радионуклиды бериллия, фосфора, свинца, полония, радия и тория позволяют изучать происходящие в природе процессы и суммарно получить более полную картину об экологическом состоянии исследуемой акватории.

Поиск оптимальных материалов и методов концентрирования радионуклидов из природных сред до сих пор продолжается несмотря на то, что наибольшее распространение получили сорбционные материалы. Особый интерес вызывают сорбенты, которые позволяют комплексно концентрировать целый спектр радионуклидов.

Поэтому на основе ранее проведенных исследований [1] нами синтезированы новые сорбенты на основе ПАН волокна

для концентрирования и определения  $^{137}\text{Cs}$ . Подобраны оптимальные материалы и условия синтеза.

По результатам проведенных исследований структуры полученных сорбентов, а также исследований селективности сорбции установлено, что полученные сорбенты представляют собой ПАН волокна, модифицированные ферроцианидами переходных металлов и оксидом марганца или железа(III), и способны извлекать не только  $^{137}\text{Cs}$ , что было подтверждено ранее [1, 2], но и естественные радионуклиды.

Проведено исследование сорбционных и кинетических параметров извлечения цезия, в том числе  $^{137}\text{Cs}$ , полученными сорбентами в статических и динамических условиях, а также параметров извлечения цезия, фосфора, бериллия и бария как электронного аналога радия из различных природных сред с различным содержанием. Установлено, что полученные сорбенты эффективно извлекают цезий, коэффициенты распределения составляют более  $10^5$  мг/л. Это связано с соответствием размеров входных окон ферроцианидов переходных металлов и ионов цезия. Эффективное извлечения свинца и висмута (коэффициенты распределения составляют более  $10^3$  мг/л) указывает на возможность извлечения  $^{210}\text{Pb}$  и  $^{210}\text{Po}$  полученными сорбентами.

Также сорбенты, имеющие в своём составе оксиды марганца, эффективны при извлечении  $\text{Ba}^{2+}$ . Учитывая закономерности изменения свойств элементов, можно предположить, что коэффициент распределения  $\text{Ra}^{2+}$  будет выше, чем у  $\text{Ba}^{2+}$ :  $\text{Ca}^{2+} < \text{Sr}^{2+} < \text{Ba}^{2+} < \text{Ra}^{2+}$ .

*Работа выполнена при финансовой поддержке Севастопольского государственного университета, проект № 42-01-09/253/2023-2.*

### ***Литература***

1 Shibetskaia I.G., Razina V.A., Bezhin N.A. et al. New sorbents based on polyacrylonitrile fiber and transition metal ferrocyanides for  $^{137}\text{Cs}$  recovery from various composition solutions // Applied Sciences. – 2024. – V. 14. – 627 p.

2 Shibetskaia I.G., Bezhin N.A., Razina V.A. et al. Regularities of cesium sorption by fibrous sorbents based on transition metal ferro-

## ПРОГРАММНО-АЛГОРИТМИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ ТРЁХМЕРНОЙ ДОЗИМЕТРИИ ПРОТОННЫХ ПОЛЕЙ

*М.С. Шкрабо<sup>1</sup>, А. Н. Соловьев<sup>1,2</sup>*

*<sup>1</sup> – Обнинский институт атомной энергетики – филиал  
Национального исследовательского ядерного университета  
«МИФИ», г. Обнинск, Россия*

*<sup>2</sup> – Медицинский радиологический научный центр имени А.Ф.  
Цыба – филиал ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России,  
г. Обнинск, Россия*

Потребность в обеспечении гарантий качества пучков ионизирующего излучения в лучевой терапии является высокоактуальной проблемой, решаемой с привлечением большого круга специалистов и широкого спектра программно-математических методов обработки и анализа данных. В качестве интегрального дозиметрического показателя могут применяться средства химической дозиметрии [1], однако проблематика трёхмерной верификации полей, выводимых терапевтической техникой в интересах медицинской деятельности, до сих пор остаётся исследовательским направлением. В настоящей работе представлено программно-алгоритмическое обеспечение, позволяющее реконструировать трёхмерные профили поглощённых доз, получаемых на базе двумерных дозиметрических устройств и средства перемещения.

В качестве исходных данных используются выходные данные устройства PTW Octavius XDR, который представляет собой техническое средство из 1020 ионизационных камер, расположенных в шахматном порядке. В качестве средств обработки данных используются язык высокого уровня Python и средства обработки numpy [2] и scipy [3]. На первоначальном этапе осуществляется восстановление полных двумерных характеристик измеренного дозного поля, на втором этапе в зависимости от

расположения измерительных средств, осуществляется кубическая интерполяция трёхмерного распределения. Результирующие данные могут быть отображены на экране как в режиме одиночных проекций, так и в трёхмерном варианте. Разработан специализированный программный интерфейс, обеспечивающий эффективное интерактивное человеко-машинное взаимодействие по анализу данных измерений.

В рамках проведённого исследования было показано, что измеренные тестовые планы облучения, представленные целевым кубическим объёмом протяжённостью 5 см на глубине 10 см, эффективно восстанавливаются в эквивалентное трёхмерное распределение с шагом 1 мм. В дальнейшем будут проведены оптимизационные исследования по определению минимально-достаточного числа измеряемых проекций поля.

Протонная терапия является одним из инновационных методов радиационной медицины, ключевое звено в которой занимает физико-техническое обеспечение. Предложенные работы могут быть интегрированы как компонент технологического звена [4] обеспечения эффективной реализации медицинской деятельности на базе протонных пучков.

### *Литература*

1 Kotb O.M., Solovov A.N., Saburov V.O. et al. Response of the FBX aqueous chemical dosimeter to high energy proton and electron beams used for radiotherapy research // *Radiation Physics and Chemistry*. – 2024. – № 216. – P. 111451.

2 Harris C.R., Millman K.J., van der Walt S.J. et al. Array programming with NumPy // *Nature*. – 2020. – V. 585. P. 657-62.

3 Virtanen P., Gommers R., Oliphant T.E. et al. SciPy 1.0: Fundamental algorithms for scientific computing in Python. // *Nature Methods*. – 2020. – V. 17. – P. 261-72

4 Gordon K.B., Saburov V.O., Koryakin S.N. et al. Calculation of the biological efficiency of the proton component from 14.8 MeV neutron irradiation in computational biology with help of video cards // *Bulletin of Experimental Biology and Medicine*. – 2022. – V. 173. – № 2. – P. 281-285.

## РАЗРАБОТКА ПОДХОДА К ОЦЕНКЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ НА ОБЪЕКТАХ ЯДЕРНОГО НАСЛЕДИЯ

*В.В. Шлыгин, С.М. Киселёв, Ю.Н. Зозуль, С.В. Ахромеев  
ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России,  
г. Москва, Россия*

Опыт эколого-гигиенических исследований на объектах ядерного наследия показывает, что воздействие на окружающую среду (ОС) характеризуется сочетанным загрязнением соединениями радиационной и нерадиационной природы. При этом качественный и количественный состав загрязнителей характеризуется большим разнообразием. Существующие методические подходы к характеристике антропогенного воздействия на ОС ориентированы преимущественно на решение локальных задач регулирования и базируются на различных критериях оценки. Это создает сложности при анализе и интерпретации данных мониторинговых исследований. Нами предложен универсальный подход к оценке состояния загрязнения ОС, а соответственно и уровня воздействия на ОС на основе интегрального индекса загрязнения (ИИЗ).

ИИЗ представляет собой усреднённую «кратность загрязнения» исследуемого объекта ОС на изучаемой территории по сравнению с фоновыми уровнями с учётом гигиенической значимости каждого загрязняющего вещества. Для ранжирования уровня воздействия на ОС предложена шкала, определяющая уровень техногенного загрязнения в следующих категориях: фоновый, безопасный, опасный, чрезвычайно опасный. Разработан механизм определения интервальных диапазонов ИИЗ для объектов ОС, соответствующих диапазонам ранжирования уровня воздействия. На основе расчёта ИИЗ предложен алгоритм оценки эколого-гигиенической обстановки (рис. 1). В каждой точке контроля исследуемой локации (промышленная площадка, санитарно-защитная зона, зона наблюдения и др.) вычисляют значения интегрального индекса загрязнения радиационного (ИИРЗ) и химического (ИИХЗ) для каждого объекта ОС

(вода, почвогрунт, воздух и др.), который является объектом воздействия и, соответственно, предметом контроля.

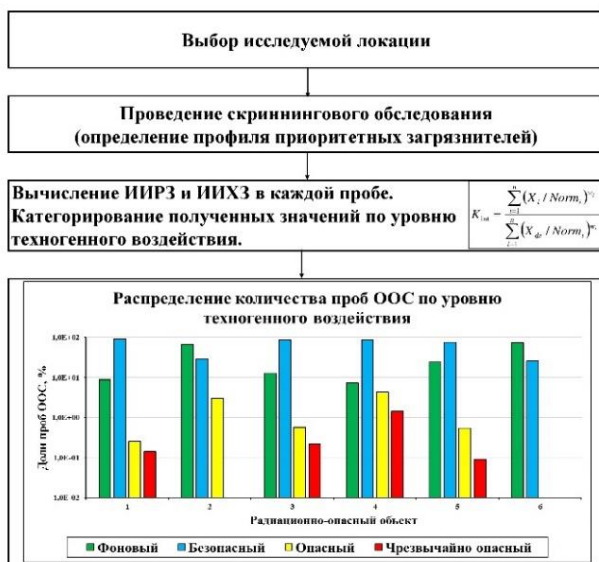


Рис. 1. Алгоритм оценки эколого-гигиенической обстановки.

С применением разработанного подхода проведён анализ эколого-гигиенической обстановки на объектах ядерного наследия и прилегающих территориях. Показано, что на территориях бывших береговых технических баз ВМФ России наиболее выражено химическое загрязнение грунтов, подземных и поверхностных вод токсичными металлами. Загрязнение объектов ОС радионуклидами характеризуется наличием локально загрязнённых участков. Территории санитарно-защитных зон и зон наблюдения характеризуются фоновым или безопасным уровнем воздействия на ОС.

Разработанный подход к оценке воздействия на ОС можно рассматривать в качестве удобного инструмента для решения задач оптимизации мониторинга окружающей среды, включая первичную характеризацию состояния ОС, определение приоритетных задач мониторинга на разных этапах производствен-

ного цикла, оценку эффективности проведения мероприятий, направленных на восстановление природной среды.

## **НЕРЕШЁННЫЕ ВОПРОСЫ РАДИОТОКСИЧНОСТИ ПЛУТОНИЯ И НЕКОТОРЫЕ ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ**

*А.А. Шупик<sup>1</sup>, М.А. Эдомская<sup>1</sup>, К.Е. Шаврина<sup>1</sup>, С.Н. Лукашенко<sup>1</sup>,  
Б.И. Сынзыныс<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup> – НИЦ «Курчатовский институт» - ВНИИРАЭ,  
г. Обнинск, Россия*

*<sup>2</sup> – Обнинский институт атомной энергетики – филиал  
Национального исследовательского ядерного университета  
«МИФИ», г. Обнинск, Россия*

Искусственный радиоактивный элемент плутоний, обнаруженный и выделенный американскими учёными Дж. Кеннеди и А. Валем в 1940 г., постоянно находится в сфере внимания радиологов различного профиля [1]. Цель данного сообщения – оценить современное состояние проблемы изучения механизмов радиотоксичности плутония и наметить некоторые пути их выявления. В данном коротком сообщении остановимся на трёх наиболее значимых проблемах. Решение этих проблем объединяет общий главный вопрос молекулярной радиобиологии: проникает ли плутоний внутрь как растительной, так и животной клетки – в ионной форме или в составе соединения, – и оказывает ли он радиационное или химическое действие на важнейшую критическую структуру, каковой является ДНК (рассматриваемая как основная мишень действия радиации).

1. Проблема №1 – (физико-химическая) обусловлена многоликостью этого элемента, которая проявляется как в его радиационных, так и в чисто химических свойствах. Известны 20 изотопов плутония с массовыми числами от 228 до 247. В водных растворах, в том числе и почвенных, поведение плутония очень сложное, поскольку в водной среде он существует преимущественно в четырёх состояниях окисления от 3-х до 6-ти:  $\text{Pu}^{3+}$ ;  $\text{Pu}^{4+}$ ;  $\text{PuO}_2^{2+}$ ;  $\text{PuO}_5^{3-}$ . Основной вопрос – проникают ли эти соединения внутрь живой клетки.

2. Проблема №2 – (миграция плутония по пищевым цепям) постоянно изучается [2]. Действительно, основным звеном миграции плутония в окружающей среде является переход из основного депо – почвы – в растения. Главным показателем этого процесса является величина коэффициента накопления  $K_n$ , который представляет собой отношение удельного содержания плутония в массе растения к его удельному содержанию в почве. По данным обзора Шупика А.А. и соавт. [2] для разных видов растений  $K_n$  составляет по величине от  $10^{-7}$  до  $10^{-1}$ . Из этого можно сделать вывод о крайне малой величине поглощения плутония в системе «почва - растение».

3. Проблема №3 – (Проникновение плутония внутрь клеток). Развивая тему проблемы №2 данного сообщения, можно привести сведения из монографий последних лет, в которых показано, что очень мало плутония поступает в кроветворную систему как человека, так и животных из желудка и кишечника [1, 2]. При этом наибольшее его количество попадает в организм человека ингаляционным путём транспорта из лёгких в лимфатическую сеть [1]. Вместе с тем диоксид плутония ( $PuO_2$ ), как и нитрид плутония, мало растворимые соединения и поэтому признаются относительно безопасными с точки зрения проникновения внутрь организмов. Сделанные ранее оценки [1] предполагают, что большинство химических соединений плутония, в том числе и его ионы плохо «усваиваются» организмом человека и животных. В отношении растений данный вопрос мало изучен. Эволюционно не выработаны шапероны, транспортирующие ионы плутония внутрь клеток.

Накопленные к настоящему времени научные факты не дают четкого понимания механизмов поступления и воздействия плутония на клетки растений. Поэтому для растений необходимо проведение специальных опытов, в том числе с использованием автордиографии тонких срезов разных органов различных растений, для которых можно было бы оценить проникновение плутония внутрь клеток и установить действие радиотоксичности плутония на клетки растений.

## *Литература*

1 Абрамов Ю.В., Батова З.Г., Болотникова М.Г. и др. Плутоний. Радиационная безопасность. – М: Изд. АТ, 2005. – 416 с.

2 Шупик А.А., Эдомская М.А., Сынзыныс Б.И., Шаврина К.Е. Накопление плутония растительностью (обзор) // Радиационная биология. Радиозкология. – 2023. – Т. 63. – № 4. – С. 411-420. DOI: 10.31857/S0869803123040082.

## **ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ И РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ АТОМНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ С РЕАКТОРАМИ ТИПА ВВЭР**

*Е.И. Щербакова*

*Обнинский институт атомной энергетики – филиал  
Национального исследовательского ядерного университета  
«МИФИ», г. Обнинск, Россия*

Атомные электростанции предоставляют возможность генерации электроэнергии без выбросов парниковых газов, что делает их привлекательным вариантом в контексте борьбы с изменением климата. Однако вопросы экологической и радиационной безопасности остаются приоритетными в эксплуатации АЭС. В данном докладе рассматривается безопасность атомных электростанций с реакторами типа ВВЭР.

Реакторы типа ВВЭР – реакторы с водой под давлением, которые наиболее распространены в мире. Вода в них используется как замедлитель нейтронов, и как теплоноситель. Основным принципом обеспечения безопасности является наличие глубоководной защиты для предотвращения выхода радиоактивных материалов в окружающую среду.

Персонал АЭС, выполняя рабочие задачи, ежедневно рискует столкнуться с ионизирующим излучением. Для обеспечения радиационной безопасности производится постоянный контроль за обстановкой в производственных помещениях и на территории станции, а также контролируются дозы облучения, которые получают сотрудники.

Для населения подход отличается, так как опасность представляют только радиоактивные вещества, вышедшие за пределы площадки. В основном внимание сконцентрировано на газоаэрозольных выбросах, далее по важности идут жидкие и твердые радиоактивные вещества.

Основной задачей для обеспечения экологической безопасности является снижение поступления нуклидов во внешнюю среду. Для этого предусмотрены различные защитные барьеры и системы дезактивации ЖРО и ГРО, также контролируется содержание радионуклидов в сбросах жидкостей и выбросах газов.

Атомные электростанции с реакторами типа ВВЭР обеспечивают высокий уровень экологической и радиационной безопасности благодаря современным технологиям и надёжным системам защиты. Однако для поддержания этого уровня безопасности необходимо постоянное внимание к состоянию оборудования, системам контроля и управления, а также к вопросам обращения с отходами и мониторинга окружающей среды. Эффективное обеспечение безопасности на АЭС с ВВЭР способствует надёжному и безопасному производству электроэнергии, что является важным фактором для продвижения энергетической отрасли и обеспечения устойчивого развития.

### *Литература*

1 Экологические отчеты организаций Госкорпорации «Росатом» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.report.rosatom.ru/3541>. (Дата обращения 10.03.2025)

2 Баклушин Р.П. Эксплуатация АЭС. Ч. I. Работа АЭС в энергосистемах. Ч. II. Обращение с радиоактивными отходами: Учебное пособие. – М.: НИЯУ МИФИ, 2011. – 304 с.

3 Денисов В.П., Драгунов Ю.Г. Реакторные установки ВВЭР для атомных электростанций. – М.: ИздАТ, 2002. – 480 с.

## РЕЗУЛЬТАТ ОПЫТНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ УВФ-2 С БЛОКОМ СПЕКТРОМЕТРА НАД ФИЛЬТРОМ

*В.Н. Яхрюшин, О.Н. Полянская, А.О. Епифанов, Ф.А. Андреев  
ФГБУ «НПО «Тайфун», г. Обнинск, Россия*

Для отбора проб атмосферных аэрозолей с целью определения радиоактивного загрязнения приземного слоя атмосферы применяются воздухо-фильтрующие установки типа УВФ-2 (далее УВФ) [1]. Отбор проб атмосферных аэрозолей происходит в результате фильтрации приземного воздуха через систему фильтров: ФПП-15-1,5 и СФМ-И. С целью получения оперативной информации о радиоактивном загрязнении накопленных на фильтрах аэрозолей, внутри воздухозаборника под пакетом фильтров установлены датчики  $\beta$ - и  $\gamma$ -излучения (БДПБ-01 и БДКГ-04).

Как показано в работах [1, 2], система действительно с точностью до 3 мин дает информацию о времени прихода радиоактивного воздуха в район расположения станции наблюдения и данные о времени его прохождения, но только, если эта ситуация имеет характер выброса. В ситуациях, когда воздух с низкой концентрацией изотопов поступает в район станции продолжительный период (от нескольких часов до суток) система не регистрирует ни его время прихода, ни продолжительность.

С целью получения более точной информации о времени и интенсивности поступления гамма-излучающих радионуклидов, оценки возможности их идентификации в процессе отбора, в октябре 2024 г. над пакетом фильтров УВФ был установлен сцинтилляционный блок детектирования БДКГ-211М, который регистрировал спектры с дискретностью 30 мин и с помощью программного обеспечения «SSRM» передавал их на дистанционный компьютер. Для определения фонового спектра в районе станции наблюдения были серийно зарегистрированы спектры рядом с УВФ, внутри домика с УВФ и снаружи.

Из анализа фоновых спектров (рис.1) видно, насколько эффективнее происходит регистрация пиков продуктов распада

радона над фильтрами, а регистрация пика изотопа  $^{40}\text{K}$  практически не изменилась.

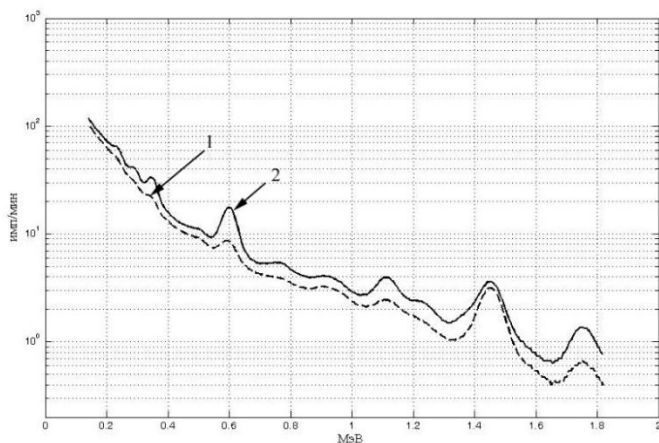


Рис. 1. Результаты анализа фоновых спектров над фильтрами УВФ-2 (2) и полученных в домике с УВФ-2 (1).

Опытная эксплуатация спектрометра БДКГ-211М в октябре 2024 г. над фильтром УВФ выявила все поступления  $^{131}\text{I}$  в приземный слой атмосферы г. Обнинска, а 13 октября зарегистрировала изменение характера поступления естественного изотопа  $^7\text{Be}$ .

### *Литература*

1 Волокитин А.А., Полянская О.Н., Яхрюшин В.Н. Обнаружение техногенных радиоактивных выбросов в приземном слое атмосферы при работе УВФ-2 в режиме реального времени. / Сборник трудов международной научно-практической конференции «Радиоактивность после ядерных взрывов и аварий: Последствия и пути преодоления». – Обнинск, 2017. – С. 84-92.

2 Полянская О.Н., Яхрюшин В.Н. Применение метода эмпирической модовой декомпозиции для выделения трендовой составляющей рядов данных радиационного мониторинга. / Международная конференция «60 лет общегосударственной радиометрической службе России»: тезисы докладов. – Обнинск, 2021. – С. 20.

## **СЕКЦИЯ 4. БИОТЕСТИРОВАНИЕ И БИОИНДИКАЦИЯ ОБЪЕКТОВ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ**

### **РЕЗУЛЬТАТЫ МОНИТОРИНГА И ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ВОДОЕМОВ- ОХЛАДИТЕЛЕЙ КАЛИНИНСКОЙ АЭС**

*С.Д. Андрейчук, В.С. Пятов, В.С. Тигай, А.В. Точиленко,  
А.А. Чумаков, А.Д. Шерова*

*Обнинский институт атомной энергетики – филиал  
Национального исследовательского ядерного университета  
«МИФИ», г. Обнинск, Россия*

Для исследования механизмов появления биопомех в системе технического водоснабжения АЭС необходим комплексный подход к изучению проблемы, включающий постоянный мониторинг за состоянием видового разнообразия, воды, биологических экосистем и их функционирования для оценки воздействия АЭС на систему водоемов-охладителей и анализ условий обитания и распределения организмов-обработателей для изучения механизмов образования биопомех в системе АЭС.

В июле 2023 и 2024 гг. был проведен ряд исследований экологического состояния системы водоемов-охладителей Калининской АЭС в рамках биомониторинговых экспедиций, в результате которых были сделаны выводы о трофности, видовом биообразнообразии, сапробности озёр Удомля и Песьво, входящих в природно-техногенную систему «КлнАЭС – водоем-охладитель». Также была установлена возможность использования о. Сьуча в качестве контрольного водоема.

Сапробионты могут служить индикаторами загрязнения или разных степеней разложения органических веществ в водоеме [1]. По результатам исследований за два года о. Удомля, о. Песьво и о. Сьуча относятся к  $\beta$ -мезосапробным водоемам. В озерах преобладают диатомовые и эвгленовые виды: *Nitzschia hol-satica*, *Neidium productum*, *Diatoma hiemale*, *Diatoma vulgare*. Индекс сапробности о. Удомля находится в пределах от 1,77 до

2,07. Для о. Песьво индекс сапробности составил 2,15. Полученный индекс сапробности соответствует 3 классу качества воды (умеренно загрязненная). Водоёмы являются экологически полноценными. Умеренное видовое разнообразие озер свидетельствует о стабильности их среды.

В исследуемых водоемах созданы оптимальные условия для формирования и развития бактериально-альгологической пленки, на которой и развиваются велигеры *Dreissena polymorpha*. Были выявлены 4 доминирующих вида водорослей, играющих ключевую роль в формировании биопленки: *Chlamydomonas simplex*, *Diatoma heimale*, *Oslillatoria limosa*, *Oscillatoria limnetica*.

По данным, полученным в 2024 г., о. Сьюча может быть использовано в качестве контрольного для системы водоемов Калининской АЭС, так как этот водоем не подвержен заселению *Dreissena polymorpha* и обладает характеристиками переходного типа между дистрофным и олиготрофным водоемом и также относится к Балтийскому бассейну. Все эти условия делают данный водный объект удовлетворительным для использования его как водоема-охладителя и уменьшают риски биозагрязнения АЭС.

Второй частью исследования в плане проведения биомониторинговой экспедиции было исследование популяции биообработателей дрейссен (*Dreissena polymorpha*), являющихся основным источником биологических помех на Калининской АЭС. Предпочтительным грунтом для прикрепления моллюсков являются крупные камни, в пробах грунта глинистого типа с примесью песка живых особей не обнаружено.

По результатам проведенных исследований водоемы-охладители Калининской АЭС являются экологически полноценными, а умеренное видовое разнообразие свидетельствует об устойчивости биоценоза и оптимальном функционировании экосистемы водоема в условиях антропогенной нагрузки и техногенного изменения температурного режима. В исследуемых озерах-охладителях созданы оптимальные условия для развития вида-обработателя *Dreissena polymorpha*.

## *Литература*

1 Мелехова О.П. и др. Биологический контроль окружающей среды: биоиндикация и биотестирование: учеб. пособие для студ. высш. учеб. Заведений. – М.: Издательский центр «Академия», 2007. – 288 с.

### **ИЗУЧЕНИЕ ДИНАМИКИ ФОРМИРОВАНИЯ ПЕРИФИТОННОГО СООБЩЕСТВА В РАМКАХ МОДЕЛЬНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА**

*И.М. Андрианова, М.М. Рассказова, В.Р. Кияева,  
В.С. Корнюшко, К.Н. Давыдова*

*Обнинский институт атомной энергетики – филиал  
Национального исследовательского ядерного университета  
«МИФИ», г. Обнинск, Россия*

Для охлаждения оборудования, отвода тепла от реактора и других процессов используют системы технического водоснабжения (СТВ) атомных электростанций (АЭС). Данные системы могут быть подвержены различным проблемам, включая биологические помехи (биопомехи). Образование биопомех происходит в результате заселения и развития живых организмов (биообратателей) в СТВ [1]. Биологическая пленка – это скопление микроорганизмов, связанных между собой клетками, которые окружены матриксом в виде слизи. Такие пленки являются субстратом для прикрепления водорослей, губок, моллюсков, мшанок, мхов и других живых микроорганизмов [2].

**Целью работы** является изучение динамики формирования перифитонного сообщества в рамках модельного эксперимента.

На базе ИАТЭ НИЯУ МИФИ была создана установка для изучения видового состава биопленки и времени ее появления. Установка включает в себя систему из двух аквариумов, имитирующих водоем-охладитель и систему трубок конденсатора АЭС. В аквариумах поддерживалась определенная температура воды в диапазоне от +18 °С до +23 °С.

По данным исследования, индекс сапробности воды, протекающей в трубках модели конденсатора, находится в диапазоне от 2,34 до 2,82, что характеризует  $\beta$ -мезосапробный тип [3]. Первые представители биообрастания были зарегистрированы на 2-ой неделе эксперимента. Доминирующими видами являются *Acineria incurvata*, *Chlorella vulgaris*, *Diffflugia oblonga*, *Chlorococcum infusionum*. Данные виды отличаются устойчивостью к резким перепадам температур, способностью расти в условиях минимального света.

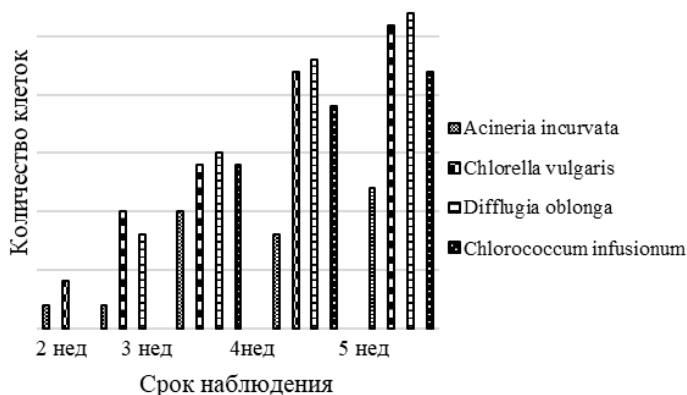


Рис. 1. Результаты количественного и качественного анализа.

На рис. 1 отображен рост клеток в зависимости от срока наблюдения. Важно отметить, что значимое возрастание количества особей внутри трубок модели конденсатора произошло на 4-ой неделе эксперимента. Также обнаружено, что на протяжении всего эксперимента доминантные виды не сменяются и их количество увеличивается с каждой последующей неделей.

### *Литература*

1 Горская О.И. Биолого-химический мониторинг Ростовской АЭС как эффективный инструмент предупреждения биологических помех в системах циркуляционного и технического водоснабжения // Глобальная ядерная безопасность. – 2022. – №4. – С. 6-14.

2 Кацман Е.А. Развитие высшей водной растительности в водоемах-охладителях АЭС: дисс. ... канд. биол. наук: 03.00.18. – Москва, 2004. – 227 с.

3 Мелехова О.П. и др. Биологический контроль окружающей среды: биоиндикация и биотестирование: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений – М.: Издательский центр «Академия», 2007 – 288 с.

## **ВЛИЯНИЕ ДИНАМИКИ ГИДРОКЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ НА ОБЪЕКТЫ БИОИНДИКАЦИОННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

*Е.А. Батраченко*

*ФГБОУ ВО Курский государственный университет,  
г. Курск, Россия*

Биоиндикационные методы оценки являются перспективными для оценки экологической обстановки в антропогенных и природно-антропогенных системах. Сложность биодиагностики прямого и косвенного антропогенного влияния на природные объекты объясняется пробелами в исследовании взаимодействия с абиотическими ландшафтными факторами. Анализ литературных данных показал роль гидрометеорологических показателей и их временную и пространственную динамику (интенсивность и продолжительность снеготаяния, половодья, осадков) организмов-биоиндикаторов [2,3]. В трудах отечественных и зарубежных авторов можно отметить недостаточность изучения влияния динамики климатических и гидрологических условий на биоиндикационные показатели. Диагностика степени негативной трансформации природных объектов с целью нормирования воздействия и прогнозирования экологических рисков должна включать комплексную оценку, включающую исследование взаимодействия абиотических и антропогенных факторов и эффектов их действия на биоту.

Существующие тенденции к повышению температуры воздуха и воды обуславливают целесообразность разработки пространственно-временных моделей, позволяющих прогнозиро-

вать экологическое состояние компонентов природной среды в соответствии с гидроклиматическими условиями. Выявление и моделирование критических ситуаций, связанных с антропогенным воздействием водных объектов, будет неполным без учета влияния, например температурных условий на функционирование видов-биоиндикаторов. Например, наряду с антропогенным воздействием, колебание теплового режима водных объектов приводит к трансформации циклов биогенных элементов, уменьшению прозрачности, изменению кислородного режима, увеличению содержания растворенного органического вещества. Результаты исследования состояния компонентов городской среды методами лишеноиндикации за период 2012-2023 гг. [1] выявили корреляцию уровня реакции биоты на степень загрязнения в разных метеорологических условиях. Установлено увеличение площади проективного покрытия *Xanthoria Xanthoria parietina* и *Parmelia sulcata* в условиях более увлажненных периодов и сокращение в засушливые, что естественно, учитывая биоэкологические особенности данной группы организмов. В то же время отмечен их активный рост в периоды более интенсивного увлажнения при условии увеличения антропогенной нагрузки и загрязнении атмосферного воздуха. Подобные исследования требуют дальнейшей интерпретации с использованием регрессионного анализа влияния антропогенных факторов загрязнения с учетом абиотических ландшафтных условий.

### *Литература*

1 Батраченко Е.А. Использование биоиндикационных методов для оценки комфортности городской среды / Техногенные системы и экологический риск: Тезисы докладов V Международной (XVIII Региональной) научной конференции, Обнинск, 21–22 апреля 2022 года / Под общей редакцией А.А. Удаловой. – Обнинск: ИАТЭ НИЯУ МИФИ, 2022. – С. 162-163.

2 Кузнецова И.А., Воробьева В., Чернова Г.И. и др. Региональные особенности гигиенической оценки биологического загрязнения поверхностных вод // Гигиена и санитария. – 2011. – №1. – С. 34-37.

З Руднев В.В., Кумани М.В. Динамика изменения сапробности водных объектов Курской области // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология. – 2023. – № 1. – С. 122-134. <https://doi.org/10.17308/geo/1609-0683/2023/1/122-134>

## **ДЫМ ОТ ВЫХЛОПНЫХ ГАЗОВ КАК УГРОЗА ПОЧВЕННОЙ СРЕДЕ**

*А.И. Бондарева, Н.Д. Коваленко  
Академия биологии и биотехнологии ЮФУ,  
г. Ростов-на-Дону, Россия*

Увеличение числа автомобилей в городских условиях приводит к загрязнению почв, особенно в местах, расположенных вблизи автострад с высокой интенсивностью движения. Ввиду растущего числа автомобилей и интенсивности движения необходимо обратить внимание на деградацию почв под воздействием выхлопных газов автотранспорта [1]. Несмотря на то, что почвы способны к самовосстановлению, этот процесс может быть длительным. Деградация почв под воздействием выхлопных газов происходит из-за накопления в них тяжелых металлов и других загрязняющих веществ [2]. Одним из важных индикаторов здоровья почвы является активность каталазы, фермента, разрушающего перекись водорода, которая образуется в результате протекающих в почве реакций. В связи с этим, цель данного исследования – выявить изменения активности каталазы после воздействия выхлопных газов в модельном эксперименте.

Продолжительность воздействия дыма на почву от действия автотранспорта составила 60 мин. В результате опыта было установлено снижение активности почвенной каталазы на 8%. Изменения активности гидролаз (инвертаза и фосфатаза) выявить не удалось. Предположительно при увеличении времени задымления эффект газов будет увеличиваться. Ранее было установлено, что загрязнения почвы выхлопными газами, выделяющиеся автотранспортом, оказывают негативное влияние на активность почвенных микроорганизмов, а также биохимиче-

ские процессы. Исследования показывают, что повышенный уровень загрязняющих веществ и угарного газа приводит к ингибированию ферментативных реакций, включая каталазаобразование [3].

Время воздействия выхлопных газов на почвенную среду имеет критическое значение для ее экосистемных функций [4]. Снижение активности каталазы, выявленное в ходе исследования, свидетельствует о нарушениях, связанных с окислительно-восстановительными процессами, и указывает на критическое состояние почвы, а также затрудняет разложение органических веществ и биодegradацию [5]. Согласно исследованиям, проводимым в различных регионах России, повреждения почвенного микробиома и снижение активности ключевых ферментов, таких как каталаза, напрямую связаны с увеличением концентраций тяжелых металлов, углеводов и других токсичных веществ в почве. В целом активность каталазы является одним из наиболее чувствительных показателей и широко используется при оценке воздействия различных факторов воздействия на почвы [6-9]. Однако изменение в 8% не является критическим и сильного эффекта на почву не производит.

### *Литература*

1 Зайцева Т.А. и др. Оценка влияния выбросов автотранспорта на микрофлору экосистемы почвы // *Фундаментальные исследования*. – 2014. – № 5-1. – С. 23-28

2 Головатый С.Е. и др. Кадмий, цинк и свинец в почвах в зоне воздействия промышленных предприятий // *Журнал Белорусского государственного университета. Экология*. – 2017. – № 4. – С. 70-80.

3 Silva C.A. et al. Effects of automobile emissions on soil biochemical properties: A review // *Journal of Environmental Management*. – 2016. – V. – 169. – P. 36-45.

4 Mao Y., Zhao C., Wang C. Long-term effects of environmental pollution on soil enzyme activities: A review // *Soil and Tillage Research*. – 2021. – V. 212. 105080.

5 Соломонова Т.П. Ферментативные реакции в почвах, загрязненных выхлопными газами // Биология и экология почв. – 2019. – Вып. 12(3). – С. 221-230.

6 Нижельский М.С. и др. Использование активности ферментов для диагностики последствий фумигации дымом почв [Электрон. ресурс] // АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал. – 2021. – №4. –Режим доступа: [http://agroecoinfo.ru/STATYI/2021/4/st\\_426.pdf](http://agroecoinfo.ru/STATYI/2021/4/st_426.pdf).

7 Приходько В.Д. и др. Изменение активности ферментов в постпирогенных почвах (физический модельный эксперимент) // Почвоведение. – 2023. – № 1. – С. 118-128.

8 Nizhelskiy M. et al. Assessment of the impact of smoke from thermal destruction of materials of different origins on soil health // Environmental Monitoring and Assessment. – 2024. – V. 196. – No. 11. – P. 1060.

9 Казеев К.Ш. и др. Оценка влияния разных факторов пирогенного воздействия на биологические свойства чернозема // Почвоведение. – 2020. – № 11. – С. 1372-1382.

## **ВЛИЯНИЕ ХРОНИЧЕСКОГО РАДИАЦИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА СЕМЕННОЕ ПОТОМСТВО СОСНЫ**

*Д.В.Васильев, С.А. Гераськин  
НИЦ «Курчатовский институт» - ВНИИРАЭ,  
г. Обнинск, Россия*

Проведены исследования семенного потомства популяций сосны с территорий, имеющих разный уровень и спектр антропогенного загрязнения в Ленинградской и Брянской областях, Полесском государственном радиационно-экологическом заповеднике (ПГРЭЗ).

Полученные результаты показали, что у импактных популяций сосны во всех исследуемых регионах с антропогенным загрязнением частота цитогенетических нарушений в клетках меристем статистически значимо выше, чем у контрольных популяций. Но если в ПГРЭЗ и Брянской области, высокая частота цитогенетических аномалий обусловлена радиоактивным за-

грязнением, то в Ленинградской области такой зависимости не обнаружено, следовательно, на эти популяции оказывают значительное влияние факторы иной природы, о которой можно судить по спектру цитогенетических нарушений. В Ленинградской области в клетках проростков семян сосны обнаружена высокая, по сравнению с контролем, частота нарушений митоза, что считается характерным для действия тяжелых металлов [1]. Данные о химическом загрязнении исследуемого района (в приземном воздухе и почвах регистрировались высокие концентрации хрома, меди, свинца) в совокупности с данными дозиметрического контроля также подтвердили факт влияния тяжелых металлов на растения.

В условиях антропогенного воздействия особую важность приобретает оценка адаптивных возможностей природных популяций. Для определения наличия эффектов адаптации к неблагоприятным факторам проводилось дополнительное провокационное острое облучение семян дозой 15 Гр. Это дало возможность выявить у импактных растений из Ленинградской области устойчивый в ряде лет эффект повышенной радиорезистентности семян, что свидетельствует о наличии адаптивной реакции на неблагоприятные факторы. У растений из Брянской области и ПГРЭС, проведенные нами эксперименты с дополнительным облучением семян не выявили устойчиво воспроизводимый эффект повышенной радиорезистентности.

Проведение исследований в Ленинградской и Брянской областях и ПГРЭС в течение последовательного ряда лет позволило проследить динамику и направленность изменения уровня цитогенетической поврежденности у проростков семян исследуемых популяций. Регрессионный анализ выявил у импактных популяций в Ленинградской области увеличение частоты цитогенетических нарушений со временем. В Брянской области у растений с импактных участков имеется тенденция к снижению частоты цитогенетических аномалий. В ПГРЭС значимых изменений за 3 года исследований нет.

В ряде лет проводились исследования морфологических характеристик и способности семян к прорастанию. Установлено, что в районах, где после аварии на ЧАЭС сохраняются высокие

уровни радиоактивного загрязнения может наблюдаться статистически значимое снижение энергии прорастания семенного потомства и увеличение числа abortивных семян по сравнению с контролем, но в районах с относительно небольшими уровнями радиоактивного загрязнения на эти показатели более значимое влияние оказывают погодные условия.

### *Литература*

1 Блинова Л.Д. Радиозэкологический мониторинг атмосферы и гидросферы в районе расположения объектов ядерного комплекса (на примере города Сосновый Бор). Автореферат дисс. ... канд. физ.-матем. наук. – Обнинск, 1998. – 23 с.

## **ВЛИЯНИЕ ВЫХЛОПНЫХ ГАЗОВ АВТОТРАНСПОРТА НА РАСТЕНИЯ**

*Н.Д. Коваленко, А.И. Бондарева  
Академия биологии и биотехнологии ЮФУ,  
г. Ростов-на-Дону, Россия*

Негативное воздействие автомобильных выбросов на качество воздуха является серьезной проблемой во всем мире. Быстрый рост численности населения и повсеместное использование автотранспорта усугубляют ухудшение качества воздуха, что впоследствии сказывается не только на здоровье человека, но и на растительном покрове вследствие осаждения токсичных веществ. Выхлопные газы автотранспортных средств становятся одним из основных источников РМ 2,5 [1]. Наряду с природными и антропогенными пожарами, выбросы газов автотранспорта вносят основной вклад в выделения оксидов углерода и азота. Ранее были рассмотрены концентрации данных веществ в результате действия пожаров [2, 3]. Было установлено, что концентрация оксида углерода превышала в 714 раз допустимую максимально разовую концентрацию и в 1190 раз среднесуточную [2], что потенциально может влиять на растения. Аналогичным образом токсичные газы от действия транспорта могут влиять на растительные сообщества. В составе выбросов при-

существуют такие вещества, как оксиды и диоксиды азота и углерода, летучие органические соединения, твердые частицы, диоксид серы, полициклические ароматические углеводороды.

Эти вещества способны проникать в ткани растений через отверстие в листьях, нарушать в них процессы фотосинтеза, респирации и обмена веществ [4]. Так, диоксид серы и оксиды азота приводят к появлению на листьях пятен, хлорозу (пожелтению) и некрозу (гибели тканей) [5]. Это снижает способность растений к фотосинтезу и ухудшает их рост. Тяжелые металлы и другие загрязнители из выхлопных газов оседают на почве, накапливаясь в ней. Это может привести к изменению pH почвы, ухудшению её структуры и снижению доступности питательных веществ для растений. Тяжелые металлы (например, свинец, кадмий) из выхлопных газов накапливаются в тканях растений, что угнетает их рост и делает опасными для употребления [6]. Летучие органические соединения, такие как бензол и формальдегид, могут замедлять рост растений, нарушая их метаболизм [7]. Продолжительное действие отработанных газов приводит к хроническому стрессу у растений, что снижает их устойчивость к болезням и вредителям [8]. Таким образом, выхлопные газы автотранспорта оказывают негативное воздействие на растения.

### *Литература*

1 Shi J. et.al. Chemical characteristics of PM2.5 emitted from motor vehicles exhaust under the plateau with low oxygen content // Atmospheric Environment. – 2023. – V. 314. – 120053.

2 Нижельский М.С. и др. Токсичность дыма для биоты и биологической активности почв при моделировании пожаров // Поволжский экологический журнал. – 2023. – № 2. – С. 196-213.

3 Nizhelskiy M. et al. Assessment of the impact of smoke from thermal destruction of materials of different origins on soil health // Environmental Monitoring and Assessment. – 2024. – V. 196. – No. 11. – P. 1060.

4 Ainsworth E.A. Understanding and improving global crop response to ozone pollution // The Plant journal : for cell and molecular biology. – 2020. – V. 90(5). – P. 886-897.

5 Mills G. et.al. Closing the global ozone yield gap: Quantification and cobenefits for multistress tolerance // *Global change biology*. – 2018. – V. 24(10). – P. 4869-4893.

6 Shahid M. et al. Foliar heavy metal uptake, toxicity and detoxification in plants: A comparison of foliar and root metal uptake // *Journal of hazardous materials*. – 2017. – V. 325. – P. 36-58.

7 Kim K.J. et al. Phytoremediation of volatile organic compounds by indoor plants: a review // *Horticulture, Environment, and Biotechnology*. – 2018. – V. 59. – P. 143-157.

8 Agathokleous E. et al. Ozone affects plant, insect, and soil microbial communities: A threat to terrestrial ecosystems and biodiversity // *Science Advances*. – 2020. – V. 6(33).

## **О ВОЗМОЖНЫХ ОТДАЛЕННЫХ ГЕНЕТИЧЕСКИХ ПОСЛЕДСТВИХ РАДИАЦИОННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ СРЕДЫ НА ПРИМЕРЕ ПОЛЕВКИ-ЭКОНОМКИ**

*Е.С. Левенкова*

*Институт проблем экологии и эволюции  
Российской академии наук, г. Москва, Россия*

При исследовании отдаленных генетических последствий для млекопитающих влияния малых доз радиации вследствие ядерных инцидентов середины прошлого века, особое внимание обратили на случаи наследуемых изменений генома у представителей серых полевок *Microtus*: так, у двух особей *M. rosiaemeridionalis*, обитающих в районе Тоцкого следа, обнаружили необычную для этого вида мутацию в X-хромосоме [1]; у двух самок *M. arvalis* из зоны влияния Кыштымской аварии выявили наследуемую хромосомную нестабильность, что могло быть индикатором мутагенного воздействия на предшествующие поколения [2].

Мы исследовали митотические и мейотические хромосомы у 20 особей полевки-экономки *M. oeconomus* ( $2n=30$ ,  $NF=60$ ) из Гомельской области Беларуси в 2012-2014 гг. У 18 из них обнаружили стандартный кариотип, у других самца и самки - изменение диплоидного числа  $2n = 31-32$  из-за диссоциации одного

или двух некрупных метацентриков, мозаицизм, анеуплоидию. У 4-х особей выявили несбалансированную aberrацию средних по величине хромосом, связанную с высоким уровнем клеток с множественными структурными нарушениями и полиплоидией. Исследование мужского мейоза у таких особей подтвердило предположение о наследовании этих аномалий, обнаружили aberrантные, анеуплоидные, полиплоидные сперматогонии и сперматоциты (рис.1). Выявление мутантных кариотипов у полевки-экономки на этих территориях спустя более чем три десятилетия после Чернобыльской аварии может быть связано как с миграцией из импактных зон, так и с накоплением рецессивных точковых мутаций и одновременно с процессами адаптации к условиям радиационного фона. Возможно, после 30-летнего периода накопление генетических изменений в поколениях полевков преодолевает качественный барьер, становится видимым для цитогенетического анализа. Это повод задуматься о том, что может происходить в геноме человека спустя примерно 80 поколений после масштабных ядерных инцидентов.

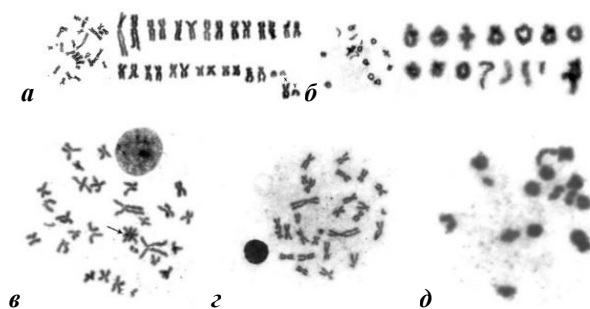


Рис.1. Мейоз самца полевки-экономки *M. oeconomus*: а-метафазная сперматогонияльная клетка и кариотип,  $2n=30$ ; б – сперматоцит на стадии диакинез, в норме 15 бивалентов; в – сперматогония с aberrантными хромосомами (стрелка); г – с элиминацией таких хромосом; д – сперматоцит на стадии диакинез, 14 бивалентов.

### *Литература*

1 Васильев А.Г., Боев В. М., Гилева Э.А. и др. Отдаленные эколого-генетические последствия радиационных инцидентов:

Тоцкий ядерный взрыв (Оренбургская область, 1954 г.) – 2 изд., дополи. – Екатеринбург: Изд-во «Екатеринбург», 2000. – 288 с.

2 Гилева Э.А., Любашевский Н.М., Стариченко В.И. и др. Наследуемая хромосомная нестабильность у обыкновенной полевки (*Microtus arvalis*) из района Кыштымской ядерной аварии – факт или гипотеза? // Генетика. – 1996. – Т. 32. – №1. – С. 114–119.

## **СРАВНЕНИЕ АКТИВНОСТИ КИСЛОЙ И ЩЕЛОЧНОЙ ФОСФАТАЗЫ НЕФТЕЗАГРЯЗНЕННОГО ЧЕРНОЗЕМА ПОСЛЕ РЕМЕДИАЦИИ**

*Т.В. Минникова*

*Академия биологии и биотехнологии ЮФУ,  
г. Ростов-на-Дону, Россия*

Ремедиация почв, загрязненных нефтью, является приоритетной проблемой и требует незамедлительного решения. Поскольку при внесении нефти в почву как источника углерода (С) нарушается соотношение не только между С:N, но и С:P, С:S, С:O, то активность почвенных ферментов является чувствительным индикатором экологического состояния почвы [1-2].

Цель – сравнить активности кислой и щелочной фосфатазы нефтезагрязненного чернозема после ремедиации биочаром, гуматом натрия и микробиологическим препаратом. Объектами исследования выбран чернозем обыкновенный карбонатный. Место отбора образцов почв расположено на пашне Ботанического сада ЮФУ, г. Ростов-на-Дону, Ростовская область. В почву вносили нефть объемной концентрации 5% от массы почвы. Для ремедиации в загрязненную почву вносили биочар, гумат натрия и микробный препарат «Ленойл». Методы внесения включали самостоятельное внесение каждого ремедианта, совместное и последовательное внесение ремедиантов. По истечении 60 сут. от начала эксперимента анализировали активность кислой и щелочной фосфатазы по Табатабай и Бремнеру (1969).

При самостоятельном внесении ремедиантов установлена стимуляция активности щелочной фосфатазы после внесения

биочара на 12%, кислой фосфатазы после внесения гумата натрия и «Ленойл» на 19 и 17% соответственно. При совместном внесении биочара и гумата натрия активность кислой фосфатазы была простимулирована на 19%, гумата калия и «Ленойл» - на 11%, биочара, гумата натрия и «Ленойл» - 20% соответственно. Активность щелочной фосфатазы при совместном внесении биочара и «Ленойл» была простимулирована на 11%, гумата калия и «Ленойл» - на 17%, биочара, гумата натрия и «Ленойл» - 15% соответственно. При последовательном внесении к биочару раствора «Ленойл», спустя 2 недели после внесения биочара, установлена стимуляция кислой и щелочной фосфатазы на 17 и 21% соответственно. При последовательном внесении к биочару раствора гумата калия, спустя 2 недели после внесения биочара, установлена стимуляция щелочной фосфатазы на 17% а активность кислой фосфатазы достоверно не изменялась. При последовательном внесении к биочару раствора «Ленойл», спустя 2 недели после внесения биочара, и гумата калия, спустя 2 недели после внесения «Ленойл», установлена стимуляция кислой и щелочной фосфатазы на – 35 и 15% соответственно. Среди ремедиантов наибольшее стимулирующее воздействие на активность ферментов при сочетании с гуматом натрия и «Ленойл» оказывал биочар, а самостоятельно на активность только кислой фосфатазы - гумат натрия и «Ленойл». Экологическая эффективность биочара по воздействию на биологические показатели была равнее изучена для разных типов почв при загрязнении нефтью [3]. Таким образом, было установлено, что активность кислой фосфатазы более применима при самостоятельном внесении ремедиантов в нефтезагрязненную почву, а щелочной фосфатазы – при совместном и последовательном внесении ремедиантов в нефтезагрязненную почву.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке проекта Программы стратегического академического лидерства Южного федерального университета («Приоритет 2030») (№ СП-12-23-01).*

## *Литература*

1 Minnikova T., Kolesnikov S. Assessment of L-cysteine reductase activity as an indicator of soil health in different climatic zones after pollution by oil // Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology. – 2025. – No 114. – P. 39. <https://doi.org/10.1007/s00128-025-04010-3>

2 Revina S., Minnikova T., Ruseva A. et al. Catalase activity as a diagnostic indicator of the health of oil-contaminated soils after remediation // Environmental Monitoring and Assessment. – 2024. – No 196. – P. 449 <https://doi.org/10.1007/s10661-024-12604-3>

3 Минникова Т.В., Колесников С.И. Экологическая оценка применения биочара для ремедиации нефтезагрязненных почв при различном хозяйственном использовании // Записки Горного института. – 2025. – Т. 271. – № 16293. – С. 84-94.

## **ИЗУЧЕНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ЗОЛОШЛАКОВЫХ ОТХОДОВ НА БИОЛОГИЧЕСКИЕ ТЕСТ-ОБЪЕКТЫ**

*Т.А.Мусихина*

*Вятский государственный университет, г. Киров, Россия*

Исследование воздействия крупнотоннажных отходов на биологические объекты является актуальным, поскольку государственная экологическая политика и приоритетные направления утилизации промышленных отходов направлены, в том числе, на их применение в дорожном строительстве. Эти положения закреплены в современных программных и нормативных документах, направленных на усиление работы по ликвидации накопленного вреда окружающей среде при хранении и захоронении промышленных отходов. Так, например, распоряжением Правительства Российской Федерации от 28.08.2024 № 2330-р закреплен перечень видов работ и услуг, выполнение которых осуществляется с обязательным использованием определенной доли вторичного сырья в их составе. К таким работам отнесено дорожное строительство с применением золы-уноса и (или) золошлаковой смеси. Поэтому оценка влияния на природные сре-

ды золошлаковых отходов (ЗШО), которые предписано максимально использовать в строительстве, представляется весьма актуальной.

В работе изучалось влияние ЗШО предприятий по производству тепла и энергии ТЭЦ-3 и ТЭЦ-4, расположенных в Кировской области на тест-объекты разных отделов зелёных растений – семена сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris*) и горчицы сарептской (*Brassicajuncea*). Оценка токсичности выполнялась в соответствии с научными разработками и нормативами в сфере биотестирования [1]. Контроль проводился с использованием дистиллированной воды.

Продолжительность испытания семян горчицы сарептской – 72 часа, семян сосны обыкновенной – 76 дней.

Результаты испытания (таблица 1) показали, что:

1) всхожесть семян горчицы сарептской при воздействии водной вытяжки ЗШО ТЭЦ-4 составила 96,4%, а при воздействии водной вытяжки ЗШО ТЭЦ-3 - 100%;

2) при воздействии водной вытяжки ЗШО ТЭЦ-4 всхожесть семян сосны обыкновенной составила 53%, а при воздействии водной вытяжки ЗШО ТЭЦ-3 - 72%;

3) при обработке дистиллированной водой горчицы сарептской всхожесть составила 100%, а семян сосны обыкновенной - 79%.

Таблица 1  
Изучение всхожести семян при обработке водной вытяжкой крупнотоннажных отходов ЗШО

| Вид отхода | Всхожесть при обработке водной вытяжкой семян |  |
|------------|---|--|
|            | горчицы сарептской ( <i>Brassicajuncea</i> )  | сосны обыкновенной ( <i>Pinus sylvestris</i> ) |
| ЗШО ТЭЦ-4  | 96,4  | 54   |
| ЗШО ТЭЦ-3  | 100   | 72   |

Таким образом, относительно всхожести:

– семян горчицы сарептской (*Brassicajuncea*) водная вытяжка ЗШО ТЭЦ-3 имеет лучшие показатели, чем водная вытяжка

ЗШО ТЭЦ-4. При этом воздействие отходов ТЭЦ-4 имеет статистически значимое снижение всхожести - 96,4%;

– семян сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris*) наблюдается аналогичная тенденция. Показатели всхожести имеют значения соответственно 72% и 54%, однако при этом следует учесть, что всхожесть при поливе дистиллированной водой также имеет более низкое значение – 79%.

Полученные результаты во многом говорят о возможности использования в Кировской области ЗШО ТЭЦ-4 и ЗШО ТЭЦ-3 в автодорожном строительстве, при этом предпочтительнее использовать ЗШО ТЭЦ-3.

### *Литература*

1 Лисовицкая О.В., Терехова В.А. Фитотестирование: основные подходы, проблемы лабораторного метода и современные решения // Доклады по экологическому почвоведению. – 2010. – Т. 1 – № 13. – С. 1-18.

## **ПОСЛЕДСТВИЯ ВОЗДЕЙСТВИЯ ВЫБРОСОВ ОТРАБОТАННОГО ТОПЛИВА ОТ АВТОТРАНСПОРТА НА КАЧЕСТВО ПОЧВЫ**

*М.С. Нижельский*

*Академия биологии и биотехнологии им. Д.И. Ивановского  
ЮФУ, г. Ростов-на-Дону, Россия*

Известно, что выхлопные газы транспортных средств являются одним из основных источников загрязнения воздуха, оказывающих значительное влияние на окружающую среду и здоровье человека. Газы содержат оксиды углерода, оксиды азота, твердые частицы, летучие органические соединения и др. Установлено, что вещества оседают на листья, влияют на транспирацию. Это в конечном счете приводит к снижению фотосинтеза и влиянию на рост растений и их производительность. В составе газов имеются тяжелые металлы, они могут влиять на рост и морфологические характеристики растений [1]. Нехватка в почве питательных веществ ведет к ухудшению качества растений,

хлорозу [2]. Произрастающие на почве, загрязненной тяжелыми металлами, растения способны оказывать сильное негативное воздействие на организм человека. Автомобильные выхлопные газы несут в себе большое количество свинца, который в совокупности с другими металлами попадает в почву, поверхностные и грунтовые воды и поглощается растениями, которые затем используются и потребляются человеком.

Также в состав выхлопных газов входят многие полициклические ароматические углеводороды (ПАУ). Они являются высокотоксичными органическими соединениями, которые могут вызывать рак легких и другие серьезные заболевания [3]. ПАУ свойственно аккумуляирование в почвах вследствие осаждения и таким образом они могут оказывать воздействие на человека, животных через пищевую цепочку.

В связи с высокой токсичностью газов автотранспорта необходимо проводить мониторинг почв с использованием различных биоиндикаторов. На данный момент, при оценке загрязнения почвы от различных источников используют физико-химические, биохимические, микробиологические другие показатели.

Однако, к газообразным веществам наиболее чувствительны ферменты класса оксидоредуктаз (каталаза, пероксидаза), почвенные бактерии и грибы [4, 5]. Почвенные микроорганизмы являются одним из важных компонентов почвы, управляющих многими почвенными процессами. Например, разложение и минерализация, круговорот питательных веществ и деградация загрязняющих веществ [6]. Почвенные ферменты выполняют роль ключевых звеньев в работе экосистем и сохранении плодородия почвы. Они катализируют множество биохимических реакций, таких как гидролиз, окисление и восстановление, что поддерживает жизнедеятельность почвенных микроорганизмов и растений. Поэтому, при изучении последствий для почв от осаждения выхлопных газов в первую очередь стоит анализировать микробиологические изменения и биохимические.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках государ-*

ственного задания в сфере научной деятельности (№ FENW-2023-0008).

### *Литература*

1 Muthu M., Gopal J. et al. Reviewing the impact of vehicular pollution on road-side plants-future perspectives // Sustainability. – 2021. – V. 13(9). – P. 5114.

2 Paul S., Biswas A. et al. Impact of automobile induced air pollution on the quality of Psidium guajava fruit // Biocatalysis and Agricultural Biotechnology. – 2024. – V. 58. – 103230.

3 Mallah M.A., Li C.X. et al. Polycyclic aromatic hydrocarbon and its effects on human health: an overview // Chemosphere. – 2022. – V. 296. – 133948.

4 Нижельский М.С., Казеев К.Ш. и др. Токсичность дыма для биоты и биологической активности почв при моделировании пожаров // Поволжский экологический журнал. – 2023. – № 2. – С. 196-213.

5 Nizhelskiy M.S., Kazeev K.Sh. et al. Effects of fire smoke on soil microorganisms: results of a modelling experiment // Ecoscience. – 2024. – V. 31. – No. 1-2. – P. 2-10.

6 Wagg C., Bender S.F. et al. Soil biodiversity and soil community composition determine ecosystem multifunctionality // Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America. – 2014. – V. 111(14). – P. 5266-5270.

**ВЛИЯНИЕ НИЗКОИНТЕНСИВНОГО  
ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ НА  
ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ РАЧКОВ *DAPHNIA MAGNA*  
STRAUS К СОЛЯМ НЕКОТОРЫХ ТЯЖЕЛЫХ  
МЕТАЛЛОВ В ОСТРОМ ЭКСПЕРИМЕНТЕ**

Г. К. Папоян<sup>1</sup>, В. И. Юсупов<sup>2</sup>, Д. М. Гершкович<sup>1</sup>, В. А. Терехова<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup> – Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования «Московский  
государственный университет имени М.В.Ломоносова»,  
г. Москва, Россия

<sup>2</sup> – Институт фотонных технологий ККИФ  
НИЦ «Курчатовский институт», г. Троицк, Россия

<sup>3</sup> – Институт проблем экологии и эволюции  
Российской академии наук, г. Москва, Россия

Было исследовано влияние низкоинтенсивного электромагнитного поля (ЭМП) на чувствительность *Daphnia magna* Straus, 1820 к солям тяжелых металлов –  $K_2Cr_2O_7$  и  $CdSO_4$ , относящихся к I классу опасности [1]. Воздействие ЭМП производилось в двух режимах: постоянном и амплитудно-модулированном в режиме амплитудной манипуляции с меандром с частотой 50 Гц.

Сравнение острой токсичности поллютантов проводилось по значениям полуэффективных концентраций ( $ЭК_{50}$ ), основанных на учете выживаемости молоди рачков в двух вариантах опыта: непосредственно после облучения ЭМП и необлученных дафний из потомства облученных родителей.  $ЭК_{50}$  рассчитывали через 24, 48,72 и 96 час экспозиции в воде с токсикантами.

В качестве объекта исследования была использована синхронизированная лабораторная культура *D. magna* [2]. Контролем служили дафнии из того же помета, что и опытные, но не подвергшиеся влиянию ЭМП. Часть рачков перед помещением в среду с токсикантом экспонировали в ЭМП в течение 10000 с. Другая часть дафний была помещена в среду с токсикантом без экспонирования в ЭМП.

Для изучения изменения чувствительности рачков к токсикантам в условиях действия ЭМП облученных рачков помещали в растворы бихромата калия в концентрациях 0,5, 1,0, 1,25, 1,5 и 1,75 мг/л, а также сульфата кадмия в концентрациях 0,05, 0,1, 0,15, 0,2 и 0,25 мг/л.

Полученные результаты проверяли на статистическую значимость отличий с помощью U-критерия Манна-Уитни (уровень значимости 0,05).

Полученные результаты исследования показали отчетливое повышение чувствительности к токсическому воздействию бихромата калия и сульфата кадмия у тест-культуры *D. magna* в результате воздействия на них низкоинтенсивным ЭМП. При этом необлученные потомки облученных родителей рачков, напротив, демонстрировали пониженную чувствительность к токсикантам.

Выявлены различия в эффектах воздействия разных режимов ЭМП на чувствительность ракообразных к токсикантам, независимо от их химической природы. Постоянное ЭМП приводит к дозозависимым изменениям, тогда как ЭМП с амплитудной модуляцией оказывает стохастическое действие.

Механизмы изменения чувствительности живых систем к тяжелым металлам под влиянием ЭМП недостаточно изучены. В случае со сниженной чувствительностью потомков облученных родителей можно полагать, что действие ЭМП на *D. magna* обусловлено его повреждающим или информационным влиянием на живой организм, что в свою очередь может стимулировать запуск адаптивных механизмов, приводящих к повышению устойчивости рачков в первом поколении к токсикантам, относящимся к тяжелым металлам.

### ***Литература***

1 СанПиН 1.2.3685-21 Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания. – М.: Центрмг, 2021. – 736 с.

2 ГОСТ 32536-2013. Межгосударственный стандарт «Методы испытаний химической продукции, представляющей опасность

для окружающей среды. Определение острой токсичности для дафний». – М.: Стандартиформ, 2014.

## **ОСОБЕННОСТИ СООБЩЕСТВ БАКТЕРИЙ И ГРИБОВ ПОЧВ С ПОВЫШЕННЫМ СОДЕРЖАНИЕМ ЕСТЕСТВЕННЫХ РАДИОНУКЛИДОВ**

*А.В. Рыбак, Е.С. Белых, Т.А. Майстренко, Е.Е. Расова,  
И.О. Велегжанинов, М.М. Тавлеева  
ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар, Россия*

Развитие атомной промышленности, последствия добычи полезных ископаемых, в том числе урана, аварийные ситуации на АЭС и иных объектах ядерной энергетики приводят к поступлению в окружающую среду как искусственных, так и естественных радионуклидов [1, 2]. Современные генетические технологии позволяют исследовать воздействие повышенного содержания радионуклидов в почве на состав и структуру сообществ микроорганизмов [3].

Впервые с использованием высокопроизводительного секвенирования 16S рРНК и ITS на платформе Miseq, Illumina исследованы разнообразие и состав бактериальных и грибных сообществ, населявших более 60 лет почвы с техногенно повышенным содержанием радионуклидов природного происхождения (Республика Коми, Россия).

Показано, что разнообразие сообществ как бактерий, так и грибов радиоактивно загрязненной почвы не отличалось от такового в почве референсного участка. Кроме этого, не зафиксировано сезонных изменений данной характеристики в почвах исследуемых участков. В бактериальных сообществах почв загрязненной  $^{238}\text{U}$  и  $^{226}\text{Ra}$  и референсной территории доминировали отделы Pseudomonadota and Acidobacteriota. С относительно высоким обилием в исследуемых почвах также встречались Вспочвенных грибов доминантами являлись Basidiomycota и

значимые различия в составе сообществ бактерий и грибов, населяющих радиоактивную и референсную территории, на уровне более низких таксонов.

*Исследование проведено при финансовой поддержке Российского научного фонда (№ 23-74-01125).*

### ***Литература***

1 Cannon G., Kiang J.G. A review of the impact on the ecosystem after ionizing irradiation: wildlife population // International Journal of Radiation Biology. – 2022. – V. 98(6). – P. 1054-1062. doi: 10.1080/09553002.2020.1793021.

2 Lusa M., Knuutinen J., Lindgren M. et al. Microbial communities in a former pilot-scale uranium mine in Eastern Finland - Association with radium immobilization // Science of the Total Environment. – 2019. – V. 686. – P. 619-640. doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.05.432.

3 Pérez-Cobas A.E., Gomez-Valero L., Buchrieser C. Metagenomic approaches in microbial ecology: an update on whole-genome and marker gene sequencing analyses // Microb Genom. – 2020. – V. 6(8). – Article number: mgen000409. doi: 10.1099/mgen.0.000409.

## ЭФФЕКТ РАДИОСЕНСИБИЛИЗАЦИИ ПРИ НАКОПЛЕНИИ НАНОЧАСТИЦ ЗОЛОТА В ОРГАНИЗМЕ *D. MAGNA*

Е.Д.Тарасова<sup>1</sup>, А.Р.Мартirosян<sup>1</sup>, М.М.Плесняков<sup>1</sup>,  
Д.В.Ускалова<sup>1</sup>, Д.М.Гершкович<sup>2</sup>, А.Н.Рак<sup>2</sup>, Е.И.Сарапульцева<sup>3</sup>

<sup>1</sup> - Обнинский институт атомной энергетики – филиал  
Национального исследовательского ядерного  
университета «МИФИ», г. Обнинск, Россия

<sup>2</sup> - Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования «Московский  
государственный университет имени М.В.Ломоносова»,  
г. Москва, Россия

<sup>3</sup> - Национальный исследовательский ядерный  
университет «МИФИ», г. Москва, Россия

Протонная терапия – перспективный метод лечения, позволяющий точно воздействовать на опухоли с минимальным вредом для здоровых тканей. Применение наночастиц золота (AuНЧ) как радиосенсибилизатора может повысить её эффективность, но требует изучения их влияния на весь организм. Целью работы являлась оценка влияния биораспределения AuНЧ на эффект радиосенсибилизации при облучении пучками протонов модельных ракообразных *Daphnia magna*.

Во всех экспериментах использовался стабильный коллоидный раствор (С=10 мкг/мл) сферических AuНЧ размером 50 нм со стандартным отклонением 13 нм и поверхностным зарядом -30 мВ. *D. magna* выдерживали сутки в растворе, затем отмывали.

Для оценки биораспределения применялись световая, темнопольная и эпифлуоресцентная микроскопии. Для световой использовали систему визуализации с портативной цифровой камерой W05A (Китай) (10x) и компьютером PentiumIV для съёмки с 1 по 9 сут. Темнопольную микроскопию проводили на 21 сут с использованием микроскопов Leica DM 2500 с объективом PL Fluotar 40x/0,75. Эпифлуоресцентную микроскопию прово-

дили на 5 и 21 сут с использованием микроскопа Микромед 3 ЛЮМ LED (Россия) [1].

Для оценки выживаемости и плодовитости 1-суточных особей распределили на 4 группы по 30-90 особей: Контроль, AuНЧ, 30Гр, AuНЧ+ 30Гр. Облучение проводили на протонном комплексе «Прометеус» дозой 30 Гр (энергия 150 МэВ) «в простреле». Выживаемость и плодовитость оценивали по стандартным методикам [2] в 21-суточном эксперименте. Статистическую обработку проводили по критериям Хи-квадрат и Манна-Уитни.

Световая микроскопия показала, что AuНЧ попадали в кишечник и область эпиподит на первые сутки, а к 8-9-м сут также обнаруживались в районе выводковой камеры. На 21-е сут темнопольная микроскопия выявила AuНЧ в верхнем и нижнем отделах кишечника и в структурах ротового аппарата. Эпифлуоресцентная микроскопия на 5-е и 21-е сут показала скопления AuНЧ в кишечнике, на антеннах и карапаксе, при этом у 21-суточных видны яйца в выводковой камере с AuНЧ на поверхности.

Оценка выживаемости и плодовитости *D. magna* показала, что AuНЧ сами по себе не токсичны. Протонное облучение снижало выживаемость до 75% ( $p = 0.016$ ) и общую плодовитость до 31% ( $p = 3.6410^{-5}$ ). Комбинация AuНЧ и облучения протонами синергически снижает выживаемость до 42% ( $p = 0.05$ ) и плодовитость до 36% ( $p = 4 \times 10^{-5}$ ).

Таким образом, накопленные AuНЧ не оказывают влияния на выживаемость и плодовитость объекта, но при совместном действии AuНЧ с облучением протонами в дозе 30 Гр выступают радиосенсибилизатором.

### *Литература*

1 Nogueira T. Genomic analysis of antibiotics resistance in pathogens// Antibiotics (Basel). – 2022. –V. 11(8).– No 1013. doi: 10.3390/antibiotics11081013.

2 OECD, Test Guideline No. 202: *Daphnia* sp. Acute Immobilization Test. – Paris: Organization for Economic Cooperation and Development, 2011.

## ОСОБЕННОСТИ НАКОПЛЕНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В СИСТЕМЕ «ПОЧВА-ХВОЯ» В УСЛОВИЯХ АНТРОПОГЕННОЙ НАГРУЗКИ

*А.Н. Хох, М.А. Степанюк*

*НПЦ Государственного комитета судебных экспертиз  
Республики Беларусь, г. Минск, Беларусь*

Для оценки экологического состояния урбанизированных территорий большое значение имеет изучение содержания тяжелых металлов (далее – ТМ) в почвах и растениях.

Фитотоксичность ТМ и устойчивость к ним растений зависят от многих условий. Существенное значение имеет количество металла, находящегося в почве. Есть виды растений, способные концентрировать отдельные ТМ без видимых признаков угнетения. Устойчивость растения к одному металлу, как правило, не распространяется на другие.

Цель работы – изучить содержание и накопление ТМ в почвах и хвое сосны обыкновенной в условиях слабой и критической антропогенной нагрузки.

Элементный анализ проводился на оптико-эмиссионном спектрометре с индуктивно-связанной плазмой Thermo Fisher iCAP 6300 DUO. Статистическая обработка проводилась с использованием SPSS v.20.0.

Всего проанализировано по 120 образцов почвы и растительного материала (хвоя 2-го года жизни) из разных районов г. Минска с ранее определенной степенью антропогенной нагрузки [1]. Выявлены особенности накопления Cd, Cu, Ni, Pb и Zn в зависимости от степени антропогенной нагрузки. При анализе полученных результатов использовался непараметрический U-критерий Манна-Уитни, т.к. проверка на нормальное распределение по критерию Шапиро-Уилка показала, что уровень значимости ( $p$ ) меньше 0,05, что не отвечает требованию нормального распределения.

Полученные результаты (среднее арифметическое значение  $\pm$  среднеквадратичное отклонение) суммированы в табл. 1.

Таблица 1

Содержание тяжелых металлов в почве и хвое,  
коэффициенты биологического поглощения

| Элемент                                | 1         | 2         | U-значение | p-значение |
|--|-----------|-----------|------------|------------|
| Почва                                  |           |           |            |            |
| Cd, мг/кг                              | 0,04±0,01 | 0,26±0,07 | 0,001      | <0,000     |
| Cu, мг/кг                              | 1,9±0,7   | 3,2±0,5   | 177        | <0,000     |
| Ni, мг/кг                              | 1,1±0,4   | 3,6±0,8   | 8          | <0,000     |
| Pb, мг/кг                              | 2,2±0,9   | 6,3±0,8   | 0,001      | <0,000     |
| Zn, мг/кг                              | 8,3±0,9   | 8,8±0,7   | 1531       | 0,16       |
| Хвоя                                   |           |           |            |            |
| Cd, мг/кг                              | 0,3±0,1   | 0,5±0,1   | 217        | <0,000     |
| Cu, мг/кг                              | 3,0±0,9   | 4,0±1,0   | 841        | <0,000     |
| Ni, мг/кг                              | 1,3±0,3   | 4,3±0,7   | 0,001      | <0,000     |
| Pb, мг/кг                              | 1,3±0,3   | 4,3±0,7   | 0,001      | <0,000     |
| Zn, мг/кг                              | 36,6±7,2  | 26,5±11,0 | 2705       | <0,000     |
| Коэффициенты биологического поглощения |           |           |            |            |
| Cd                                     | 7,7±3,7   | 2,2±0,8   | 3411       | <0,000     |
| Cu                                     | 1,7±0,8   | 1,3±0,4   | 2337       | 0,005      |
| Ni                                     | 1,1±0,7   | 1,2±0,3   | 1432       | 0,053      |
| Pb                                     | 1,6±0,6   | 0,7±0,2   | 3576       | <0,000     |
| Zn                                     | 4,3±1,1   | 3,2±1,1   | 2622       | <0,000     |

1 – слабая степень антропогенной нагрузки;

2 – критическая степень антропогенной нагрузки;

жирным шрифтом выделены статистически значимые различия.

Установлено, что с ростом антропогенной нагрузки в почве достоверно увеличивается содержание Cd – в 6,5 раз, Ni – в 3,3 раза, Pb – в 2,9 раза, Cu – в 1,7 раза; в хвое достоверно увеличивается содержание Ni – в 3,3 раза, Cd – в 1,7 раза, Pb – в 1,5 раза, Cu – в 1,3 раза и уменьшается содержание Zn – в 1,4 раза. Изменения значений коэффициентов биологического поглощения в системе «почва-хвоя» носят достоверный характер ( $p < 0,05$ ) для 4 из 5 элементов; отмечены более высокие значения коэффициентов, за исключением Pb, для слабой степени антропогенной нагрузки.

## *Литература*

1 Хох А.Н., Звягинцев В.Б. Комплексный анализ хвои сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в г. Минске // Вестник Донецкого нац. университета. Серия А: Ест. Науки. – 2024. – № 1 – С. 133–141.

## **БИОИНДИКАЦИОННАЯ ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ РЕКРЕАЦИОННЫХ ЗОН ГОРОДА КАЗАНЬ**

*А.А. Шарипова, И.М. Ширинова, Е.А. Минакова  
Казанский федеральный университет, Казань, Россия*

Одним из ключевых показателей биоразнообразия и стабильности развития растений является флуктуирующая асимметрия (ФА) – малозаметные отклонения в симметрии парных органов, возникающие под воздействием стрессовых факторов. В условиях городской среды растения подвергаются негативному влиянию различных антропогенных факторов, среди которых ведущую роль играют загрязнение воздуха, изменение температурного режима, дефицит влаги и питательных веществ [3].

Для оценки состояния городской среды Казани был проведён анализ ФА листьев берёзы повислой (*Betula pendula* Roth.), растущей в разных типах рекреационных зон, что позволило выявить влияние транспортных и промышленных объектов на экологическую стабильность исследуемых территорий [2].

В качестве объекта исследования выбрана берёза повислая, распространённая в изучаемом регионе. Образцы листьев собирались с одной части кроны после завершения их роста (сентябрь 2024 г.). Оценка уровня ФА проводилась по пластическим признакам структуры и жилкования листьев. Измерения выполнялись с использованием сканера и последующей обработки данных в Microsoft Excel [1,4].

Исследование проведено на 14 площадках Казани, включающих 8 рекреационных территорий и 6 придорожных зон. Общий массив данных составил 22 512 значений. Установлено, что максимальные показатели ФА зафиксированы вблизи автотрасс

и промышленных объектов, указывая на высокую степень антропогенного воздействия.

Результаты свидетельствуют о значительном влиянии автотранспорта и промышленных предприятий на экологическое состояние городских рекреационных зон. Критическое состояние отмечено вдоль дорог, в то время как в парковых зонах наблюдается умеренное отклонение от нормы. Полученные данные подчёркивают важность мониторинга и экологических мероприятий для улучшения качества городской среды.

### *Литература*

1. Захаров В.М. Асимметрия животных: (Популяционно-фенотипический подход) / Под ред. А.В. Яблокова. – Академия наук СССР, Институт биологии развития им. Н.К. Кольцова. – М.: Наука, 1987. – 215 с.

2. Захаров В.М., Баранов А.С., Борисов В.И. и др. Экологическая состоятельность: методы оценки. – М.: Центр экологической политики России, 2000. – 68 с.

3. Минакова Е.А., Шлычков А.П. // Вестник НЦ БДЖ. – 2015. – Т. 2(24). – С. 126–131.

4. Савчук Е.Л. Биомониторинг: Методология исследования: Учебное пособие. – М.: Издательство Европейского университета, 2019. – 247 с.

## **К ВОПРОСУ О ПРИМЕНЕНИИ МЕТОДОВ БИОИНДИКАЦИИ ПРИ ОЦЕНКЕ СОСТОЯНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ Г. КАЛУГА**

*В. В. Шуберт, Г. В. Лаврентьева  
Калужский государственный университет  
им. К. Э. Циолковского, г. Калуга, Россия*

Ввиду активного роста и развития промышленного сектора, значительно возросла антропогенная нагрузка на экологические системы городов. Особенно актуальным становится поиск современного подхода к оценке состояния окружающей среды.

Одним из таких методов можно считать биологический, являющийся значительно более экономичным и простым в исполнении, чем физические и химические методы.

Для проведения первичного исследования обширной городской территории г. Калуги был использован экспресс-метод биоиндикации по берёзе повислой (*Betula pendula* Roth) ввиду широкой распространённости этого вида.

Для проведения эксперимента был произведён отбор листьев берёзы повислой с 13 локальных участков, исследуемым фактором была принята флуктуирующая асимметрия листовой пластины. Оценка состояния среды производилась по методике В.М. Захарова [1].

Результаты исследования показали, что все изученные участки с учётом интегрального показателя могут быть отнесены к неблагоприятным условиям.

При попытке сравнения величины флуктуирующей асимметрии на контрольном участке, впервые исследованном в 1998 г. [2], выяснили, что показатель увеличился более, чем в 10 раз. Предположили, что такие значительные изменения могли произойти в результате ухудшения экологического состояния водного объекта, питающего рошу, где проводили отбор проб [3].

Полученные результаты оценки исследуемого показателя позволяют предположить наличие отрицательного воздействия урбанизации на окружающую среду и являются основой для дальнейшего применения химических и физических методов контроля состояния территории.

### *Литература*

1 Захаров В.М., Баранов А.С., Борисов В.И. и др. Здоровье среды: методика оценки. – М.: Центр экологической политики России, 2000. – 68 с.

2 Стрельцов А.Б. Региональная система биомониторинга на основе анализа стабильности развития: дисс. ... д-ра биол. наук. – Калуга, 2005. – 350 с.

3 Иванова В.Е., Лаврентьева Г.В., Шошина Р.Р., Маньшина И.В. Оценка современного эколого-биологического состояния Яченского водохранилища // Сборник статей по материалам

международной научно-практической конференции «Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность». – Севастополь: Севастопольский государственный университет, 2023. – С. 42-46.

## СЕКЦИЯ 5. ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ И ФАРМАЦЕВТИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

### ИЗУЧЕНИЕ СОРБЦИИ РАДИОНУКЛИДОВ НА ПРИРОДНЫХ АЛЮМОСИЛИКАТАХ

*З.Р. Агаева<sup>1</sup>, Э.М. Кязимова<sup>2</sup>, Э.Э. Джабаров,<sup>1</sup> С.С. Байрамова<sup>1</sup>,  
Г.В. Ахмедова<sup>1</sup>*

*<sup>1</sup> – Институт неорганической химии и катализа,  
г.Баку, Азербайджан*

*<sup>2</sup> – Институт архитектуры и строительства,  
г.Баку, Азербайджан*

В целях сохранения целостности экологического состояния окружающей среды возникает необходимость утилизации промышленных отходов. При этом возникает необходимость в разработке устойчивых технологий, исключающих негативное воздействие различных факторов на окружающую среду.

При сорбции радиоактивных элементов на природных алюмосиликатах последующей стадией является десорбция радионуклидов.

Представляет интерес изучение сорбции радионуклидов на природных алюмосиликатах. В качестве исходного сырья при получении адсорбентов были использованы цеолитсодержащие материалы. Изучена закономерность адсорбции радионуклидов на клиноптилолите, отобранном из Зыхского месторождения. Современными физико-химическими методами была подтверждена чистота приготовленных адсорбентов [1].

В результате исследований установлено, что низкая сорбционная емкость адсорбента при  $pH=1$  и  $pH=2$  состоит в том, что ионы  $H^+$  при высокой концентрации в растворе сдвигают баланс сорбция-десорбция в сторону десорбции. Установлено, что при  $pH=1$  и  $pH=2$  уранил существует только в виде двухвалентного катиона  $[UO_2^{2+}]$ , а в результате повышения  $pH$  уже в виде одновалентных гидроксикатионов  $[UO_2(OH)]^+$ ,  $[UO_2(UO_3)_x \cdot n(OH)]^+$ , а также, нерастворимого гидроксида  $UO_2(OH)_2$ . В табл. 1 приведены результаты исследований по изучению влияния  $pH$  сус-

пензии на сорбцию ионов  $UO_2^{2+}$  природным цеолитом. Начальная активность изотопа  $^{235}U$   $A_0 = 20.0 \pm 1.0$  Бк/л, начальная концентрация уранил-иона  $C_0 = 96 \pm 5$  мг/л.

Таблица 1  
Влияние pH суспензии на сорбцию ионов  $UO_2^{2+}$  природным цеолитом

| pH | A, Бк/л  | C, мг/л  | [C <sub>0</sub> -C], мг/л | SST, мг/г | R, % |
|----|----------|----------|---------------------------|-----------|------|
| 1  | 19.5±1.5 | 94.1±7.2 | 1.9                       | 0.6       | 2.0  |
| 2  | 19.3±1.0 | 93.3±4.8 | 3.2                       | 1.2       | 4.1  |
| 3  | 18.5±1.1 | 89.2±5.3 | 6.8                       | 2.3       | 7.1  |
| 4  | 18.8±1.3 | 90.3±6.3 | 5.7                       | 1.9       | 5.9  |
| 5  | 17.4±1.0 | 84.9±4.8 | 11.1                      | 4.0       | 11.6 |
| 6  | 17.9±1.2 | 86.3±5.8 | 9.7                       | 3.2       | 10.1 |
| 7  | 17.2±0.9 | 83.2±4.3 | 12.8                      | 4.3       | 13.3 |
| 8  | 10.7±1.9 | 51.7±9.1 | 44.3                      | 14.8      | 46.1 |
| 9  | 5.3±2.0  | 25.6±9.6 | 70.4                      | 23.5      | 73.3 |

A – равновесная активность изотопа  $^{235}U$ ; C – равновесная активность уранил-иона; SST – статическая сорбционная емкость; R – степень сорбции.

Из результатов табл. 1 установлено, что, оптимальные условия сорбции урана природным клиноптилолитом имеют место в интервале pH= 5-7, концентрации сорбента в растворе 12 мг/л, начальной концентрации урана в диапазоне 24,1÷72,3 мг/л. Также выявлено, что уран полностью десорбируется с сорбентом 20%-ными растворами азотной и соляной кислот, а максимальное значение сорбционной емкости сорбента составляет 34,5 мг/г.

### *Литература*

1 Ефремова С.В. Очистка воды от различных загрязнений цеолитовым сорбентом и алюмосиликатами, полученными на его основе клиноптилолита // Журн. прикл. химии. – 2006. – Т. 79. – № 3. – С. 404 – 409. DOI: 10.1134/S1070427206030128.

## РАЗРАБОТКА ЧАСТНОЙ МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГЕРБИЦИДА ДИКАМБА

*М.А. Александров, О.Ю. Стрелова*  
*ФГБОУ ВО СПХФУ Минздрава России, г. Санкт-Петербург,*  
*Россия*

В последнее время на территории Российской Федерации активно используются средства для борьбы с сорной растительностью – гербициды. Однако из-за их постоянно расширяющегося перечня и отсутствия селективных методик определения в общей фармакопейной статье (ОФС) 1.5.3.0011 «Определение содержания остаточных пестицидов в лекарственном растительном сырье и лекарственных растительных препаратах», входящей в Государственную Фармакопею РФ XV издания [1], повышается риск загрязнения почв и, как следствие, растительного сырья, используемого для производства лекарственных препаратов и биологически-активных добавок.

Особый интерес представляет дикамба – (3,6-дихлор-2-метоксибензойная кислота), которая может представлять потенциальную опасность при попадании в организм человека [2,3]. Государственная Фармакопея не предлагает селективной методики определения данного гербицида, в то время как методические рекомендации не удовлетворяют данному требованию.

В результате исследования была разработана методика количественного определения дикамбы с помощью ВЭЖХ-МС, которая реализована на приборе Agilent Technologies InfinityLab LC/MSD. Для этого предварительно была приготовлена серия разведений стандартного образца (СО) от PolyScience Corporation на спирте этиловом 96%. На хроматограммах присутствовал один пик со временем удерживания чуть менее 6 мин. Спектрограммы имели пик молекулярного иона наибольшей интенсивности 175 а.е.м. По полученным данным был построен градуировочный график (рис.1).

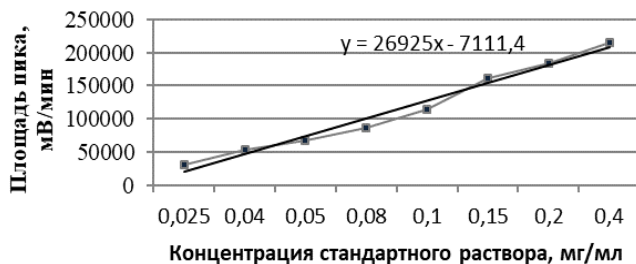


Рис.1. Градуировочный график дикамбы

### *Литература*

1. ОФС.1.5.3.0011. Общая фармакопейная статья. Определение содержания остаточных пестицидов в лекарственном растительном сырье и лекарственных растительных препаратах. – Фармакопейный комитет Минздрава РФ. 2023. – 19 с. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1302458723?section=status/> (дата обращения: 21.03.25)

2. Lerro C.C., Hofmann J.N., Andreotti G. Dicamba use and cancer incidence in the agricultural health study: an updated analysis // International Journal of Epidemiology. – 2020. – №6. – С. 1326–1337.

3. Gabriella Andreotti G., Freeman L.E.B., Shearer J.J. et al. Hofmann occupational pesticide use and risk of renal cell carcinoma in the agricultural health study // Environmental Health Perspectives. – 2020. – №6.

## **УСЛОВИЯ ПРИМЕНЕНИЯ ФУНГИЦИДА НА ОСНОВЕ ГИМЕКСАЗОЛА ПРИ ПРОТРАВЛИВАНИИ СЕМЯН САХАРНОЙ СВЕКЛЫ**

*О.В. Артемова, Л.С. Тарасова  
ФБУН "ФНЦГ им. Ф.Ф. Эрисмана" Роспотребнадзора,  
г. Мытищи, Россия*

Первостепенной задачей в последние годы стала защита сахарной свеклы от болезней, которые снижают урожай, ухудшают технологические качества и отрицательно влияют на хранение и переработку сырья. Для достижения высоких и устойчивых урожаев сахарной свеклы необходимо четкое соблюдение всех элементов технологии ее выращивания. Важен каждый этап, начиная с протравливания семян свеклы фунгицидными препаратами в заводских условиях [1].

В сельском хозяйстве для протравливания семян сахарной свеклы применяется фунгицид на основе гимексазола, относящийся ко 2 классу опасности (высоко опасное соединение) для человека и к 3 классу опасности (умерено опасное) по стойкости в почве [2].

Гимексазол [5-метилизоксазол-3-ол] – действующее вещество пестицидов (фунгицидов). Относится к химическому классу производных изоксазола, фунгицидный протравитель системного действия для защиты растений от болезней, вызываемых фитопатогенными грибами. Применяется для защиты семян сахарной свеклы от болезней [3].

ФНЦГ Ф.Ф. Эрисмана в экспериментальных исследованиях в натуральных условиях был изучен пестицид на основе гимексазола при заводском протравливании семян сахарной свеклы. Предпосевная обработка проводилась влажным способом в заводских условиях на автоматическом протравливающем комплексе.

Производственный процесс осуществляли 3 человека: заправщик, оператор и фасовщик. При работе использованы средства индивидуальной защиты (СИЗ). При заправке протравочного комплекса, во время протравливания семян и во время фасов-

ки в воздухе рабочей зоны и в смывах с кожных покровов всех работающих гимексазол не обнаружен.

Для расчета коэффициентов безопасности при комплексном (ингаляционном и дермальном) воздействии гимексазола по экспозиционным уровням (КБсумм) использована величина ОБУВ в воздухе рабочей зоны – 1.0 мг/м<sup>3</sup> и ОДУзкп (ориентировочно допустимый уровень загрязнения кожных покровов), равный 0.00045 мг/см<sup>2</sup>, рассчитанный с учетом острой кожной токсичности (LD<sub>50</sub> > 4156 мг/кг) и коэффициента запаса 20, исходя из 4 класса опасности по острой кожной токсичности и 2 класса по отдаленным эффектам [4].

Для расчета риска по поглощенной дозе (КБп) установлен ДСУЭО (допустимый суточный уровень экспозиции для работающих), который составляет для гимексазола 0.6 мг/кг.

При оценке экспозиционных уровней и поглощенной дозы для работающих при заводском протравливании семян пестицидом на основе гимексазола установлен допустимый риск для заправщика, оператора и фасовщика: КБсумм – 0.13. КБп – 0.0158. Риск для работающих считается допустимым при КБсумм и КБп ≤ 1 [4].

Проведенные исследования позволили сделать вывод, что условия применения пестицида (фунгицида) на основе гимексазола при заводском протравливании семян сахарной свеклы, соблюдении регламентов и мер безопасности соответствуют гигиеническим требованиям.

### *Литература*

1. Бородин Д.Ю. Опыт защиты сахарной свеклы в Ставропольском крае // Земледелие. – 2016. – № 3. – С. 47-48.

2. Справочник по защите растений // Сайт «agroxxi.ru» [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://www.agroxxi.ru/goshandbook/wiki/pesticides> (дата посещения 19.03.2025).

3. МУК 4.1.2381-08 3. Определение остаточных количеств гимексазола в воде, ботве и корнеплодах сахарной свеклы методом газожидкостной хроматографии. Методические указания. –

М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009. – 16 с.

4. МУ 1.2.3017-12. Оценка риска воздействия пестицидов на работающих. Методические указания. – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2012.

## **КОНТРОЛЬ ИНСЕКТИЦИДА КЛАССА НЕОНИКОТИНОИДОВ В ЛЕСНЫХ ЯГОДАХ, ОРЕХАХ И ГРИБАХ**

*В.В. Белицкая*  
*ФБУН «ФНЦГ им. Ф.Ф. Эрисмана» Роспотребнадзора,*  
*г. Мытищи, Россия*

Никотин, используемый с давних времен как средство борьбы с насекомыми-вредителями, является прародителем неоникотиноидов. Неоникотиноиды – сравнительно небольшой класс органических соединений, но уже довольно широко используемый по всему миру. Принцип действия этих веществ состоит в связывании с никотиновыми ацетилхолиновыми рецепторами; в низких дозах это вызывает нервное возбуждение, в высоких приводит к параличу и смерти насекомого.

На территории Российской Федерации разрешено применение 5 неоникотиноидов-инсектицидов: имидаклоприд, тиаметоксам, клотианидин, тиаклоприд и ацетомиприд, которые могут быть использованы как индивидуально, так в смесях с другими пестицидами. Несмотря на очевидные плюсы использования неоникотиноидов, а именно: избирательный механизм и продолжительность системного действия в низких дозах на насекомых-вредителей, экономичность, низкая токсичность для млекопитающих, эти пестициды представляют смертельную опасность для пчел (особенно имидаклоприд, тиаметоксам и клотианидин – имеют 1 класс опасности). По всему миру зарегистрированы массовые потери пчелиных семей в местах применения данных пестицидов. Поэтому использование неоникотиноидов требует учета всех известных факторов и рисков для окружающей среды и человека.

Один из представителей этого класса веществ – клотианидин ( $C_6H_8ClN_5O_2S$ ), который применяется как пестицид самостоятельно, а также образуется в результате метаболической реакции из тиаметоксама ( $C_8H_{10}ClN_5O_3S$ ) преимущественно в почве и является очень стабильным (период полураспада клотианидина (ДТ50) в поле – 121 день, в лаборатории – 545 дней). Клотиаинидин имеет ограниченное применение, связанное с отравляющим действием на нецелевых насекомых – медоносных пчёл. Его применение запрещено во время цветения растений и вблизи от пчел и разрешено в теплицах, при протравливании семян и обработке картофеля, опрыскивании растений во время вегетации, а также при авиаобработке хвойных и лиственных лесов. Таким образом, контролю подлежит не только продукция сельского хозяйства, но и растения и грибы, произрастающие в лесах в зонах обработки пестицидом.

Задачей исследования являлось обоснование условий определения остаточных количеств клотианидина в лесных ягодах, орехах и грибах с применением высокоэффективной жидкостной хроматографии в сочетании с масс-спектрометрическим детектированием (ВЭЖХ-МС/МС).

В анализе для подготовки соответствующих модельных образцов лесных ягод использованы ягоды брусники, лесных орехов - кедровые орехи, в качестве грибов – смесь белых грибов, подберезовиков и маслят. За основу пробоподготовки был взят современный метод QuEChERS. Однако в зависимости от типа матриц добавлены этапы, которые обеспечили полноту экстракции, входящую в диапазон 70-120%. К пробе орехов, относящихся к группе продуктов с низким содержанием влаги и высоким содержанием жиров, на первоначальном этапе добавляли воду, а после стадии центрифугирования, пробы "вымораживали" для отделения мешающих липидов и жиров.

Стадию "вымораживания" использовали и для извлечения клотианидина из проб ягод для устранения мешающего влияния органических кислот и сахаров. Содержание в ягодах пигментов определило использование сорбентов с графитизированной сажей в составе на этапе очистки.

Клотианидин извлекали из всех сред, включая грибы ацетонитрилом в присутствии солей цитратного буфера, сульфата магния и хлорида натрия.

Нижний предел количественного определения метода – 0,01 мг/кг. Средние значения полноты извлечения, установленные по внесением клотианидина в четырех точках в диапазоне определяемых концентраций, составили 88% (ягоды), 92% (орехи) и 95% (грибы), среднее квадратичное отклонение повторяемости варьируется от 10 до 11%.

## **РАЗРАБОТКА МЕТОДИЧЕСКИХ ПОДХОДОВ В ОПРЕДЕЛЕНИИ ОСТАТОЧНЫХ КОЛИЧЕСТВ ПЕСТИЦИДОВ РАЗЛИЧНЫХ КЛАССОВ В СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ПРОДУКЦИИ**

*Л.Г. Бондарева , Н.И. Добрева  
ФБУН "ФНЦГ им. Ф.Ф. Эрсмана" Роспотребнадзора,  
г. Мытищи, Россия*

Для контроля остаточных количеств пестицидов в сельскохозяйственной продукции используется перечень методических указаний, разработанных, как для индивидуального определения пестицидов, так и при их совместном присутствии. В качестве методов детектирования применяют или газожидкостную хроматографию (ГЖХ), или высокоэффективную жидкостную хроматографию (ВЭЖХ). Но, существует масса проблем при использовании. Например при использовании ГЖХ – влияние матричных эффектов при детектировании тех или иных пестицидов. И при использовании ВЭЖХ возникают сложности, например, недостаточная чувствительность или сложная пробоподготовка для каждого определяемого вещества.

Цель настоящих исследований – разработка методических подходов при определении остаточных количеств различных классов пестицидов в сельскохозяйственной продукции.

В качестве объектов исследования использовались следующие пестициды: дифеноконазол, пидифлуметофен, азоксистробин и его метаболит Z-азоксистробин. Сельскохозяйственные

культуры: масляничные (лен, рапс, подсолнечник, соя), сахарная свекла). Методы детектирования: ВЭЖХ с ультрафиолетовым детектором на диодной матрице (пидифлуметофен, азоксистробин и его метаболит), газовая хроматография с tandemным квадрупольным масс-детектором (ГХ-МС/МС) (или только дифенокназол, или все действующие вещества).

В качестве подготовки образцов к анализу использовали либо утвержденные методики [1-2], либо метод дисперсионной твердофазной экстракции.

Проведение исследований вывило следующее. Использование метода ГХ-МС/МС приводит к кратному уменьшению времени проведения анализа, главным образом за счет пробоподготовки. К тому же улучшается чувствительность определения, что способствует проведению более качественного анализа. Это особенно важно при контроле сельскохозяйственной продукции как российского производства, так и импортной. Однако ввиду того, что оборудование для ГХ-МС/МС крайне дорогостоящее и требует тщательного технического обслуживания, для служб контроля рекомендуется использование ВЭЖХ и ГЖХ при определении отдельных компонентов.

### *Литература*

1 МУК 4.1.3814-22. Определение остаточных количеств пидифлуметофена в подсолнечнике (семена, масло), хлопчатнике (семена), орехах (миндаль, кешью, фундук, грецкий орех, пекан, фисташки), редисе, сельдерее, свекле сахарной, бобовых (горох, фасоль) – стручки, семена, ягодах (голубика, земляника) методом высокоэффективной жидкостной хроматографии. Методические рекомендации. – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2022.

2 СТБ EN 15662-2017 Продукция пищевая растительного происхождения. Определение остатков пестицидов с применением ГХ-МС и/или ЖХ-МС/МС после экстракции/разделения ацетонитрилом и очистки с применением дисперсионной ТФЭ. Метод QuEChERS. Государственный стандарт республики Беларусь. – Минск: Госстандарт, 2017. – 28 с.

## МОНИТОРИНГ СОДЕРЖАНИЯ ПРОГЕКСАДИОНА КАЛЬЦИЯ В ЯБЛОКАХ ДЛЯ ОЦЕНКИ ПОТЕНЦИАЛЬНОГО РИСКА ЗДОРОВЬЮ НАСЕЛЕНИЯ

*Л.Г. Бондарева, Н.Е. Федорова  
ФБУН "ФНЦГ им. Ф.Ф. Эрисмана" Роспотребнадзора,  
г. Мытищи, Россия*

Яблоки используются в современной медицине как лечебный и диетический продукт. Однако для выращивания полноценного и товарного вида яблок используется порой значительный перечень пестицидов с целью подавить в том числе грибковые заболевания плодовых деревьев, предотвратить нашествие насекомых, таких как плодовых гусениц или паутиного клеща. Кроме того, применяются средства, которые регулируют развитие самого дерева.

Цель настоящих исследований – мониторинг содержания остаточных количеств прогексадиона кальция в плодах яблок с оценкой риска для здоровья населения при употреблении свежих яблок и яблочного сока, полученного из исследуемых плодов.

Прогексадион-Са (кальций 3-оксидо-5-оксо-4-пропионилциклогекс-3-енкарбоксилат; Pro-Ca) – это растительный биорегулятор. В период 2020-2022 гг. нами проведен мониторинг содержания остаточных количеств Pro-Ca в плодах после двукратной обработки: от стадии их завязи до полной зрелости, и в соке, полученном из зрелых плодов, выращенных в разных климатических зонах Российской Федерации. Исследуемые сорта яблок – Голден Делишес, Айда Ред, Антоновка.

В исследованиях использовали жидкостной хроматограф с ультрафиолетовым детектором на диодной матрице. Пробоподготовка плодов и сока яблок проводилась по разработанной нами схеме, описанной в методических указаниях [1].

Анализ исследуемых плодов яблок показал следующие результаты по содержанию остаточных количеств Pro-Ca: в день последней обработки на стадии завязи плодов содержание вещества варьировало в пределах 0,16-0,25 мг/кг, через 14 сут по-

сле последней обработки – 0,07-0,11 мг/кг, через 28 сут – 0,03-0,06 мг/кг. В плодах торговой спелости (урожай) и в соке, полученном из этих яблок, содержание Pro-Ca ниже предела обнаружения, то есть менее 0,01 мг/кг.

Нормативом для Российской Федерации является значение 0,5 мг/кг. Для обеспечения предполагаемого использования Pro-Ca Бельгия и Германия предложили повысить существующий MRL с предела количественного определения (LOQ) с 0,01 до 0,06 мг/кг и до 0,15 мг/кг соответственно [2]. Следовательно, используемый нами метод определения Pro-Ca в полной мере удовлетворяет принятым гигиеническим нормативам.

Исследования, изучающие влияние обработки пестицидами на природу и содержание остаточных количеств Pro-Ca, не требуются, поскольку общая теоретическая максимальная суточная доза ниже порогового значения в 10% от допустимой суточной дозы, а остаточное количество в зрелых плодовых семечковых, в том числе яблок, составляют менее 0,01 мг/кг.

Таким образом, использование Pro-Ca на стадии развития плода яблок не несет значимой нагрузки на здоровье населения. А согласно рекомендациям EFSA предлагаемое использование Pro-Ca в яблоневом саду не приведет к воздействию на потребителя, превышающему токсикологические контрольные значения, и, следовательно, вряд ли будет представлять риск для здоровья потребителя.

### *Литература*

1 МУК 4.1.2907-11. Определение остаточных количеств прогексадион кальция в воде, почве, плодах и соке яблок методом высокоэффективной жидкостной хроматографии. Методические указания. – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2011.

2 2016 European Food Safety Authority. Modification of the existing maximum residue level for prohexadione-calcium in strawberries // EFSA Journal. – 2016. – V.14(7) – 4528. doi/pdf/10.2903/j.efsa.2016.4528.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ПРОБАХ ВОДЫ, ВЗЯТЫХ С ОЗЕРА ДУЗЛУГЕЛЬ

*С.Р. Гаджиева<sup>1</sup>, И.И. Мустафаев<sup>2</sup>, Т.И. Алиева<sup>1</sup>*

*<sup>1</sup> – Бакинский Государственный Университет,  
г.Баку, Азербайджан*

*<sup>2</sup> – Институт Радиационных Проблем, г. Баку, Азербайджан*

Дузлугель – солёное озеро, расположенное в Сураханском районе города Баку. Вода в озере солёная и богата йодом. Концентрация нефтепродуктов, фенолов, поверхностно-активных веществ, тяжелых металлов и других токсичных веществ в водной среде этого озера многократно превышает допустимую норму, а в донных отложениях наблюдается увеличение содержания радионуклидов. Поскольку в жилых районах не построены системы канализации, сброс бытовых сточных вод в озеро и в прилегающие территории ухудшает экологическую ситуацию в районе озера [1].

В целях изучения степени загрязнения воды тяжелыми металлами нами были проведены мониторинговые исследования для определения содержания в них некоторых тяжелых металлов [1-3]. Во время мониторинга мы взяли пробы воды из различных мест озера Дузлугель [2], провели химический анализ методом атомно-абсорбционной спектроскопии (ААС) и определили количество тяжелых металлов в этих пробах воды [2-3]. Пробы воды отбирались с разной глубины с помощью батометра на разных станциях. Результаты анализа приведены в табл. 1.

Таблица 1

Количество тяжелых металлов в Дузлугеле

| Металл | Количество тяжелых металлов,<br>мг/л | ПДК, мг/л |
|--------|--------------------------------------|-----------|
| As     | 2,44                                 | 0,05      |
| V      | 2,20                                 | 0,001     |
| B      | 42,3                                 | 0,5       |
| Fe     | 78                                   | 0,3       |
| Mn     | 59                                   | 0,1       |

|    |       |        |
|----|-------|--------|
| Sn | 274   | 2,0    |
| Sb | <5    | 0,005  |
| Ti | 3,62  | 0,1    |
| Cu | 61    | 1,0    |
| Zn | 11    | 5,0    |
| Ni | <1    | 0,1    |
| Cr | <1    | 0,5    |
| Ba | <1    | 0,1    |
| Cd | 7     | 0,001  |
| Se | 119   | 1,0    |
| Sr | 48,7  | 8,0    |
| Pb | 6,4   | 0,03   |
| Be | <1    | 0,0002 |
| Si | 850   | 10     |
| Li | 14,72 | 0,03   |
| Co | <1    | 0,01   |
| Mo | 32,3  | 0,25   |

Как видно из табл. 1, во всех взятых пробах содержание тяжелых металлов (кроме никеля, хрома и бария) намного раз превышало ПДК. Озеро Дузлугель на Абшеронском полуострове, как и многие водоемы, подвергаются загрязнению тяжелыми металлами из различных источников. Предприятия, особенно металлургического и химического профиля на Абшероне, сбрасывают в эти водоемы сточные воды, содержащие тяжелые металлы. В сточных водах, попадающих в водоемы от домохозяйств и коммунальных предприятий тоже есть тяжелые металлы. Некоторые тяжелые металлы поступают в озера Абшерона в результате естественных процессов, таких как эрозия почвы или вулканическая активность. Поступая в водоемы, тяжелые металлы накапливаются в донных отложениях, ухудшая качество воды и оказывая негативное воздействие на экосистему. Они накапливаются в организмах водных обитателей, что приводит к биомагнификации и представляет угрозу для здоровья человека при потреблении загрязненных водных ресурсов [3]. Тяжелые металлы, такие как, арсен, свинец, кадмий и медь, растворяются в воде или осаждаются на дно озера Дузлугель. Это ухудшает качество воды этого озера, делая её опасной для питья и

использования в сельском хозяйстве. Загрязнение тяжелыми металлами нарушает баланс экосистемы озера, металлы влияют на процессы фотосинтеза водных растений, что в свою очередь нарушает кислородный баланс и может привести к эвтрофикации и уменьшению биоразнообразия. Для оценки степени загрязнения и разработки мер по охране водоемов от загрязнения тяжелыми металлами необходимы регулярные мониторинговые исследования, включая анализы воды, донных отложений и биоты.

### *Литература*

1 Мустафаев И.И., Мамедов В.А., Салманов М.А., Гусейнов С.А. Озера Абшерона: отчет проекта, воплощенного в жизнь на основе гранта организации ISAR. – Баку: Экологическое общество Рузгяр, 2001. – 52 с.

2 Правила отбора проб воды из естественных и искусственных озер. 603.1 -2011.

3 Гаджиева С.Р., Алиева Т.И., Велиева З.Т. и др. Тяжелые металлы в водных экосистемах озер Абшерона как индикатор антропогенного воздействия // Естественные и технические науки. – 2020. – № 2. – С. 92-96.

## **ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ОЦЕНИВАНИЕ ОЗЕРА ЯСАМАЛ**

*С.Р. Гаджиева<sup>1</sup>, И.И. Мустафаев<sup>2</sup>, Т.И. Алиева<sup>1</sup>*

*<sup>1</sup> – Бакинский Государственный Университет,*

*г.Баку, Азербайджан*

*<sup>2</sup> – Институт Раиационных Проблем, г. Баку, Азербайджан*

Озеро Ясамал, расположенное в одноименном районе Баку на Абшеронском полуострове, долгое время привлекало внимание как местных жителей, так и ученых. Ранее в нем водилась рыба, и оно служило местом отдыха. Однако в последние десятилетия экологическая ситуация в озере ухудшилась. Кроме того, снижение уровня грунтовых вод на Абшеронском полуострове также негативно сказывается на состоянии озера, способствуя его

высыханию. Окружающая территория страдает от загрязнения бытовыми отходами, что усугубляет экологическую ситуацию.

Экологическое оценивание озера Ясамал включает несколько ключевых аспектов, которые помогают определить состояние экосистемы водоема и его влияние на окружающую среду. Основные источники загрязнения – это сточные воды: сброс промышленных и бытовых сточных вод привел к загрязнению воды и почвы вокруг озера. Загрязнение отходами, накопление пластика, мусора, химических веществ в водоеме и на его берегах, строительная деятельность, урбанизация и изменение ландшафта повлияли на экосистему озера. Озеро Ясамал может быть объектом отдыха и туризма.

Озеро играет важную роль в регулировании микроклимата региона, влияя на влажность, температуру воздуха и климатические условия в пределах Абшера.

Для завершения экологической оценки озера Ясамал провели мониторинг экологических показателей и применили данные для выработки рекомендаций по охране и улучшению состояния водоема. Для этой цели взяли пробы воды из озера, проанализировали, определили физико-химические показатели: температуру воды, прозрачность, pH, содержание растворенных газов (кислород, углекислый газ и другие), минерализацию, уровень содержания питательных веществ (нитраты, фосфаты), наличие вредных веществ (тяжелые металлы). Данные результатов анализа даны в табл. 1.

Таблица 1  
Физико-химические показатели озера Ясамал

| Компоненты            | Единица измерения   | ПДК     | Озеро Ясамал |
|-----------------------|---------------------|---------|--------------|
| запах                 | —                   | —       |              |
| цвет                  | —                   | —       |              |
| pH                    | —                   | 6.5-8.5 | 8.0          |
| соленость             | г/л                 | -       | 0.484        |
| растворенный кислород | мгО <sub>2</sub> /л | ≥4.0    | 8.1          |
| электропроводимость   | μSm/sm              | -       | 0.968        |

|                               |                     |      |       |
|-------------------------------|---------------------|------|-------|
| мутность                      | FTU (NTU)           | <5   | 1.4   |
| прозрачность                  | см                  | >30  | 29    |
| жесткость                     | мг-экв/л            | 7.0  | 5.4   |
| Ca                            | мг/л                | 10   | 75.7  |
| Mg                            | мг/л                | 50   | 19.6  |
| Cl <sup>-</sup>               | мг/л                | 350  | 52.7  |
| SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> | мг/л                | 500  | 206.6 |
| HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | мг/л                | 400  | 201.4 |
| NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>  | мг/л                | 0.5  | 0.1   |
| NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>  | мг/л                | 3.3  | 0.06  |
| NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>  | мг/л                | 45.0 | 1.65  |
| PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> | мг/л                | 3.8  | 0     |
| БПК                           | мгО <sub>2</sub> /л | <6.0 | 6.9   |
| ХПК                           | мгО <sub>2</sub> /л | 15   | 8.2   |
| СПАВы                         | мг/л                | <0.5 | 0.03  |

По результатам анализа видно, что вода в озере Ясамал не мутная, прозрачная, несоленая, без цвета и запаха, жесткость, количество СПАВов, анионов не превышает ПДК. pH в норме, но концентрация кальция превышает ПДК. ХПК ниже, БПК немного выше нормы. В жарком климате, как на Абшеронском полуострове, высокие температуры привели к интенсивному испарению воды из озера. Это увеличило концентрацию минералов, включая кальций; в оставшейся воде кальций попадал в озеро в результате строительства вокруг домов и других антропогенных воздействий, например, от сброса отходов строительства или разложения строительных материалов, таких как цемент и известь. В целом, повышенное содержание кальция в воде – это естественный процесс, если учитывать геологическую природу региона, а также возможные воздействия деятельности человека. Высокий уровень кальция в водоемах, как правило, не представляет угрозы для здоровья, но может влиять на водную экосистему, особенно если концентрация других минералов или химических веществ нарушает баланс. Несмотря на экологические проблемы, озеро Ясамал демонстрирует более высокое качество воды по сравнению с другими водоемами в регионе. В отличие от некоторых других озер в районе Баку, озеро Ясамал не подвергается таким масштабным загрязнениям от промыш-

ленных предприятий или химических отходов, что помогает сохранять качество воды на этом уровне. Важно учитывать, что даже если качество воды в Ясамале лучше, чем в других озерах, существует всегда возможность для улучшения экосистемы и профилактики загрязнения.

## **МОЛЕКУЛЯРНЫЙ ДОКИНГ ДАНУГЛИПРОНА С GLP - 1 РЕЦЕПТОРОМ**

*В.М. Гильманов, И.Э. Кирьянова, А.В. Бакунович  
Учреждение образования «Международный государственный  
экологический институт имени А.Д.Сахарова»  
Белорусского государственного университета,  
г. Минск, Республика Беларусь*

В работе рассматриваются результаты молекулярного докинга между рецептором глюкагоноподобного пептида-1 (GLP-1R) и лекарственным препаратом дануглипроном.

Дануглипрон – пероральный агонист GLP-1R, относящийся к классу ингибиторов дипептидилпептидазы-4 (ДПП-4), применяемых при сахарном диабете 2 типа [1]. Он ингибирует фермент ДПП-4, разрушающий инкретиновые гормоны (ГПП-1 и ГИП), что способствует повышению их уровней, стимулируя секрецию инсулина и снижая глюкозу крови. Блокирование ДПП-4 пролонгирует действие GLP-1, снижая риск побочных эффектов по сравнению с другими гипогликемическими средствами.

Фармакокинетическая характеристика дануглипрона была проанализирована с использованием онлайн-ресурса SwissADME. Молекулярная масса соединения составляет 555,6 г/моль, что может ограничивать его всасываемость в желудочно-кишечном тракте. Липофильность соединения, оцениваемая по коэффициенту распределения октанол/вода ( $\text{Log } P_{o/w}$ ), составляет 1,36 ( $X\text{LOGP3}$ ), что указывает на умеренную липофильность (оптимальный диапазон – от 0 до 3). Это свойство способствует пролонгированному высвобождению препарата в кровоток, обеспечивая его стабильное терапевтическое действие. Водорастворимость соединения составляет 65,8 мг/мл,

что классифицируется как низкая растворимость (<100 мг/мл) и может негативно сказываться на биодоступности.

Молекулярный докинг осуществлялся с использованием кристаллической структуры GLP-1R (PDB ID: 5OTU) с разрешением 1,80 Å, полученной из Protein Data Bank (<https://www.rcsb.org/>). Исходная модель подверглась предварительной обработке, включающей удаление низкомолекулярных соединений и энергетическую минимизацию, проведенную с помощью программного пакета UCSF Chimera 2.15. Данные о предполагаемых активных центрах в GLP-1R (PDB ID: 5OTU) были получены с использованием интернет-ресурса PrankWeb. В результате анализа выявлены четыре активных сайта, а для проведения молекулярного моделирования был выбран центр с наивысшим рейтингом.

Молекулярный докинг был выполнен с использованием UCSF Chimera 2.15, где полученное значение энергии связывания составило -9,9 ккал/моль. Данный результат свидетельствует о высокой аффинности лиганда к рецептору, поскольку согласно шкале VINA RESULT, значение меньше -8,0 указывает на очень высокое средство (перспективный кандидат) [2].

Анализ взаимодействий комплекса дануглипрона с GLP-1R был проведён с помощью программного пакета Molegro Molecular Viewer 2.5. Общая энергия связывания составила -9,029 ккал/моль, что подтверждает высокую комплементарность лиганда и мишени.

Проведённое исследование демонстрирует высокую степень средства дануглипрона к GLP-1R, подтверждённую отрицательными значениями энергии связывания и его локализацией в активном центре рецептора. Анализ полученных параметров, включая стерические, водородные и электростатические взаимодействия, подтверждает эффективность связывания данного препарата с GLP-1R, что делает его перспективным кандидатом для дальнейших исследований и разработки терапевтических стратегий.

## *Литература*

1. Saxena A.R. Tolerability, safety and pharmacodynamics of oral, small-molecule glucagon-like peptide-1 receptor agonist danuglipron for type 2 diabetes: A 12-week, randomized, placebo-controlled, Phase 2 study comparing different dose-escalation schemes // *Diabetes Obes Metab.* – 2023. – V. 10 – P. 2805-2814.
2. Meng X.Y. Molecular docking: a powerful approach for structure-based drug discovery // *Curr Comput Aided Drug Des.* – 2011. – V. 2. – P. 146-157.

## **МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОСТАТОЧНЫХ КОЛИЧЕСТВ АЦИБЕНЗОЛАР-С-МЕТИЛА В ВОДЕ И ПОЧВЕ: ВАЖНОСТЬ КОНТРОЛЯ МЕТАБОЛИТА**

*М.С. Гречина*

*ФБУН "ФНЦГ им. Ф.Ф. Эрисмана" Роспотребнадзора,  
г. Мытищи, Россия*

Ацибензолар-С-метил – это синтетическое соединение, называемое «активатором растений», которое используется для их защиты от широкого спектра заболеваний, включая бактерии, грибки и вирусы. Является активатором природных защитных механизмов растений, значительно повышающих их устойчивость к мучнистой росе, септориозу, бурой ржавчине и др., эффективно против ряда заболеваний риса, табака и овощных культур. Технология применения предусматривает опрыскивание листьев, обработку семян, корневую обработку и полив почвы.

Метаболический путь ацибензолар-С-метила в растениях, воде и почве проходит через гидролиз родительской молекулы до кислого метаболита бензо[1,2,3]тиадиазол-7-карбоновой кислоты (CGA210007) (ацибензолярная кислота) в очень короткие сроки. Деградация в почве со значениями  $T_{1/2}$  варьируется от 0,2 до 0,5 сут при лабораторных исследованиях и от 1 до 14 сут при полевых исследованиях, в воде – в среднем 1 сут.

Применение в сельском хозяйстве действующих веществ в виде эфиров – распространенная практика, само основное вещество не оказывает действующего эффекта, а работает его метаболит. В данном случае тиоэфир не является как таковым фунгицидом, его метаболит – ацибензолярная кислота – обладает активным действием в отношении грибковых заболеваний. Такие токсичные метаболиты или нормируются самостоятельно, как, например, клотианидин – метаболит тиаметоксама, – или выражаются в эквиваленте действующего вещества.

Несмотря на популярность ацибензолар-С-метила, методик для контроля его остаточных количеств как в растительной продукции, так и в объектах окружающей среды немного. До проведения данной исследовательской работы в Российской Федерации не было аттестованного метода определения действующего вещества в воде и почве.

Целью нашей работы была разработка метода определения остаточных количеств ацибензолар-С-метила и его метаболита в воде и почве с применением высокоэффективной жидкостной хроматографии с масс-спектрометрическим детектированием.

В зарубежной литературе представлены довольно трудоемкие методы извлечения вещества и метаболита. Так, очистка воды представлена жидкость-жидкостной экстракцией с использованием метил-трет-бутилового эфира (МТБЭ), а извлечение из почвы проводится длительными экстракциями смесью ацетонитрил-гексаметафосфат натрия, затем смесью ацетонитрил-муравьиная кислота.

Экспериментальным путем показано, что пробы воды, очищенные через шприцевые фильтры, с мембраной на основе PTFE с размером пор 0,2 мкм, позволяют хорошо идентифицировать вещества при подобранных условиях хроматографирования и параметрах масс-детектора. Для проб почвы оптимальной оказалась экстракция ацетонитрилом в присутствии буферных солей, с последующим концентрированием пробы и перерастворением после упаривания в воде.

Учитывая быстрый метаболизм аналита в почве, была проведена альтернативная подготовка образцов для определения ацибензолар-С-метила по метаболиту с использованием щелоч-

ного гидролиза при температуре (с целью превращения действующего вещества в метаболит бензо[1,2,3]тиадиазол-7-карбоновую кислоту (CGA210007). Данный способ, проведенный на модельных пробах почвы, показал, что действующее вещество почти полностью переходит в метаболит, и извлечение метаболита находится в пределах 70-100%.

Разработанная методика МУК 4.1.3982-24 «Определение остаточных количеств ацибензолар-С-метила и его метаболита бензо[1,2,3]тиадиазол-7-карбоновой кислоты (CGA210007) в воде и почве методом высокоэффективной жидкостной хроматографии с масс-спектрометрическим детектированием» утверждена и обеспечивает установленные гигиенические нормативы для ацибензолар-С-метила: ПДК в воде водоемов – 0,005 (орг.) и ОДК в почве – 0,2 мг/кг.

## **ТЕХНОЛОГИИ ПРИМЕНЕНИЯ ПЕСТИЦИДОВ НА ЦИТРУСОВЫХ КУЛЬТУРАХ И ОЦЕНКА СТАБИЛЬНОСТИ АНАЛИТОВ В ПРОЦЕССЕ ХРАНЕНИЯ**

*М.С. Гречина*

*ФБУН "ФНЦГ им. Ф.Ф. Эрисмана" Роспотребнадзора,  
г. Мытищи, Россия*

Цитрусовые плоды выращивают во всех субтропических и тропических регионах. Основными странами-экспортерами этих плодов являются Бразилия, США, Аргентина, Испания, Мексика, Италия, Египет, Израиль, Марокко, Турция, Куба, Южная Африка.

Степень созревания плодов должна быть такой, чтобы они выдерживали транспортировку и последующее хранение. Поэтому обработка пестицидными препаратами происходит как во время выращивания плодов – это инсектицидные и фунгицидные составы для борьбы с вредителями и болезнями, так и после сбора урожая для сохранения свежести продукции, предотвращения усыхания и увядания – это фунгициды, препятствующие образованию и развитию грибковых болезней, а также различные воски и растительные смолы.

Из фунгицидов наиболее часто применяют прохлораз и имазалил (имидазольные фунгициды), тиабендазол (фунгицид класса бензимидазолов), пириметанил (анилинопиримидиновый фунгицид) и трифлостробин с азоксистробинотом (фунгициды класса стробилуринов). Причем, тиабендазол (или E-233) – сильнейший фунгицид, не позволяющий плесени и паразитам даже прикоснуться к плодам, а имазалил – фунгицид, запрещенный в ряде стран ЕС, обладающий канцерогенными свойствами.

Послеуборочная обработка плодов включает различные техники применения – это окунание плодов в концентрированные растворы пестицидов, обливание или распыление водных растворов, опрыскивание с дополнительным применением воска и т.д. Для таких обработок чаще всего используются комбинации препаратов, например, пириметанил (200 г/л) + имазалил (200 г/л), имазалил (75 г/л) + тиабендазол (225 г/л), а состав пириметанил (204 г/л) + имазалил (263 г/л) применяют для подкожных инъекций апельсинов, лимонов, мандаринов и грейпфрутов.

Исследование в лаборатории реальных проб плодов цитрусовых (мандарины, грейпфруты, апельсины, лимоны) выявило существенные концентрации (более 0,1 мг/кг) для пириметанила, имазалила, прохлоразы и тиабендазола, а также небольшие содержания имидаклоприда и пирипроксифена, что дало возможность провести эксперимент по оценке стабильности аналитов в натуральных образцах, контаминированных пестицидами, при их хранении в условиях заморозки в течение 30 месяцев.

**Целью исследования** была оценка деградации действующих веществ пестицидов, обнаруженных в реальных пробах плодов цитрусовых, которые были оставлены на длительный срок хранения в условиях глубокой заморозки.

Для идентификации и количественного определения был использован метод высокоэффективной жидкостной хроматографии с тройным квадрупольным масс-детектором (ВЭЖХ-МС/МС). Согласно методике анализа МУК 4.1.3657-20 пробы подвергались криогенному измельчению с использованием сухого льда. Пробоподготовка осуществлялась по технологии QuEChERS. Для извлечения аналитов из гомогенизированного образца применяли ацетонитрил в

присутствии солей с цитратным буфером, а затем очистку экстракта методом твердофазной экстракции (ТФЭ). Методика позволяет определять все аналиты в одной пробе.

В результате проведенного исследования, через 30 месяцев хранения образцов цитрусовых в условиях глубокой заморозки ( $t \leq -20$  °C) идентифицированные уровни действующих веществ пестицидов имазалила, пириметанила и прохлораза не изменились более чем на 20% по сравнению с ранее обнаруженными концентрациями. Выявленные при исследовании образцов незначительные количества имидаклоприда, тиабендазола и пирипроксифена, а также следы азоксистробина и трифлуксистробина тоже присутствовали в пробах после длительного хранения. Таким образом, показана стабильность данных аналитов в плодах цитрусовых при хранении их в замороженном виде, при совместном присутствии.

## **РАЗРАБОТКА РАБОЧИХ СТАНДАРТНЫХ ОБРАЗЦОВ ГАЛОПЕРИДОЛА И РИСПЕРИДОНА ДЛЯ ЦЕЛЕЙ ХИМИКО-ТОКСИКОЛОГИЧЕСКОГО АНАЛИЗА**

*Б.В. Дегтяренко<sup>1</sup>, А.С. Маринин<sup>1</sup>, О.Ю. Стрелова<sup>1</sup>,  
А.Н. Гребенюк<sup>1, 2</sup>*

*<sup>1</sup> – ФГБОУ ВО СПХФУ Минздрава России,  
г. Санкт-Петербург, Россия*

*<sup>2</sup> – ФГБОУ ВО ПСПбГМУ им. И.П. Павлова Минздрава России,  
г. Санкт-Петербург, Россия*

Серьезным вопросом для химико-токсикологического анализа является отсутствие или недоступность стандартных образцов (СО) для количественного анализа многих веществ, имеющих большое токсикологическое значение. Одним из возможных подходов для решения этого вопроса является выделение оснований лекарственного вещества из лекарственной формы и установление параметров качества: подлинность (тремя физико-химическими методами) и чистота.

Нами реализован данный подход для разработки СО для количественного анализа в соответствии с Государственной Фар-

макопей РФ XV издания и использованы физико-химические методы: инфракрасная (ИК) спектметрия, абсорбционная спектрофотометрия, высокоэффективная жидкостная хроматография с масс-селективным детектором [1]. Нами выделены ФС галоперидола и рisperидона и проанализированы на следующем оборудовании: ИК-Фурье спектрометр 2201; спектрофотометр 2000; масс-спектрометр Agilent 6420 Triple Quad LC/MS. Полученные данные представлены на рис. 1-5.

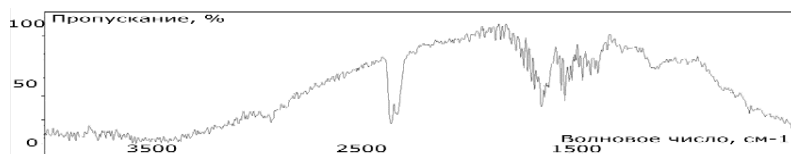


Рис.1. ИК-спектр галоперидола в таблетке КВг.

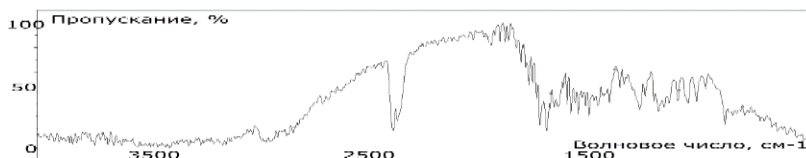


Рис.2. ИК-спектр рisperидона в таблетке КВг.

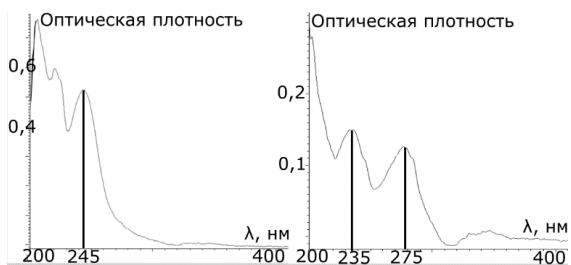


Рис.3. Спектры в ультрафиолетовой области. Слева – галоперидол, справа – рisperидон.

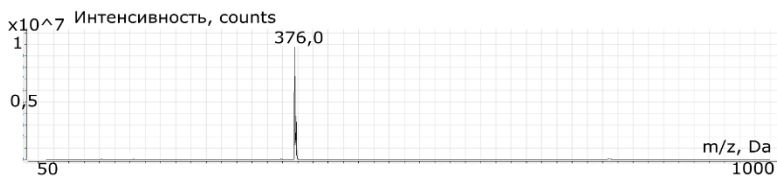


Рис.4. Масс-спектр галоперидола, SCAN.

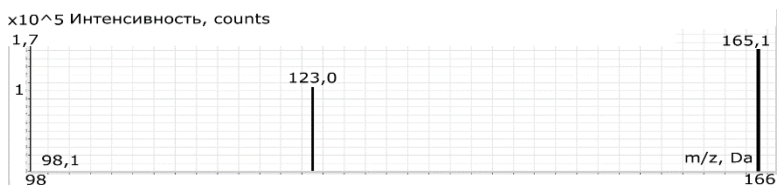


Рис.5. Масс-спектр галоперидола, MRM .  
(376,0 -> 165,1; 376,0 -> 123,0; 376,0 -> 98,1).

Таким образом, СО галоперидола и рисперидона для количественного анализа для целей химико-токсикологического анализа аттестованы по показателю подлинность, следующий этап – аттестация по параметру количественное определение.

### *Литература*

1. ОФС.1.1.0006 «Фармацевтические субстанции» // Государственная фармакопея РФ. XV изд. 2023. [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://pharmacopoeia.regmed.ru/pharmacopoeia/izdanie-15/1/1-1/farmatsevticheskie-subsstantsii/> (дата посещения 22.03.2025).

## **МАТРИЧНЫЕ ЭФФЕКТЫ И ДОСТОВЕРНОСТЬ РЕЗУЛЬТАТОВ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ ОСТАТОЧНЫХ КОЛИЧЕСТВ ПЕСТИЦИДОВ В РАЗЛИЧНЫХ ГРУППАХ ПИЩЕВОЙ ПРОДУКЦИИ**

*Н.И.Добрева, Н.Е.Федорова  
ФБУН "ФНЦГ им. Ф.Ф. Эрисмана" Роспотребнадзора,  
г. Мытищи, Россия*

Последнее десятилетие значительно увеличилось внимание к содержанию остаточных количеств пестицидов в пищевой продукции и сельскохозяйственном сырье. В связи с этим, разработаны десятки новых методов многокомпонентного определения остаточных количеств пестицидов в самых различных группах пищевых продуктов и сырье для их производства на основе масс-спектрометрического анализа. При проведении количественных измерений с использованием газовой или жидкостной хроматографии с масс-спектрометрическим детектированием, несмотря на высочайшую селективность и специфичность при идентификации остаточных количеств пестицидов (ОКП) в пищевых продуктах, были выявлены существенные усиления/подавления аналитических сигналов исследуемых ОКП по сравнению со стандартными растворами, используемыми для калибровки.

Данная работа посвящена изучению влияния компонентов матрицы на примере различных групп продукции для детского питания: молочная смесь, молочная каша, зерновая каша, плодовоовощное пюре, мясное пюре. В качестве пестицидов изучались хлорорганические пестициды, запрещенные к применению при производстве детского питания: гептахлор и его метаболит гептахлор эпоксид, гексахлорбензол, альдрин, дильдрин.

Измерения выполнялись на тандемном трехквадрупольном газовом хромато-масс-спектрометре «Agilent 7010B/7890B», с использованием колонки HP-5ms Ultra Inert (30м\*0,25мм\*0,25мкм) в условиях программирования температуры. Режим работы масс-спектрометра – мониторинг множественных реакций. Были построены градуировочные графики,

выражающие зависимость площадей пиков от концентраций действующих веществ, методом абсолютной и матричной калибровки в диапазоне концентраций 0,0005 – 0,0100 мкг/см<sup>3</sup>. Проведен сравнительный анализ площадей пиков пестицидов в растворителе и экстракте продукта во всем диапазоне измерения. Усредненные полученные результаты во всем исследуемом диапазоне представлены в табл. 1.

Таблица 1

Усредненные значения усиления/подавление хроматографического сигнала пестицидов, внесенных в матрицу по сравнению со значениями сигналов стандартных растворов на растворителе (номинал)

| Наименование продукции | Усиление/подавление сигнала<br>(кратность от номинала) |               |                           |                |                       |
|------------------------|--|---------------|---------------------------|----------------|-----------------------|
|                        | Наименование пестицидов                                |               |                           |                |                       |
|                        | Аль-<br>дрин   | Диль-<br>дрин | Гекса-<br>хлор-<br>бензол | Гепта-<br>хлор | Гепта-хлор<br>эпоксид |
| Молочная смесь         | 1,1  | 2,6           | 10,4                      | 23,9           | 4,3                   |
| Каша молочная          | 1,2  | 2,4           | 10,3                      | 29,5           | 4,3                   |
| Каша зерновая          | 0,7  | 2,2           | 7,0                       | 15,4           | 3,2                   |
| Флодо-овощное<br>пюре  | 2,0  | 2,9           | 21,7                      | 25,7           | 6,2                   |
| Мясное пюре            | 0,9  | 2,4           | 9,0                       | 23,2           | 4,2                   |

Проведенные исследования позволяют утверждать, что при разработке методик, основанных на газовой хроматографии с масс-спектрометрическим детектированием, и внедрении их в лабораторную практику, до проведения количественных испытаний продукции на содержание ОКП необходима оценка матричных эффектов для правильного выбора метода калибровки.

## **КОНТРОЛЬ ОСТАТОЧНЫХ КОЛИЧЕСТВ ЗЕТА-ЦИПЕРМЕТРИНА В ЛЕСНОЙ МАЛИНЕ ПОСЛЕ АВИАОБРАБОТКИ ЛЕСНЫХ МАССИВОВ**

*О.Е. Егорченкова  
ФБУН "ФНЦГ им. Ф.Ф. Эрисмана" Роспотребнадзора,  
г. Мытищи, Россия*

Лесная малина подвержена воздействию ряда вредителей, но в силу её естественного произрастания в лесах применение пестицидов для обработки дикорастущих ягод ограничено и редко выполняется. Однако при авиационной обработке лесных массивов существует вероятность осадения пестицидов на лесную малину, особенно в местах с разреженной древесной растительностью, таких как опушки, вырубки, поляны и редколесье.

Зета-циперметрин – синтетический пиретроид второго поколения с высокой инсектицидной и акарицидной активностью, широко применяемый при авиационном опрыскивании лесных массивов против вредителей древесных насаждений. Максимально допустимый уровень (МДУ) зета-циперметрина в ягодах в Российской Федерации установлен на уровне 0,07 мг/кг [1].

В связи с отсутствием в Российской Федерации официального метода измерения зета-циперметрина в малине был валидирован метод СТБ EN 15662-2017 [2].

Пробоподготовка образцов включала (по технологии QuEChERS): экстракцию вещества из анализируемых образцов ацетонитрилом при добавлении 200 мм<sup>3</sup> 5М раствора гидроксида натрия в присутствии комбинации солей, содержащей цитратный буфер, вымораживание экстрактов, проведение очистки методом дисперсионной твердофазной экстракции с применением смеси сорбентов на основе аминов, графитизированной сажи и магния сернокислого, концентрирование экстрактов досуха, растворение сухого остатка в ацетоне.

Идентификацию исследуемого аналита осуществляли методом газовой хроматографии с масс-селективным детектированием (ГХ-МС) в режиме регистрации выбранных ионов (SIM) с

отношением масса/заряд ( $m/z$ ): 181 (количественный расчет), 127, 152.

Зета-циперметрин содержит два хиральных центра и представляет собой смесь энантиомеров в соотношении 45-55:55-45, которые в выбранных условиях метода хромато-масс-спектрометрии формируют на хроматограмме четыре близких по площади пика. Количественное определение исследуемого вещества рассчитывалось с учетом суммы площадей четырех наблюдаемых хроматографических пиков.

Сочетание модифицированной процедуры QuEChERS с хромато-масс-спектрометрией позволило добиться высокой степени извлечения зета-циперметрина (92% при среднеквадратичном отклонении равном 7,8%) из ягод лесной малины.

Валидированная методика прошла апробацию в трех почвенно-климатических зонах Российской Федерации. Авиаобработка естественного смешанного хвойно-мелколиственного древостоя, искусственных посадок сосны обыкновенной, естественного древостоя самшита колхидского, под покровом которых на отдельных локальных участках произрастала малина обыкновенная, проведена однократно с нормой расхода по препарату 0,09 л/га. В условиях опытов (Тюменская, Ростовская области, Республика Адыгея Краснодарского края) в ягодах лесной малины, отобранных через 25 сут после обработок, действующее вещество зета-циперметрин не обнаружено (менее 0,01 мг/кг).

Анализ результатов исследования показал, что авиаобработка лесных массивов препаратом на основе зета-циперметрина не оказывает существенного влияния на содержание действующего вещества в ягодах лесной малины, произрастающей под покровом деревьев.

### *Литература*

1 СанПиН 1.2.3685-21 Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания. – М.: Центрмг, 2021. – 736 с.

2 СТБ EN 15662-2017 Продукция пищевая растительного происхождения. Определение остатков пестицидов с применением ГХ-МС и/или ЖХ-МС/МС после экстракции/разделения

ацетонитрилом и очистки с применением дисперсионной ТФЭ. Метод QuEChERS. Государственный стандарт республики Беларусь. – Минск: Госстандарт, 2017. – 28 с.

## **ИЗУЧЕНИЕ РЕПРОДУКТИВНОЙ ТОКСИЧНОСТИ ПРОИЗВОДНОГО НЕОНИКОТИНОИДОВ НА ТЕПЛОКРОВНЫХ**

*Т.М. Епишина*

*ФБУН «ФНЦГ им. Ф.Ф. Эрисмана» Роспотребнадзор,  
г. Мытищи, Россия*

Изучение влияния технических продуктов, входящих в состав пестицидных препаратов, на репродуктивную функцию теплокровных является обязательным этапом комплексной токсиколого-гигиенической оценки новых химических соединений, внедряемых в народное хозяйство [1].

*Цель исследования* – изучить влияние нового технического продукта класса неоникотиноидов на репродуктивную функцию лабораторных животных (крысы), установление недействующей дозы и класса опасности.

В соответствии с поставленной целью в испытательной биологической лаборатории ФБУН «ФНЦГ им. Ф.Ф. Эрисмана» проведены исследования репродуктивной токсичности нового технического продукта класса неоникотиноидов по методу двух поколений на крысах (самцах и самках) согласно руководства Р1.2.3156-13 [2]. Испытаны дозы 0; 1/100; 1/25 и 1/5 ЛД<sub>50</sub> (одна контрольная и три опытные группы). Масса тела крыс-самцов в начале исследования составила 180-190 г (n=10), крыс-самок 200-220 г (по 20 особей в группе). Выбор доз для проведения эксперимента обусловлен литературными данными о токсичности соединений – производных неоникотиноидов. Ранее исследования в данном объеме не проводились.

При исследовании репродуктивной токсичности методом двух поколений установлено, что действующее вещество при многократном пероральном воздействии на организм теплокровных животных (крысы) в дозе 1/5 ЛД<sub>50</sub> обладает токсиче-

ским действием на организм родителей и потомства, а именно отмечены следующие статистически достоверные изменения: поколение F0 – снижение массы тела самцов с 8 по 14 недели исследования, снижение массы тела самок поколения F0 с 4 по 16 недели эксперимента, снижение массы тела крысят F2 поколения на 4-ый, 7-ой, 14-ый, 21-ый и 30-ый дни, снижение таких показателей центральной нервной системы (ЦНС) у крысят поколения F2, как норковый рефлекс и ориентировочная реакция в возрасте 1 месяца ( $p < 0,05$ ).

В дозе 1/25 ЛД<sub>50</sub> изучаемое соединение оказывает достоверное снижение массы тела самок F0 поколения с 11-ой по 13-ую неделю эксперимента включительно, а также в 15-ую неделю, снижение массы тела крысят F2 поколения отмечено на 14-й, 21-й и 30-й дни после рождения ( $p < 0,05$ ).

Доза 1/100 ЛД<sub>50</sub> не вызвала достоверных изменений в организме опытных животных по всем изученным показателям.

Анализ показателей физиологического развития потомства таких как отлипание ушной раковины, появление первичного волосяного покрова, день прорезывания резцов, день перехода к самостоятельному питанию, суммационно-порогового показателя (СПП) по сравнению с контрольной группой животных не выявил статистически достоверных изменений у потомков F1 и F2 поколений всех опытных групп по сравнению с потомками контрольных групп.

По результатам эксперимента: NOEL - 1/100 ЛД<sub>50</sub> (для родителей и потомства).

Согласно гигиенической классификации [3], изученное соединение, производное неоникотиноидов, по влиянию на репродуктивную функцию теплокровных (крысы) относится к 3-му классу опасности (умеренно опасное соединение). Пестициды 3-го и 4-го классов опасности могут быть использованы в народном хозяйстве без ограничений в соответствии с установленными гигиеническими регламентами и санитарными правилами [3].

## *Литература*

1. Ракитский В.Н., Епишина Т.М., Чхвиркия Е.Г. Изучение отдаленного действия нового технического продукта – производного бензоилмочевин // *Здравоохранение Российской Федерации.* – 2022. – Т.66. – №3. – С. 239-243.

2 Р1.2.3156-13. Руководство. Оценка токсичности и опасности химических веществ и их смесей для здоровья человека. – М.: Гигиена, токсикология, санитария, 2014. – 639 с.

3 МР 1.2.0235-21. Методические рекомендации. Гигиеническая классификация пестицидов и агрохимикатов по степени опасности. – М., 2021. – 20 с.

## **САНИТАРНО-ТОКСИКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА НОВОГО ПРЕПАРАТА КЛАССА ГИДРОКСИКУМАРИНОВ**

*Т.М. Епишина, Е.Г. Чхвиркия, Е.А. Мухина, О.Г. Потапова  
ФБУН "ФНЦГ им. Ф.Ф. Эрисмана" Роспотребнадзора,  
г. Мытищи, Россия*

Оценка риска для здоровья населения при воздействии пестицидов основывается на принципах оценки потенциальной и реальной опасности при их суммарном поступлении в организм человека с пищевыми продуктами, водой и атмосферным воздухом. Изучение способности пестицидов к кумулятивному действию является одним из важнейших этапов их санитарно-токсикологической оценки.

Изучаемый новый препарат на основе действующего вещества, класса гидроксикумаринов, рекомендуется в условиях народного хозяйства в качестве родентицида и применяется для борьбы с угрожающими здоровью людей популяциями крыс. Действующие вещества класса гидроксикумаринов относятся к антикоагулянтам второго поколения. Механизм их действия сводится к нарушению свертываемости крови, в том числе протромбина, что способствует усилению внутреннего кровотечения в организме животных.

Цель исследования – определить параметры острой пероральной токсичности ( $LD_{50}$ ) и изучить кумулятивное действие нового препарата класса гидроксикумаринов.

В соответствии с поставленной целью в испытательной биологической лаборатории (виварии) ФБУН «ФНЦГ им. Ф.Ф. Эрисмана» проведены санитарно-токсикологические исследования на беспородных белых крысах-самцах согласно Руководства Р1.2.3156-13 [1] и методическим рекомендациям [2].

По результатам пробит-анализа  $LD_{50}$  (крысы-самцы) перорально  $> 7000$  мг/кг м.т.

Изучение кумулятивного действия проводили на 10 крысах-самцах при пероральном введении препарата в дозе  $1/10 LD_{50}$ , 10 контрольных животных получали перорально дистиллированную воду в эквивалентном объеме.

В результате исследования установлено, что при введении препарата в количестве 12 доз  $1/10 LD_{50}$  зарегистрирована полная гибель животных, а именно: при введении 9-ти доз  $1/10 LD_{50}$  погибла 1 крыса, что соответствует 6300 мг/кг м.т. (10%); при введении 10 доз  $1/10 LD_{50}$  погибло 7 крыс, что соответствует 7000 мг/кг м.т. (80%); при введении 11 доз  $1/10 LD_{50}$  погибла 1 крыса, что соответствует 7700 мг/кг м.т. (90%); при введении 12 доз  $1/10 LD_{50}$  погибла 1 крыса, что соответствует 8400 мг/кг м.т. (100%). Коэффициент кумуляции составил  $K_{\text{кум}} = 0,97$ .

Таким образом, согласно МР № 1.2.0235-21 [3], изученный препарат по параметрам острой пероральной токсичности ( $LD_{50}$ ) относится к малоопасным соединениям (4 класс опасности), по результатам кумулятивного эффекта обладает резко выраженным кумулятивным действием и относится к чрезвычайно опасным соединениям (1 класс опасности). Пестициды 1-го класса опасности могут быть использованы в народном хозяйстве в качестве препаратов ограниченного использования – для фумигации, родентицидных обработок и обработок карантинных зон.

По чрезвычайно опасным препаратам (1-й класс) принимаются решения об их использовании только силами специальных профессиональных бригад (отрядов), должным образом экипированных и обученных мерам безопасности на право работы с чрезвычайно опасными соединениями [4].

## *Литература*

1 Р1.2.3156-13. Руководство. Оценка токсичности и опасности химических веществ и их смесей для здоровья человека. – М.: Гигиена, токсикология, санитария, 2014. – 639 с.

2 Каган Ю.С. Кумуляция, критерии и методы её оценки, прогнозирование хронических интоксикаций. / В кн.: Принципы предельно допустимых концентраций. – М.: Медицина, 1970. – 65 с.

3 МР 1.2.0235-21. Методические рекомендации. Гигиеническая классификация пестицидов и агрохимикатов по степени опасности. – М., 2021. – 20 с.

4 СП 2.2.3670-20. Санитарно-эпидемиологические требования к условиям труда. Санитарные правила. / утверждены постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 2 декабря 2020 года N 40.

## **ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ЦЕОЛИТА NaX ДЛЯ ОЧИСТКИ ПРИРОДНЫХ ВОД ТЕРРИТОРИИ СИП ОТ РАДИОНУКЛИДОВ**

*Р.Г. Ермакова, Ж.Е. Тлеуканова, А.К. Айдарханова,  
А.С. Мамырбаева*

*Филиал «Институт радиационной безопасности и экологии»  
РГП НЯЦ РК, г. Курчатов, Казахстан*

С целью проведения исследований по очистке вод сорбционными методами были выбраны водные объекты территории Семипалатинского испытательного полигона (СИП) с высоким содержанием техногенных радионуклидов в воде и с разным химическим составом: водотоки из штолен (шт.) 104 и 165 площадки «Дегелен» и воронка Телькем-1 площадки «Телькем». На данных водных объектах определены начальные уровни содержания  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  с помощью  $\gamma$ - и  $\beta$ -спектрометрических методов анализа. Содержание  $^{238}\text{U}$  определено методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой.

Установлено, что в воде шт. 104, шт. 165 и Телькем-1 содержание  $^{137}\text{Cs}$  составило  $118\pm 24$ ,  $117\pm 23$  и  $<1$  Бк/кг, соответственно,  $^{90}\text{Sr}$  –  $350\pm 52$ ,  $1100\pm 165$  и  $31\pm 5$  Бк/кг. Концентрация  $^{238}\text{U}$  составила  $920\pm 81$ ,  $580\pm 50$  и  $57\pm 6$  мкг/л. Согласно результатам общего химического анализа, исследуемые воды по уровню pH среды классифицируются как слабощелочные. По степени минерализации воды шт. 104 и шт. 165 являются пресными, вода с Телькем-1 – солоноватой. По степени жесткости воды шт. 104 и шт. 165 относятся к водам средней жесткости, вода с Телькем-1 – к очень жестким.

Для очистки исследуемых вод от техногенных радионуклидов выбран неорганический сорбент из синтетических алюмосиликатов – цеолит NaX. Для определения влияния размера частиц сорбента в эксперименте использовался цеолит с размером частиц 0,5 и 1 мм.

Эксперименты по очистке вод от радионуклидов проводились в статических условиях. Для проведения эксперимента 0,4 г сорбента взвешивали на аналитических весах с точностью до 4-го знака, помещали в коническую колбу, заливали 1 л исследуемой воды, плотно закрывали крышкой для предотвращения процессов испарения и постоянно перемешивали при комнатной температуре в течение 24 ч. По окончании перемешивания анализируемые растворы отфильтровывали через фильтр «синяя лента» и определяли содержание радионуклидов в фильтрате.

Согласно результатам измерений, в воде шт. 104 для  $^{137}\text{Cs}$  на цеолите с размером частиц 0,5 мм процент сорбции составил 44%, с размером частиц 1 мм – 41%, для  $^{90}\text{Sr}$  на цеолите с размером фракций 0,5 мм процент сорбции составил 8,7%, на сорбенте с размером 1 мм сорбция  $^{90}\text{Sr}$  не зафиксирована. По отношению к  $^{238}\text{U}$  на цеолите с размером частиц 0,5 мм сорбция в воде шт. 104 составила 17%, на цеолите с размером частиц 1,0 мм – 15%.

В воде шт.165 для  $^{137}\text{Cs}$  на сорбенте с размером фракций 0,5 мм процент сорбции составил 58%, на 1 мм – 53%, для  $^{90}\text{Sr}$  – 35% и 32%, соответственно. По отношению к  $^{238}\text{U}$  на цеолите с размером частиц 0,5 мм сорбция в воде шт.165 составила 22%, на цеолите с размером частиц 1,0 мм – 19%.

Для воды с воронки Телькем-1 для  $^{90}\text{Sr}$  на цеолите с размером частиц 0,5 мм процент сорбции составил 9,7%, на 1 мм 3,2%. По отношению к  $^{238}\text{U}$  на цеолите с размером частиц 0,5 мм сорбция составила 32%, на цеолите с размером частиц 1,0 мм –28%.

Таким образом, эффективность сорбции зависит как от типа исследуемой воды, так и от химических свойств радионуклидов. Наибольший процент сорбции получен для  $^{137}\text{Cs}$  в пресной воде, что объясняется высокой селективностью цеолита к ионам цезия. Для  $^{90}\text{Sr}$  процент сорбции меньше, либо сорбция радионуклида не зафиксирована, что обусловлено слабой доступностью стронция из-за образования растворимых соединений. Для  $^{238}\text{U}$  выявлена обратная тенденция: сорбция радионуклида оказалась более эффективной в солоноватой воде, что может быть связано с образованием устойчивых соединений.

## **МОЛЕКУЛЯРНЫЙ ДОКИНГ СЮЗЕТРИГИНА С НАТРИЕВЫМ КАНАЛОМ NaV1.8**

*И.Э. Кирьянова, В.М. Гильманов, А.В. Бакунович  
Учреждение образования «Международный государственный  
экологический институт имени А.Д. Сахарова»  
Белорусского государственного университета,  
г. Минск, Республика Беларусь*

Сюзетригин (VX-548) представляет собой высокоэффективный селективный ингибитор натриевого канала NaV1.8, дозозависимо индуцирующий его закрытие после гиперполяризационных импульсов. VX-548 демонстрирует значительный потенциал в обеспечении эффективного и хорошо переносимого анальгетического эффекта при острой боли [1].

Оценку физико-химических свойств и фармакокинетического профиля сюзетригина ( $\text{C}_{21}\text{H}_{20}\text{F}_5\text{N}_3\text{O}_4$ ) проводили с использованием интернет-ресурса SwissADME. Молекулярная масса соединения составляет 473,4 г/моль. Липофильность ( $\text{Log Po/w}$ ), составляет 3,54, что указывает на гидрофобные свойства молекулы и её способность проникать через биологические мембраны. Растворимость ( $\text{Log S}$ ) по методикам ESOL и Ali со значе-

ниями -4,48 и -4,85 соответственно, свидетельствуют о умеренной растворимости в воде ( $-6 < \text{Log } S < -4$ ), что является приемлемым для системного распределения VX-548 в организме. Соответствие молекулы правилам Липинского подтверждает её перспективность в качестве кандидата на разработку лекарственного препарата с благоприятной биодоступностью.

Фармакокинетические параметры VX-548 демонстрируют высокую степень абсорбции в желудочно-кишечном тракте, а также транспортировку посредством Р-гликопротеина. Однако соединение не проникает через гематоэнцефалический барьер, что ограничивает его применение в терапии патологий центральной нервной системы.

Для молекулярного докинга была использована кристаллическая структура натриевого канала NaV1.8 (PDB ID: 7WE4) из Банка данных белков (RCSB PDB) с разрешением 2,70 Å. Исходная структура белка была предварительно обработана: удалены низкомолекулярные лиганды, структура оптимизирована методами молекулярной механики в программном пакете UCSF Chimera 2.15.

Определение активных центров белка выполнено с использованием интернет-ресурса PrankWeb. Наиболее вероятный сайт связывания был выбран на основании ранжирования. Молекулярный докинг проводился с помощью интернет-ресурса SwissDock с заданием точных координат активного центра ( $x, y, z = 129.2274, 131.6964, 118.3153$ ). Анализ полученных моделей выявил наиболее энергетически благоприятную конформацию связывания VX-548 с NaV1.8 (PDB ID: 7WE4), характеризующуюся значением свободной энергии связывания -8,798 ккал/моль, свидетельствуя о высоком сродстве молекулы к белку.

При анализе конформационных моделей с помощью программного пакета Discovery Studio было выявлено наличие водородных,  $\pi$ -стекирующих и Ван-дер-ваальсовых взаимодействий, а также алкильных контактов между лигандом и белком. Эти данные подтверждают высокий уровень сродства сюзетригина к NaV1.8, что делает его перспективным соединением для

дальнейших исследований с целью разработки эффективных анальгетических препаратов.

### *Литература*

1. Hang Kong A.Y., Tan H.S., Habib A.S. VX-548 in the treatment of acute pain // Pain Management. – 2024. – V. 14. – No. 9. – P. 477-486.

## **ВЛИЯНИЕ ЛАМИНАЦИИ НА ФИЛЬТРУЮЩИЕ СВОЙСТВА ТРЕКОВЫХ МЕМБРАН**

*И.А. Ковалев<sup>1</sup>, Т.Е. Ларичева<sup>1</sup>, О.А. Ананьева<sup>1</sup>, С.М. Мерков<sup>2</sup>  
– Обнинский институт атомной энергетики – филиал  
Национального исследовательского ядерного  
университета «МИФИ», г. Обнинск, Россия  
– ООО «Реатрек-фильтр», г. Обнинск, Россия*

Трековые мембраны (ТМ) – вид фильтроматериала, обладающего уникальными свойствами. Такие мембраны изготавливаются из полимерных плёнок толщиной 10-23 мкм посредством бомбардировки их высокоэнергетичными тяжелыми ионами. В местах прохождения отдельных ионов образуются участки, области деструктированного материала (треки), растворение деструктированного материала превращает исходную плёнку в мембрану со сквозными порами цилиндрической формы диаметром от 0,05 до 5 мкм в зависимости от условий травления [1, 2].

Трековые мембраны используются в различных отраслях промышленности, их применяют для фильтрации различных жидкостей (в т.ч. питьевой воды) и газов; при проведении химических и микробиологических исследований; в электронной промышленности в процессах тонкой очистки воздуха, газообразных и жидких технологических сред.

Однако, при всей своей привлекательности и наличии неоспоримых достоинств, в аспекте практического применения ТМ выделяются два недостатка: низкая механическая прочность

и высокий и устойчивый электростатический заряд, затрудняющий работу с ТМ.

Способом нивелирования этих недостатков является ламинирование ТМ – это процесс покрытия ТМ защитной плёнкой для улучшения ее свойств.

В данной работе была разработана методика ламинирования ТМ: подобраны материал подложки, клеевой состав, плотность нанесения клеевого состава, определены условия ламинирования.

Были установлены наиболее оптимальные режимы работы рулонного ламинатора: температуры нагрева валов – 120 °С для нижнего вала и 100 °С для верхнего вала; усилие прижатия валов; скорость протяжки мембраны – 2,8 м/мин.

Критериями качества ламинации являются хорошая адгезия, хороший внешний вид со стороны мембраны и со стороны подложки. Полученные при данных условиях ламинирования ТМ полностью соответствуют этим критериям. В дальнейшем, проведение ламинирования ТМ рекомендовано проводить при указанных выше условиях.

Выполнено исследование влияния ламинации на основные фильтрационные свойства фильтров на основе ТМ. Был проведен сравнительный анализ фильтрационных свойств ТМ и ламинированной ТМ: производительности фильтрации, эффективности очистки от нерастворённых частиц (мутности), от растворенных веществ, от микробного загрязнения.

Установлено, что у ламинированной ТМ фильтрующие свойства по сравнению с ТМ изменились незначительно: производительность понизилась всего на 3%; эффективность очистки осталась на прежнем уровне: для мутности – 99,1%, для микробного загрязнения – 99,9%; эффективность очистки для растворенных веществ не превышает 78%, что показывает, что фильтры на основе ТМ являются типичными фильтрами осветлителями и предназначены для очистки от нерастворенных частиц.

## *Литература*

1 Брок Т. Мембранная фильтрация: Пер. С англ.– М.: Мир, 1987. – С. 59-61.

2 Трековая мембрана – продукт высоких технологий // Сайт «reatrack.ru» [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://reatrack.ru/> (дата посещения – 07.03.2025).

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОДИФИЦИРОВАННЫХ ПРИРОДНЫХ СОРБЕНТОВ ДЛЯ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ОТ ИОНОВ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ**

*М.Р. Крюкова, Г.В. Кучерик, В.А. Турянский  
СевГУ, г. Севастополь, Россия*

Загрязнение водных ресурсов тяжелыми металлами представляет серьезную экологическую угрозу, требующую экономически-эффективных методов очистки. Традиционные технологии очистки часто дорогостоящи и энергозатратны, что стимулирует поиск альтернативных решений [1].

Виноградные косточки, являясь побочным продуктом виноделия, обладают значительным потенциалом в качестве сырья для производства сорбентов благодаря содержанию лигнина, целлюлозы и танинов с высокой адсорбционной способностью по отношению к ионам тяжелых металлов. Разработка технологии получения сорбентов на основе виноградных косточек имеет высокую практическую значимость для Крымского полуострова. Внедрение данной технологии позволит не только обеспечить эффективную очистку промышленных сточных вод от тяжелых металлов, но и одновременно решить проблему утилизации отходов винодельческого производства, способствуя развитию принципов циркулярной экономики [2].

Целью работы является разработка эффективного сорбента на основе виноградных косточек для очистки сточных вод от ионов тяжелых металлов.

Методика приготовления сорбента включала несколько последовательных этапов обработки сырья: очистку, сушку и измельчение косточек, экстракцию масел. На этом этапе получали

сорбент 1. После его карбонизации был получен сорбент 2, при химической активации фосфорной кислотой которого был получен сорбент 3. С целью оценки сорбционных свойств трех полученных образцов, через них пропускали модельный раствор, содержащий ионы тяжелых металлов ( $\text{Pb}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Cd}^{2+}$  и  $\text{Mn}^{2+}$ ), определяли остаточные концентрации металлов, рассчитывали степень очистки и оценивали сорбционные свойства полученных сорбентов (рис. 1).

В результате эксперимента было выявлено, что наихудшие сорбционные свойства проявил сорбент 1: степень очистки составила от 36% (ионы  $\text{Mn}^{2+}$ ) до 92% (ионы  $\text{Pb}^{2+}$ ). Что касается двух других образцов, то сорбент 2 был наиболее эффективен при очистке воды от ионов  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Cd}^{2+}$  и  $\text{Mn}^{2+}$ . При этом степень очистки от ионов остальных металлов оставалась достаточно высокой (84–98%). Наилучшие результаты при очистке воды от ионов  $\text{Pb}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$  были получены при использовании сорбента 3. Степень очистки от ионов  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Cd}^{2+}$  и  $\text{Mn}^{2+}$  была значительно ниже, чем при использовании сорбента 2.

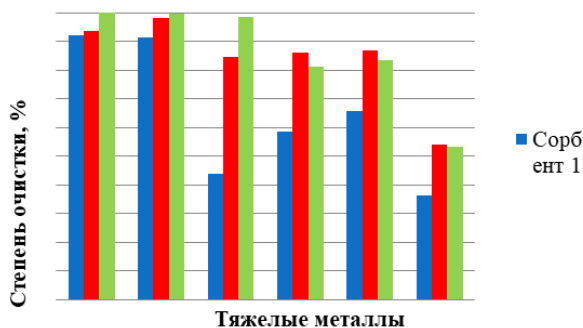


Рис. 1. Результаты численного эксперимента.

Таким образом, разработанный сорбент 3 представляет собой перспективный материал для очистки природных и сточных вод от ионов тяжёлых металлов.

### *Литература*

1 Майданевич А.А. Стратегические аспекты развития безотходных технологий аграрного производства / Экономический

базис развития науки и технологий в России. – Симферополь: «Ариал», 2018. – С. 196-200.

2 Петухова Ю. Н. и др. Очистка сточных вод от ионов тяжелых металлов с помощью сорбентов // Недра. – 1987. – Т. 414. – С. 3.

## **ФЕНПРОПИМОРФ. ИЗМЕРЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИЙ В ВОДЕ**

*М.В.Ларькина*

*ФБУН "ФНЦГ им. Ф.Ф. Эрисмана" Роспотребнадзора,  
г. Мытищи, Россия*

Доступ к чистой воде – это основа здоровья и благополучия людей. Загрязнение воды пестицидами – это серьезная проблема, особенно в сельскохозяйственных регионах, где химикаты могут попадать в водоемы через дождевые воды, стоки с полей или неправильное хранение химикатов. Это не только угрожает здоровью, но и может иметь долгосрочные экологические последствия и представлять угрозу для здоровья человека.

Фенпропиморф относится к химическому классу морфолинов (производные коричной кислоты) и является системным фунгицидом, применяемым для защиты растений от грибковых заболеваний. Он эффективен против различных видов грибков, таких как оидиум, ложная мучнистая роса, различные виды плесени, которые могут поражать такие культуры, как виноград, яблоки и другие сельскохозяйственные растения.

Хиральная молекула фенпропиморфа представляет собой изомерную смесь, в которой оба энантиомера одинаково активны.

Идентификацию и количественное определение вещества осуществляли методом газовой хроматографии с термоионным детектором (ГХ-ТИД).

Основной раствор фенпропиморфа, раствор для градуировки и внесения, рабочие растворы для калибровки готовили в ацетоне.

Построена калибровочная характеристика в диапазоне концентраций 0,25-2,5 мкг/см<sup>3</sup>, коэффициент корреляции >0,99.

Обоснованы оптимальность применения дихлорметана в качестве экстрагента вещества из воды, использование колонки с силикагелем для дополнительной очистки исследуемой пробы.

Очистка экстракта от коэкстрактивных веществ осуществлена в системе жидкость-жидкость и на колонке с силикагелем (включая проверку хроматографического поведения вещества на ней);

Установлена достоверная полнота извлечения из аналитических образцов методом «внесено - найдено» в 4-х сериях при 5 повторностях эксперимента. Для идентификации вещества использована капиллярная колонка DB-5ms (30 м x 0,25мм x 0,25 мкм) и режим программирования термостата колонок.

По основным этапам исследования выполнено 194 определения.

Результатом аналитических исследований явилось создание метода определения остаточных количеств фенпропиморфа в воде с помощью капиллярной газожидкостной хроматографии с применением термоионного детектора, включающий извлечение вещества из аналитических образцов воды дихлорметаном; дополнительную очистку на колонках с силикагелем, количественный хроматографический анализ на основе абсолютной калибровки.

Достигнутый предел обнаружения фенпропиморфа: 0,001 мг/дм<sup>3</sup>.

Диапазон полноты извлечения: 84,5-98,5% (средняя 91,87%).

Разработанный метод экстракции является воспроизводимым и количественным, и на него не влияет присутствие солевых и углеводородных загрязнений.

Показатель точности измерений концентраций фенпропиморфа в воде, выполняемых по методике измерений, установлен на уровне 18%.

Созданный метод удовлетворяет требованиям ГОСТ Р 8.563-09 [1] и обеспечивает контроль фенпропиморфа в воде (гигиенический норматив вещества ОДУ<sub>(общесан.)</sub> 0,01 мг/дм<sup>3</sup>) в соответствии с Федеральным законом РФ «Об охране окружающей сре-

ды». Метод оформлен в виде Методических указаний по разделу 4.1. Методы контроля. Химические факторы.

### *Литература*

1. ГОСТ Р 8.563-09 Государственная система обеспечения единства измерений. Методики (методы) измерений. – М.: Стандартинформ, 2019. – 16 с.

## **ОЦЕНКА СОДЕРЖАНИЯ ТЯЖЁЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ВОДЕ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ, РАСПОЛОЖЕННЫХ ВБЛИЗИ АО «НИФХИ ИМ. Л.Я. КАРПОВА», ЗА 2022-2024 ГГ.**

*Д.А. Минаков, Т.В. Мельникова, А.А. Удалова, Л.А. Киселева  
Обнинский институт атомной энергетики – филиал  
Национального исследовательского ядерного  
университета «МИФИ», г. Обнинск, Россия*

Воздействие радиационно-опасных объектов на окружающую среду комплексное, поэтому важно проводить оценку химических факторов воздействия.

Целью данной работы является оценка содержания Zn, Cd, Pb, Cu в воде водоёмов, расположенных вблизи АО «НИФХИ им. Л.Я. Карпова».

Пробоотбор осуществлялся из 2 стоячих водоёмов и рек Протва и Дырочная в 2022-2024 гг.: т.1 – пруд овальной формы, для которого возможно поступление сточных вод с предприятия; т.2 – искусственный пруд овальной формы, находится в санитарно-защитной зоне предприятия; т. 5 – р. Дырочная; река Протва – т. 6 и 7, расположены выше и ниже по течению от предприятия соответственно. Содержание тяжёлых металлов определялось методом инверсионной вольтамперометрии.

В табл. 1 представлены концентрации Zn, Cd, Pb и Cu. Наибольшие среднегодовые концентрации Zn наблюдаются в 2023 г. для т.1, т.2, т.5, т.7 ( $0,19\pm 0,04$ ,  $0,082\pm 0,068$ ,  $2,2\pm 2,2$ ,  $1,2\pm 1,2$  мг/л), в 2024 г. для т.6 ( $0,026\pm 0,001$  мг/л); Cd – в 2022 г. для т.1, т.5, т.6 ( $1,0\pm 0,11$ ,  $0,35\pm 0,35$ ,  $0,49\pm 0,39$  мкг/л), в 2023 г.

для т.7 (3,1±3,0 мкг/л), в 2024 г. для т.2 (7,1±7,0 мкг/л); Pb – в 2022 г. для т.2, т.6, т.7 (5,4±0,5, 2,3±0,7, 7,9±1,1 мкг/л), в 2023 г. для т.1 и т.5 (11±4 и 21±20 мкг/л); для Cu – в 2022 г. для т.2, т.5, т.7 (21±9, 14±4, 19±6 мкг/л), в 2023 г. для т.1 (47±37 мкг/л), в 2024 г. для т.6 (6,6±5,2 мкг/л). За исследуемый период наблюдается тенденция к снижению концентраций Zn, Cd, Pb и Cu, за исключением Zn в т. 5. Наибольшие концентрации Zn характерны для осеннего и весеннего периодов, Cd, Pb и Cu – для летнего периода.

Обнаружено превышение ПДК [1] для Cd в т. 1 осенью 2022 г., т.2 летом 2024 г., т.7 летом 2023 г., для Pb – т.1 летом 2023 г., в т.5 весной 2023 г.

Таблица 1

Диапазоны и средние концентрации тяжёлых металлов

| Водоём  |       | Zn, мкг/л             | Cd, мкг/л           | Pb, мкг/л         | Cu, мкг/л        |
|---------|-------|-----------------------|---------------------|-------------------|------------------|
| 1       | range | 0,0065-0,46           | 0,016-3,1           | 0,27-22           | 1,1-140          |
|         | mean  | 0,066±0,013<br>(n=44) | 0,41±0,11<br>(n=42) | 5,3±0,9<br>(n=44) | 17±4<br>(n=44)   |
| 2       | range | 0,0081-0,15           | 0,014-21            | 1,1-5,4           | 0,070-21         |
|         | mean  | 0,042±0,022<br>(n=6)  | 3,6±3,5<br>(n=6)    | 2,9±0,7<br>(n=6)  | 4,2±3,4<br>(n=6) |
| 5       | range | 0,0046-4,4            | 0,034±0,35          | 0,74-41           | 0,33-14          |
|         | mean  | 0,078±0,072<br>(n=6)  | 0,13±0,06<br>(n=5)  | 8,6±6,5<br>(n=6)  | 4,8±2,1<br>(n=6) |
| 6       | range | 0,00049-0,04          | 0,017-0,49          | 0,56-2,3          | 0,55-17          |
|         | mean  | 0,020±0,006<br>(n=6)  | 0,15±0,07<br>(n=6)  | 1,3±0,3<br>(n=6)  | 5,5±2,5<br>(n=6) |
| 7       | range | 0,0059-2,4            | 0,023-6,1           | 0,37-7,9          | 0,28-19          |
|         | mean  | 0,43±0,39<br>(n=6)    | 1,1±1,0<br>(n=6)    | 2,2±1,2<br>(n=6)  | 4,1±3,0<br>(n=6) |
| ПДК [1] |       | 5                     | 1                   | 10                | 1000             |

По результатам исследования:

1. Определены концентрации Zn, Cd, Pb и Cu в воде. Наблюдается тенденция к снижению Zn, Cd, Pb и Cu со временем.

2. Наибольшие концентрации Zn характерны в осенний и весенний периоды, Cd, Pb и Cu – в летний период.

3. Превышение ПДК установлено для Cd в т.1 и т.7, Pb в т.1 и т.5.

*Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (грант No. 23-29-10166).*

### ***Литература***

1 СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания. – М.: Центрмг, 2021. – 736 с.

## **ИЗУЧЕНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРОБ ВОДЫ И ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ В ВОДОЕМАХ ВБЛИЗИ АО «НИФХИ ИМ. Л.Я. КАРПОВА»**

*К. Ньямвиза, Е.Е. Черкасова, Л.А. Киселева, Р.Р. Шошина  
Обнинский институт атомной энергетики – филиал  
Национального исследовательского ядерного  
университета «МИФИ», г. Обнинск, Россия*

Радиоэкологический мониторинг необходим для контроля экологической безопасности в зонах потенциального радиационного воздействия [1-2]. Исследование физико-химических параметров, таких как рН, электропроводность и хлориды позволяет оценить миграционную способность радионуклидов. В работе анализируются пробы воды и донных отложений, взятые вблизи НИФХИ им. Л.Я. Карпова.

Методы исследования включали отбор проб воды и донных отложений в 11 участках в 2024 г. вокруг НИФХИ в разное время года. Для анализа были использованы стандартные методы, включая потенциометрический метод с ионоселективным электродом для определения хлорид-ионов воды, кондуктометриче-

ский и потенциометрический методы для измерения рН и электропроводности донных отложений.

Результаты анализа указывают на сезонные изменения в концентрации хлоридов. Весной их уровень достигал 471,3 мг/дм<sup>3</sup>, вероятно, из-за таяния снега. Летом и осенью показатели снизились до 196,5 и 114,4 мг/дм<sup>3</sup> соответственно, оставаясь в пределах нормальных значений (250 мг/дм<sup>3</sup>) [3]. рН донных отложений варьировал от 7 до 9,32, указывая на нейтральную или слабощелочную среду. Электропроводность была максимальной в пробах донных отложений в водоеме сброса сточных вод весной (1015 мкСм/см) и летом (723 мкСм/см). К высоким значениям проводимости могут приводить такие причины как присутствие в воде ионов тяжёлых металлов, разлагающейся органики, характеризующейся выделением ионов NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>. Тогда как в пробах донных отложений, отобранных из рек Протва и Дырочная, электропроводность была значительно ниже (24,69–37,33 мкСм/см), что характерно для естественных проточных водных объектов.

Выявленные сезонные колебания ионного состава, электропроводности и рН могут влиять на подвижность радионуклидов в окружающей среде, например, за счет сорбционной способности. Для точной оценки будет проведен дальнейший анализ радионуклидов в образцах, а также долгосрочный мониторинг параметров и сравнение с российскими и международными стандартами.

### *Литература*

1. Бетенеков Н.Д. Радиоэкологический мониторинг: учебн. пособие. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та., 2014. – 208 с.

2. Панов А.В., Санжарова Н.И., Кузнецов В.К. и др. Анализ подходов к радиационно-экологическому мониторингу в районах размещения ядерно и радиационно опасных объектов. Обзор // Радиация и риск. – 2019. – Т. 28. – № 3. – С. 75-95.

3 Chloride in Drinking-water. Background document for development WHO Guidelines for Drinking-water Quality [Electronic resource]: electronic textbook – Geneva: World Health Organization, 2003.

## ИССЛЕДОВАНИЕ КАЧЕСТВА ВОД РЕКИ ДОН В ПРЕДЕЛАХ ГОРОДА НОВОВОРОНЕЖ

Э.Г. Потапова

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет»,  
г. Воронеж, Россия

Главной водной артерией Воронежской области является р. Дон. Высокий уровень загрязненности бассейна реки связан с влиянием антропогенных источников загрязнения, основными из которых являются: производственные и бытовые стоки, поверхностный сток с промышленных площадок, населенных мест и сельскохозяйственных угодий и др. Поэтому оценка состояния поверхностных вод является актуальной задачей [1].

Очистные сооружения г. Нововоронеж эксплуатируются с 1982 г. и предназначены для очистки промышленных (20%) и хозяйственно-бытовых (80%) стоков, очистка которых состоит из 4 этапов: механическая, биологическая, доочистка стоков и перед сбросом в р. Дон обеззараживание гипохлоритом натрия.

*Цель* работы заключалась в исследовании влияния стоков очистных сооружений г. Нововоронеж на качество вод реки Дон на основании результатов химического анализа проб воды.

В качестве *объекта исследования* был выбран 1,5 км участок бассейна р. Дона, который является приемником стоков, прошедших очистку на городских очистных сооружениях. Осенью 2024 г. было отобрано 9 разовых проб воды из р. Дон (по 3 в каждой точке отбора). Химический анализ исследуемых проб воды проводился в эколого-аналитической лаборатории факультета географии, геоэкологии и туризма ВГУ с применением химических и инструментальных методов анализа [2].

По результатам анализа (табл. 1) были сделаны *выводы*:

1) Фоновые концентрации загрязняющих веществ (проба №1) свидетельствует о загрязненности донских вод источниками, расположенными выше по течению реки.

2) Из 12 определяемых показателей 6 значений в пробе воды, отобранной в месте выпуска стоков (проба №2), не соответ-

ствуют установленным нормативам, что свидетельствует о низкой эффективности работы очистных сооружений.

3) В контрольном створе (проба №3) значения исследуемых показателей превышают фоновые. Следовательно, городские очистные сооружения являются основным источником загрязнения исследуемого участка реки Дон, протекающего в пределах г. Нововоронеж Воронежской области.

Таблица 1

Результаты химического анализа проб воды,  
отобранных на исследуемом участке р. Дон (2024 г.)

| Показатели                           | Проба №1<br>фон | Проба №2<br>в месте<br>сброса<br>стоков | Проба №3<br>Кон-<br>трольный<br>створ | ПДК<br>рыбохоз.<br>назначе-<br>ния |
|--------------------------------------|-----------------|---|---------------------------------------|------------------------------------|
| рН                                   | 7,68            | 7,47                                    | 7,68                                  | 6,5-8,5                            |
| Взвешенные<br>вещества, мг/л         | 8,2             | <b>10,3</b>                             | <b>9,0</b>                            | Фон+0,75<br>= 8,95                 |
| Минерализа-<br>ция, мг/л             | 258<br>средняя  | 365<br>средняя                          | 287<br>средняя                        | 1000                               |
| Общ. жесткость,<br>ммоль-экв/л       | 6,15<br>средняя | 2,5<br>мягкая                           | 6,15<br>средняя                       | 7,0                                |
| НСО <sub>3</sub> <sup>-</sup> , мг/л | 235,4           | 385                                     | 246,4                                 | 400                                |
| Сl <sup>-</sup> , мг/л               | 26,6            | 62,1                                    | 30,1                                  | 300                                |
| SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , мг/л | 100             | <b>167</b>                              | <b>120</b>                            | 100                                |
| Fe общ., мг/л                        | <b>0,58</b>     | <b>0,65</b>                             | <b>0,59</b>                           | 0,1                                |
| NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , мг/л  | 8,9             | 13,7                                    | 9,3                                   | 40                                 |
| NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> , мг/л  | <b>0,22</b>     | <b>0,31</b>                             | <b>0,23</b>                           | 0,08                               |
| NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , мг/л  | <b>2,74</b>     | <b>5,31</b>                             | <b>3,03</b>                           | 2,0                                |
| Фосфаты, мг/л                        | <b>0,40</b>     | <b>1,13</b>                             | <b>0,42</b>                           | 0,20                               |

### *Литература*

1 Никитенко Д.Р., Прожорина Т.И. Гидрохимические исследования качества вод реки Сарма – притока Дона в пределах Каменского района / Региональный анализ состояния окружающей среды и экологические риски для населения: сб. науч. ст. – Воронеж: Цифровая полиграфия, 2021. – С. 163-168.

2 Каверина Н.В. и др. Методы экологических исследований.  
– Воронеж: Научная книга, 2019. – 355 с.

**СОРБЕНТЫ, ИМПРЕГНИРОВАННЫЕ ДИ-ТРЕТ-  
БУТИЛДИЦИКЛОГЕКСИЛ-18-КРАУН-6 И НОВЫМИ  
ФТОРИРОВАННЫМИ РАЗБАВИТЕЛЯМИ,  
ДЛЯ ИЗВЛЕЧЕНИЯ  $^{210}\text{Pb}$  И  $^{210}\text{Po}$**

*В.А. Разина<sup>1</sup>, Ю.Г. Шибецкая<sup>1</sup>, В.А. Турянский<sup>1</sup>, Н.А. Бежин<sup>1</sup>,  
И.Г. Тананаев<sup>1,2</sup>*

*<sup>1</sup> – СевГУ, г. Севастополь, Россия*

*<sup>2</sup> – ФИЦ КНЦ РАН, г. Апатиты, Россия*

В настоящее время всё больше внимания уделяется проблеме радиационного загрязнения водных объектов долгоживущими радионуклидами.  $^{210}\text{Pb}$  и  $^{210}\text{Po}$  считаются опасными долгоживущими природными радионуклидами, которые, согласно ОСПОРБ-99/2010, входят в перечень приоритетных радионуклидов, подлежащих определению в питьевых водах при превышении суммарной альфа-бета-активности. Поэтому разработка эффективных сорбционных материалов для извлечения  $^{210}\text{Pb}$  и  $^{210}\text{Po}$  из водных сред является актуальной задачей.

Нами был получен ряд сорбентов на основе ди-трет-бутилдициклогексил-18-краун-6 (ДТБДЦГ18К6) и новых фторированных разбавителей путем импрегнирования различных видов носителей краун-эфиром или смесью краун-эфира с добавкой в присутствии разбавителей. В качестве разбавителей предлагается использовать однокомпонентные негорючие умеренно полярные фторированные разбавители, так как они обладают хорошими гидродинамическими свойствами, химической стабильностью, а также не образуют трудноудаляемые продукты гидролиза и радиолиза [1].

Определены оптимальные компоненты и условия синтеза данных сорбентов. Степень извлечения свинца полученными сорбентами исследовали с помощью модельных растворов, содержащих 0,1 ÷ 8 моль/л  $\text{HNO}_3$  или 0,1 ÷ 4 моль/л  $\text{HCl}$ . Лучшие результаты показали сорбенты на основе стирол-

дивинилбензольного носителя LPS-500 с концентрацией ДТБДЦГ18К6 в разбавителе 1 моль/л. Оптимальные время и температура импрегнирования составляют 1-2 ч при 50-60 °С.

Полученные сорбенты можно использовать для извлечения  $^{210}\text{Pb}$  и  $^{210}\text{Po}$  из природных (пресных и морских) вод.

Далее планируется исследование структурных характеристик и физико-химических параметров (изотермы, кинетики, динамики, селективности) полученных сорбентов.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Севастопольского государственного университета, проект № 42-01-09/253/2023-2.*

### ***Литература***

1 Timoshenko V.V., Brechalov A.A., Ermolenko Y.E., Smirnov I.V. Fast method for studying the extraction of the main HLW components with crown ethers in new fluorine-containing diluents // RAD Conference Proceedings. – 2021. – V. 5. – P. 42-47.

## **МАТРИЧНЫЕ ЭФФЕКТЫ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ МЕДИ В СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ПРОДУКЦИИ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОТЕРМИЧЕСКОЙ АТОМНО-АБСОРБЦИОННОЙ СПЕКТРОМЕТРИИ**

*А.С. Родионов<sup>1</sup>, М.В. Егорова<sup>1,2</sup>*

*<sup>1</sup> – ФБУН "ФНЦГ им. Ф.Ф. Эрисмана" Роспотребнадзора,  
г. Мытищи, Россия*

*<sup>2</sup> – ФГБОУ ДПО РМАНПО Минздрава России, г. Москва, Россия*

Матричные эффекты остаются одной из ключевых проблем в аналитической химии, особенно при работе со сложными пробами и следовыми концентрациями веществ. В контексте следового анализа даже незначительные помехи могут существенно снизить точность и достоверность результатов. Неочевидным фактом является значительное проявление мешающих влияний в атомно-абсорбционной спектрометрии, особенно с электротермической атомизацией (ЭТА-ААС), где многостадийный

процесс термической обработки пробы усиливает взаимодействие аналита с матрицей.

Отдельную проблему представляет анализ образцов сельскохозяйственной продукции, где высокая концентрация органических соединений и солей может приводить к ложноположительным или ложноотрицательным результатам. Так, фоновое поглощение, вызываемое органическими компонентами исследуемого образца, маскирует сигнал аналита, приводя к завышению результатов анализа, а конкуренция за места сорбции в графитовой печи между целевым металлом и матричными элементами приводит к нелинейности калибровочных зависимостей [1].

Высокие уровни фонового поглощения периодически наблюдаются при анализе сельскохозяйственной продукции на содержание металлов, в том числе меди, входящей в состав большинства разрешенных к применению на территории РФ фунгицидных препаратов. Именно отсутствие системности в проявлении матричных эффектов свидетельствует о необходимости проявления особого внимания при работе с образцами сельскохозяйственных культур.

Целью настоящей работы являлась констатация наиболее эффективного способа устранения матричных эффектов на основании многолетних экспериментов по определению остаточных количеств медьсодержащих пестицидов в растительных образцах.

Количественное определение меди осуществляли методом атомно-абсорбционной спектроскопии с электротермической атомизацией после микроволновой минерализации по стандартной программе для пищевых продуктов, рекомендованной производителем микроволновой системы.

Результаты исследования показали, что матричные эффекты выражены наиболее ярко при анализе образцов ягод винограда. Сделан вывод, что предпочтительным методом коррекции матричных помех для выбранных матриц является матричная калибровка на неконтаминированных образцах. Рассмотренные методы стандартных добавок и применение модификаторов матрицы оказались менее удобными и малоэффективными –

применение этих методов при определении меди в ягодах винограда вызывало завышение ожидаемой концентрации в 3-5 раз.

Таким образом, для минимизации матричных эффектов при определении меди в растительных матрицах методом ЭТА-ААС рекомендовано применение матричной калибровки. Несистемный характер мешающих влияний в сельскохозяйственных пробах требует обязательной предварительной оценки влияния матрицы и индивидуального подхода к выбору методов коррекции фона.

### *Литература*

1 Carter J.A., Barros A.I., Nóbrega J.A., Donati G.L. Traditional calibration methods in atomic spectrometry and new calibration strategies for inductively coupled plasma mass spectrometry // Front Chem. – 2018. – №6. – P. 504. doi: 10.3389/fchem.2018.00504.

## **МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОГО ПРИМЕНЕНИЯ ПРОТРАВИТЕЛЯ СЕМЯН КЛАССА ФЕНИЛПИРРОЛОВ**

*Д.Н. Соболев*

*ФБУН "ФНЦГ им. Ф.Ф. Эрисмана" Роспотребнадзора,  
г. Мытищи, Россия*

Быстро растущее население планеты требует увеличения темпов производства продуктов питания. Благодаря развитию агрохимического производства возможности сельского хозяйства позволяют обеспечить этот запрос – широкая номенклатура пестицидных препаратов позволяет легко защитить продукцию на всех этапах производства: подготовка и хранение посевного материала, уход за растениями в процессе роста, гарантии безопасной транспортировки в любую точку земного шара. При этом научный поиск новых разработок в области обеспечения адекватного уровня безопасности пищевых продуктов для потребителя является необходимой частью работы по развитию передовых методов защиты здоровья населения от намеренно загрязненной пестицидами продукции. Регулярный мо-

мониторинг остатков пестицидов является одним из необходимых шагов для этого. Совершенствование аппаратной базы исследовательских лабораторий настоятельно требует разработки новых и адаптации имеющихся методик, учитывающих возможности современного оборудования. Разработка обновленных унифицированных и комбинированных методик позволяет расширить возможности лабораторного контроля пестицидов.

Для формирования здорового урожая бобовых культур перед высадкой проводится протравливание – химическая обработка семян пестицидными препаратами различного спектра действия (инсектициды, фунгициды и другие). Действующее вещество флудиоксонил [1] (химический класс фенилпиррол) является несистемным фунгицидом широкого спектра действия, аналогом природных антимикотических веществ. Вещество незначительно мигрирует в почве благодаря слабой растворимости в воде, благодаря чему создает защитный барьер вокруг посаженных семян и подавляет рост мицелия. Для использования на территории Российской Федерации разрешена широкая номенклатура препаратов на основе флудиоксонила. Официальные методики определения флудиоксонила, в большинстве своем, основаны на использовании ресурсоемких схем пробоподготовки и последующем детектировании с помощью высокоэффективной жидкостной хроматографии с ультрафиолетовым детектором. Такие методики утверждены и являются обязательными к использованию, хотя не используют возможностей современной методологической базы, позволяющей значительно снизить затраты на проведение исследований.

Цель настоящего исследования состояла в валидации процедуры определения остаточных количеств флудиоксонила в образцах семян бобовых культур.

Сформированная схема анализа включала в себя экстракцию флудиоксонила из анализируемых проб методом QuEChERS, последующие идентификацию и количественное определение флудиоксонила выполняли методом газовой хромато-масс-спектрометрии с использованием оборудования фирмы «Agilent Technologies» (США). Благодаря возможностям модификации режима хроматографирования и мониторинга выбранных ионов

при детектировании удалось достичь разделения пиков аналита и коэкстративных веществ с пределом определения 0,01 мг/кг.

Метод был апробирован на образцах гороха, фасоли, сои, нута. Для подтверждения надежности метода были исследованы как контрольные, так и контаминированные флудиоксонилем образцы (метод добавок). Данные показали, что метод позволяет получить достоверные результаты о содержании флудиоксонила в образцах зернобобовых культур.

Представленный метод имеет предел определения, составляющий 20% от необходимого для утвержденных гигиенических нормативов флудиоксонила, и позволяет проводить мониторинговые мероприятия в рассмотренных зернобобовых культурах.

### *Литература*

1 Cabras P., Angioni A., Garau V.L., Minelli E.V. Gas chromatographic determination of cyprodinil, fludioxonil, pyrimethanil, and tebuconazole in grapes, must, and wine // J AOAC Int. – 1997. – V. 80(4). – P. 867-870. PMID: 9241848.

## **БЕЗОПАСНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ПЕСТИЦИДОВ ДЛЯ РАБОЧИХ: АНАЛИТИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ**

*Д.Н. Соболев*

*ФБУН «Федеральный научный центр гигиены  
им. Ф.Ф. Эрисмана» Роспотребнадзора, Москва, Россия*

Нарушение регламентов применения пестицидов и их ненадлежащее использование для борьбы с вредителями сельского хозяйства приводит к высокому риску для здоровья как потребителей конечной продукции, так и работников сельского хозяйства. Оценка риска негативного воздействия чрезвычайно важна для персонала, подвергающегося воздействию во время выполнения профессиональных обязанностей [1]. Воздействие на различных этапах применения пестицидов в полевых условиях может происходить несколькими способами – через дыхательные пути, орально, а также попадая в глаза или на кожу. Хорошо известно, что из различных путей воздействия основ-

ным и значимым путем проникновения пестицидов в организм человека является всасывание через кожу [2].

Перечисленные факторы указывают на необходимость изучения условий труда работников сельского хозяйства.

ФБУН «ФНЦГ им. Ф.Ф. Эрисмана» при проведении исследований для контроля постингаляционной экспозиции пестицидами, во время проведения полевых работ при регистрационных испытаниях препаратов, руководствуется нормативными документами – методическими указаниями (МУК), утвержденными по разделу «4.1. Методы контроля. Химические факторы». В МУК указаны условия проведения анализа для контроля воздушной среды, и только 20% официальных методов содержит условия для оценки кожной экспозиции операторов.

Для оценки возможного риска ингаляционного воздействия при попадании веществ в организм через дыхательные пути проводится анализ проб воздушной среды в зоне дыхания операторов, отбираемых на сорбирующий материал или в поглотительную среду. Выбор материала проводится с учетом физико-химических свойств аналита – для этого рассчитывается возможная концентрация парообразной фракции вещества в воздухе. Основываясь на величине этого показателя, отбирают пробы только аэрозольной фракции, на бумажные фильтры высокой плотности (фильтры «белая/синяя/красная лента»), либо аэрозольной и парообразной фракции, на пробоотборные системы, содержащие полимерные материалы (картриджи, пробоотборные трубки) или растворители.

Для оценки дермальной экспозиции у рабочего персонала отбираются пробы смывов с кожных покровов.

Согласно МУК 4.1.1401-03, из отобранных проб воздуха рабочей зоны фипронил экстрагируют с помощью ацетона, условия проведения пробоподготовки и анализа проб воздушной среды масштабировали на образцы смывов, полученные образцы анализируются хроматографическими методами. Предел количественного определения фипронила в образцах воздуха рабочей зоны должен быть не выше половины ориентировочного безопасного уровня воздействия (ОБУВ)  $0,1 \text{ мг/м}^3$ . Для предела определения  $0,01 \text{ мг/м}^3$  пробы отбирались со скоростью 1

дм<sup>3</sup>/мин в течение 2 мин, после пробоподготовки концентрировались до объема 4 см<sup>3</sup>. Пробы смывов с кожных покровов после пробоподготовки концентрировали до объема 2 см<sup>3</sup>, полученный предел определения составил 0,01 мкг/смыв [3].

С помощью описанного метода в 2017-2025 гг. проведено более 20 исследований пестицидных препаратов, содержащих фипронил. По результатам исследований препараты успешно получили разрешение для применения на территории Российской Федерации.

### *Литература*

1 МУ 1.2.3017-12. Оценка риска воздействия пестицидов на работающих. Методические указания. – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2012.

2 Попова А.Ю., Ракитский В.Н., Юдина Т.В. и др. Гигиенический и аналитический контроль загрязнения кожных покровов работающих с пестицидами // Мед. труда и пром. экология. – 2015. – №10. – С. 8–13.

3 Ракитский В.Н., Федорова Н.Е., Березняк И.В. и др. Дermalная экспозиция: требования к методикам определения в смывах действующих веществ пестицидов // Мед. труда и пром. экология. – 2018. – №9. – С. 43–48.

## **ГИГИЕНИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПРИМЕНЕНИЯ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ ФУНГИЦИДОВ НА ОСНОВЕ ФАМОКСАДОНА**

*Н.А. Степанова, В.И. Антипова  
ФБУН "ФНЦГ им. Ф.Ф. Эрисмана" Роспотребнадзора,  
г. Мытищи, Россия*

В сельском хозяйстве фунгициды занимают ключевое место в защите растений, их ассортимент постоянно обновляется, за счет создания новых высокоэффективных препаратов, которые позволяют минимизировать риски для работающих и населения. Эффективность работы с химическими средствами защиты растений зависит не только от физико-химических свойств пести-

цидов, но и технологии их применения. В Российской Федерации препараты на основе фамоксадона регистрируются для применения в качестве фунгицида широкого спектра действия и являются высокоэффективным средством для защиты растений от различных грибных заболеваний. Он действует системно, проникая в ткани растения и обеспечивая длительную защиту от патогенов, таких как *Phytophthora*, *Pythium* и других. Фамоксадон используется для обработки различных сельскохозяйственных культур, включая картофель, томаты, виноград и других растений, пораженных грибковыми инфекциями. Его применение способствует предотвращению распространения болезней и повышению устойчивости растений к стрессовым факторам.

Все работы с препаратом проводились в защитной одежде: х/б футболка, костюме защитный (куртка, полукомбинезон), головной убор; латексные перчатки; для защиты органов дыхания использованы респираторы; защитные очки для защиты от механических и химических воздействий; резиновые сапоги или другая плотная обувь.

В данном сообщении представлены результаты гигиенической оценки различных технологий применения фунгицидов на основе фамоксадона, таких как наземное штанговое опрыскивание полевых культур (пшеницы, ячменя) и вентиляторное опрыскивание садовых культур (яблонь).

Был проведен отбор проб воздуха рабочей зоны и смывов с кожных покровов операторов. Пробы воздуха рабочей зоны отбирались в зоне дыхания работающих с пестицидами, до и после работы проведены смывы со стандартных участков кожи оператора (лицо, шея, руки, грудь, голень).

На сегодняшний день разработаны методы определения данного действующего вещества в воздушной среде и смывах с кожных покровов операторов. Данная методика обеспечивает нижний предел количественного измерения для воздуха рабочей зоны  $0,05 \text{ мг/м}^3$  при аспирации  $5 \text{ дм}^3$  воздуха, что в 20 раз ниже рекомендуемой величины ОБУВ  $1,0 \text{ мг/м}^3$ . Нижний предел количественного определения для смывов- $0,1 \text{ мкг/смыв}$ .

Измерение уровней фамоксадона проводилось методом высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ) на об-

ращенной фазе с диодно-матричным детектором при 228 нм, после экстракции вещества из анализируемых воздушных проб ацетоном, в качестве смывающей жидкости был выбран этиловый спирт. Измерения концентраций фамоксадона в смывах с кожных покровов основывалась на Методических рекомендациях «Разработка методов определения вредных веществ на коже» (№3056-84 от 26.07.84 г.), а также Методических указаниях «Оценка риска воздействия пестицидов на работающих» (МУ 1.2.3017-12).

В результате выполненных исследований по определению экспозиционных уровней действующего вещества в воздушной среде, а также в смывах с кожных покровов работающих, при опрыскивании полевых и садовых культур, установлено, что содержание фамоксадона было ниже предела количественного определения.

Для расчета риска дермального и ингаляционного воздействия использовались  $\frac{1}{2}$  нижнего предела обнаружения в воздухе рабочей зоны и на коже. Риск для работающих при применении фунгицида был приемлем ( $KB_{\text{сумм}} = 0,034 \leq 1$ ).

Таким образом, пределы обнаружения используемого метода определения фамоксадона обеспечивают критерии для оценки приемлемого риска.

## **ВЛИЯНИЕ КАЧЕСТВА ИСПОЛЬЗУЕМЫХ РЕАКТИВОВ НА ДОСТОВЕРНОСТЬ РЕЗУЛЬТАТОВ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ МАСС-СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКИХ МЕТОДОВ**

*А.В. Сулова, Н.И. Добрева  
ФБУН "ФНЦГ им. Ф.Ф. Эрисмана" Роспотребнадзора,  
г. Мытищи, Россия*

Хроматографические методы анализа широко используются в различных областях науки и промышленности, в том числе для разделения и идентификации компонентов в сложных смесях. Однако достоверность данных методов во многом зависит

от качества используемых реактивов и условий проведения эксперимента.

При использовании высокочувствительных хроматографических методов с масс-спектрометрическим детектированием примеси, содержащиеся в реактивах, могут оказывать существенное влияние на получаемый результат. Это проявляется в интерференции пиков, повышении фона и невозможности точной идентификации анализируемых компонентов.

Процедура подготовки проб часто включает использование различных реактивов, таких как кислоты, щелочи, органические растворители, сорбенты и другие вещества. Несмотря на высокую степень очистки, современные масс-спектрометры способны обнаруживать даже незначительные количества примесей. При этом состав реактивов варьирует между партиями, что подчёркивает необходимость их контроля, особенно при смене партии или поставщика.

Таким образом, замена реактивов в ранее отработанном методе может привести к недостоверным результатам при идентификации и количественном анализе веществ. Это делает оперативный контроль особенно важным. Одним из вариантов оперативного контроля является использование альтернативного метода для определения искомым компонентов (РМГ 76-2004).

В представленном исследовании был использован метод матричной твердофазной дисперсии в сочетании с газовой хроматографией для определения остаточных количеств хлорорганических пестицидов (ХОП), таких как 4,4'-дихлордифенилтрихлорэтан (ДДТ) и его метаболиты (4,4'-ДДД и 4,4'-ДДЭ), изомеры гексахлорциклогексана ( $\alpha$ ,  $\beta$  и  $\gamma$  – ГХЦГ) и гексахлорбензол (ГХБ). Для анализа проб использовалось два детектора: детектор электронного захвата (ЭЗД) и масс-спектрометрический детектор (МСД).

В ходе эксперимента была приготовлена и проанализирована с использованием ЭЗД и МСД серия проб пищевых продуктов с добавкой ХОП на уровне 0,01 мг/кг. Анализ с применением МСД не выявил в пробах ХОП. При использовании ЭЗД были получены воспроизводимые результаты со степенью извлечения, варьирующей от 80 до 110%.

Последовательная проверка используемых реактивов и посуды выявила, что использование флорисила без предварительного прокаливания оказало негативное влияние на результаты хроматографического анализа при использовании МСД. Влага и остаточные примеси в сорбенте привели к повышению фонового сигнала, что сделало анализ проб невозможным. При повторном анализе проб с подготовленным сорбентом на хроматограмме были идентифицированы пики всех анализируемых веществ, соответствующие диапазону полноты извлечения 85-105%, при удовлетворительной воспроизводимости.

Полученные результаты подчеркивают необходимость тщательной подготовки всех компонентов анализа, включая материалы, не предполагающих дополнительной очистки. Продемонстрирована эффективность использования альтернативных методов анализа для контроля качества в спорных ситуациях.

## **ГИГИЕНИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ИНСЕКТОАКАРИЦИДА В ФОРМЕ ДЫМОВОЙ ШАШКИ НА ОСНОВЕ АЛЬФА- ЦИПЕРМЕТРИНА ПРИ ОБРАБОТКЕ НЕЗАГРУЖЕННЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЙ**

*Л.С. Тарасова, О.В. Артемова  
ФБУН "ФНЦГ им. Ф.Ф. Эрисмана" Роспотребнадзора,  
г. Мытищи, Россия*

В настоящее время существует большая потребность в новых препаратах, которые являются более чистыми и безопасными для работающих и населения, оказывают минимальное воздействие на окружающую среду и могут применяться в минимальных дозах [1]. Альфа-циперметрин входит в число инсектицидов, рекомендованных Всемирной организацией здравоохранения (ВОЗ).

В сельском хозяйстве РФ широко применяются инсектициды на основе альфа-циперметрина, относящиеся ко 2 классу опасности (высоко опасные) для человека и ко 2 классу опасности (высоко опасные) по стойкости в почве.

Альфа-циперметрин относится к синтетическим пиретроидам. Высокотоксичен для пчёл и других полезных насекомых, рыб и мелких водных ракообразных. Среднетоксичен для млекопитающих, малотоксичен для птиц [2].

Риск для оператора при воздействии инсектицида на основе альфа-циперметрина определяли в период регистрационных испытаний в процессе применения дымовой шашки (ДШ) при однократной обработке (дымление) незагруженных производственных помещений против вредителей запасов (насекомые, клещи).

Производственный процесс осуществлял оператор. При работе (сжигание вручную шашек) использованы средства индивидуальной защиты (СИЗ). При обработке в воздухе рабочей зоны оператора д.в. не обнаружено. В смывах с кожных покровов оператора после обработки альфа-циперметрин обнаружен в 2-х пробах на уровне 0.000294 и 0.000118мкг/см<sup>2</sup>, соответственно (предел обнаружения – менее 0.0001 мкг/см<sup>2</sup>).

На 3-и сутки после обработки проводились ручные работы для обоснования срока безопасного входа людей на обработанные пестицидом площади. В воздухе рабочей зоны и смывах с кожи оператора, выполненных после работы, альфа-циперметрин не обнаружен. Для расчета коэффициентов безопасности при комплексном (ингаляционном и дермальном) воздействии альфа-циперметрина по экспозиционным уровням (КБсумм) использована величина ПДК в воздухе рабочей зоны – 0,5 мг/м<sup>3</sup> и ОДУзкп (ориентировочно допустимый уровень загрязнения кожных покровов), равный 0,00043 мг/см<sup>2</sup>, рассчитанный с учетом острой кожной токсичности (LD<sub>50</sub>>2000мг/кг) и коэффициента запаса 10. Для расчета риска по поглощенной дозе (КБп) установлен ДСУЭО (допустимый суточный уровень экспозиции для работающих), который составляет для альфа-циперметрина 0,0333 мг/кг. При оценке экспозиционных уровней и поглощенной дозы для работающих при обработке инсектицидом на основе альфа-циперметрина установлен допустимый риск: КБсумм – 0,0544, КБп – 0,0997, при проведении ручных работ: КБсумм – 0,0553, КБп – 0,131, Риск для работающих считается допустимым при КБсумм и КБп ≤1 [3].

Риск воздействия пестицидов на работающих обеспечивается соблюдением всех требований безопасности и регламентов применения, установленных для каждого препарата в ходе регистрационных испытаний на основании полной токсиколого-гигиенической характеристики с учётом класса опасности.

### *Литература*

1. Шер Г.Б. Системы доставки пестицидов с контролируемым высвобождением. – Нью-Йорк, США: Marcel Decker Inc., 1999. – 331 с.

2. Справочник по защите растений // Сайт «agroxxi.ru» [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://www.agroxxi.ru/goshandbook/wiki/pesticides> ( дата посещения 15.03.2025).

3. МУ 1.2.3017-12. Оценка риска воздействия пестицидов на работающих. Методические указания. – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2012.

## **АНТИОКСИДАНТНАЯ АКТИВНОСТЬ ГИДРОЛИЗАТОВ МОЛОЗИВА И ИХ КОМПЛЕКСОВ С $\beta$ И $\gamma$ - ЦИКЛОДЕКСТРИНАМИ**

*Е.И. Тарун, В.В. Рыжикова, С.А. Костюковец, О.С. Крыж  
Учреждение образования «Международный государственный  
экологический институт имени А.Д.Сахарова»  
Белорусского государственного университета,  
г. Минск, Республика Беларусь*

Биологически активные пептиды образуются в результате воздействия на белки молока пищеварительных ферментов желудочно-кишечного тракта, при технологической обработке очищенными протеазами, а также ферментации молочнокислыми бактериями [1]. После ферментативного гидролиза основных белков-аллергенов молока образуются гипоаллергенные пептиды, что связано с расщеплением участков антигенных детерминант в соответствующих белках [2]. Целью создания комплексов гидролизата белков молозива с  $\beta$ - и  $\gamma$ -циклодекстринами явля-

лось изучение влияния комплексообразования на антиоксидантную активность (АОА) гидролизованных белков молока.

Метод определения АОА по отношению к активированным формам кислорода основан на измерении интенсивности флуоресценции флуоресцеина и ее уменьшении под воздействием свободных радикалов [3].

Гидролиз белков молозива приводит к уменьшению высокомолекулярной фракции белка, способствуя повышению антиоксидантной активности. Гидролизат молозива со степенью гидролиза 1% (ГМ–1%) восстанавливает флуоресценцию флуоресцеина до 74%. Его показатель  $IC_{50}$  (30,6 мкг/мл) в 1,9 раз ниже  $IC_{50}$  для молозива. Более глубокий гидролиз позволяет усилить АОА. Гидролизат молозива со степенью гидролиза 5% (ГМ–5%) восстанавливает флуоресценцию флуоресцеина до 78%, а его показатель  $IC_{50}$  (17,3 мкг/мл) в 3,3 раза ниже аналогичного показателя молозива и в 1,8 раз ниже аналогичного показателя ГМ–1%.

Последующая ультрафильтрация гидролизатов приводит к еще большему уменьшению высокомолекулярной фракции белка, способствуя повышению антиоксидантной активности. Образец ультрафильтрата гидролизата молозива, полученный с применением фильтров с разделяющей способностью 10 кДа (ГМ–5%-УФ-10кДа), восстанавливает флуоресценцию флуоресцеина до 80%. Применение фильтра с большей разделяющей способностью (5 кДа) позволяет получить фракцию белка с меньшей молекулярной массой и, тем самым, увеличить АОА. Образец ультрафильтрата гидролизата молозива (ГМ–5%-УФ-5кДа) восстанавливает флуоресценцию флуоресцеина до 90%. Показатель  $IC_{50}$  (8,6 мкг/мл) уменьшается в 1,3 раза по сравнению с ГМ–5%-УФ-10кДа.

Образец комплекса ультрафильтрата гидролизата молозива с  $\beta$ -циклодекстрином (ГМ–5%-УФ-5кДа– $\beta$ -ЦД) восстанавливает флуоресценцию флуоресцеина до 92%. Показатель  $IC_{50}$  (5,9 мкг/мл) в 1,5 раз ниже аналогичного показателя для образца ГМ–5%-УФ-5кДа. Благодаря большему количеству гидроксильных групп, содержащихся в  $\gamma$ -циклодекстрине, комплекс ультрафильтрата гидролизата молозива с  $\gamma$ -циклодекстрином пока-

зывает более высокую АОО по сравнению с ГМ-5%-УФ-5кДа-β-ЦД - восстанавливает флуоресценцию флуоресцеина до 96%. Показатель IC<sub>50</sub> (4,0 мкг/мл) в 1,5 раз ниже аналогичного показателя для образца ГМ-5%-УФ-5кДа-β-ЦД.

### *Литература*

1 Mohanty D. Antimicrobial peptides as natural bio-preservative to enhance the shelf-life of food // Int. J. Food Prop. – 2016. – V.19. – P.837–846.

2 Tsabouri S., Douros K., Priftis K.N. Cow's milk allergenicity// Endocr. Metab. Immune. – 2014. – V.14. – №1. – P.16–26.

3 Тарун Е.И., Данькова А.В., Пырко А.Н. Антиоксидантная активность гексагидрохинолонов// Журнал Белорусского государственного университета. Экология. – 2019. – № 2. – С. 77–83.

## **СОРБЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ КРЫМСКОГО КИЛА ДЛЯ ОЧИСТКИ ВОДНЫХ СРЕД ОТ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ**

*В.А. Турянский, В.А. Разина, Ю.Г. Шибецкая, Н.А. Бежин  
СевГУ, г. Севастополь, Россия*

Загрязнение водных объектов тяжелыми металлами является одной из наиболее острых экологических проблем современности [1]. Особую опасность представляют металлы, обладающие способностью к биоаккумуляции и токсическим воздействием на живые организмы. В связи с этим разработка эффективных, экономически доступных и экологически безопасных сорбентов для очистки вод является актуальной задачей [2].

Одним из перспективных материалов для получения сорбентов для удаления тяжелых металлов является Крымский кил – природный минерал, отличающийся доступностью, низкой стоимостью и хорошими сорбционными характеристиками. В данной работе изучена возможность применения Крымского кила и его модифицированных форм для очистки водных растворов, загрязненных такими тяжелыми металлами, как свинец, медь, цинк, кадмий, железо и марганец. Модифицирование поверхно-

сти глины проводили кислотной и щелочной обработкой, а также нанесением наночастиц алюминия, железа, а также их комбинации.

Исследования показали высокие сорбционные характеристики исходного и модифицированного Крымского кила по отношению к изучаемым тяжелым металлам. Было установлено, что наиболее высокие показатели сорбционной емкости достигаются при использовании модифицированного с использованием раствора LiOH Крымского кила. Полученный материал демонстрирует высокие коэффициенты распределения и степень очистки воды, превышающую 99% для изученных металлов.

Также была исследована эффективность сорбентов, приготовленных с использованием различных связующих агентов, для создания оптимальных гидродинамических свойств сорбента: альгината натрия, метилцеллюлозы, карбоксиметилцеллюлозы, гидроксипропилцеллюлозы, желатина, поливинилового спирта и гуммиарабики. Для работы были изучены различные концентрации и соотношения раствора, связующего с навеской обработанного Крымского кила. Также был изучен вариант модификации сорбента со связующим прокаливанием. Установлено, что применение желатина, альгината натрия, карбоксиметилцеллюлозы, метилцеллюлозы и поливинилового спирта обеспечивает высокую механическую прочность и стабильность сорбентов в водных средах, что делает их перспективными для практического использования. В тоже время гидроксипропилцеллюлоза и гуммиарабик не дал достаточной механической прочности.

С учетом анализа сорбционной эффективности, наилучшие результаты в качестве связующего дали альгинат натрия и поливиниловый спирт, при этом степень очистки по ряду металлов снизилась несущественно, не более 1%.

Таким образом, сорбционные материалы на основе Крымского кила обладают высоким потенциалом для эффективной очистки водных сред от тяжелых металлов. Разработанные сорбенты могут быть рекомендованы для широкого применения в водоочистке благодаря сочетанию экономичности, экологичности и высокой сорбционной эффективности.

## *Литература*

1 Тихомирова В.В., Смирнова П.С. Загрязнение поверхностных и сточных вод российской федерации тяжелыми металлами // Международный научно-исследовательский журнал. – 2022. – №10. – С. 56.

2 Дробашева Т.И., Расторопов С.Б. Токсичные загрязнения природных вод тяжелыми металлами // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки. – 2005. – №8. – С. 53-60.

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ НОВОГО ФУНГИЦИДА КЛАССА БЕНЗОФЕНОНА В ГРИБАХ**

*Н.Е. Федорова*

*ФБУН "ФНЦГ им. Ф.Ф. Эрисмана" Роспотребнадзора,  
г. Мытищи, Россия*

Современное сельскохозяйственное производства невозможно представить без применения химических средств защиты растений. Однако к пестицидам, применяемым в качестве фунгицидов и инсектицидов, с течением времени не исключено развитие резистентности, что побуждает поиск новых более совершенных молекул, проявляющих необходимую биологическую эффективность. В 2006 г. компанией БАСФ был представлен новый фунгицид класса бензофенонов – метрафенон.

Метрафенон – фунгицид превентивного действия, активный против мучнистой росы и пятнистости. Быстро проникая в ткани ягод и листьев, препарат остаётся в зоне нанесения рабочего раствора, прерывая процесс развития гриба, подавляя рост мицелия и споруляцию. Часть вещества в тканях растения переносится акропетально (с восходящими потоками), остаточные количества могут обнаруживаться в растениях после обработки почвы.

В РФ препараты на основе метрафенона разрешены к применению на зерновых культурах и винограде, но получили широкое распространение в мире, используясь в более чем 50 странах

при возделывании не только зерновых и винограда, но и плодовых культур, клубники, овощей, грибов, выращиваемых в том числе в условиях защищенного грунта. Последнее не исключает возможность поставки в РФ импортируемой сельскохозяйственной продукции, контаминированной метрафеноном. На продовольственном рынке грибы представлены не только свежей, но и сушеной продукцией. В соответствии с Российским законодательством содержание метрафенона (временный МДУ для импортируемой продукции) регламентировано в грибах на уровне 0,4 мг/кг (СанПиН 1.2.3685-21).

**Цель работы** – разработать метод определения остаточных количеств метрафенона в грибах, доступный для реализации в широком спектре лабораторий практической службы при проведении мониторинговых и надзорных мероприятий.

В основу разработки был положен метод высокоэффективной жидкостной хроматографии с ультрафиолетовым детектором на диодной матрице (ВЭЖХ-ДАД), реализуемый на жидкостном хроматографе (Agilent 1260), а также классическая схема пробоподготовки, включающая экстракцию водным органическим растворителем и последующую очистку адсорбционной хроматографией на сорбентах.

По условиям пробоподготовки гомогенизированный образец свежих грибов массой 20 г экстрагировали 75 см<sup>3</sup> смеси ацетонитрил-вода (80:20, по объему). В измельченный образец сухих грибов массой 5 г перед экстракцией вносили 20 см<sup>3</sup> воды и оставляли на 30 мин до экстракции. Отфильтрованный экстракт доводили водой до объема 200 см<sup>3</sup>, ½ часть экстракта, эквивалентную 10 г свежих и 2,5 г сухих грибов, упаривали до водного остатка и очищали адсорбционной хроматографией последовательно на патронах для твердофазной экстракции на основе и оставляли (С18), затем силикагеля.

Полученный раствор анализировали методом ВЭЖХ-ДАД, используя колонку (150 мм\*4,6 мм), содержащую Eclipse XDB C18, зернением 5 мкм, подвижная фаза ацетонитрил-0,2% ортофосфорная кислота (65:35, по объему) для твердофазной экстракции объем 50 мкл, рабочая длина волны 225 нм.

Нижний предел количественного определения метрофенона в свежих грибах 0,01 мг/кг, сушеных – 0,04 мг/кг.

Ввиду отсутствия установленной величины МДУ в сухом продукте для оценки его безопасности, полученный результат в соответствии с рекомендациями ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции» (Глава 2, статья 7, п. 4) возможно пересчитать на исходный сырой продукт с учетом содержания воды в сухом и сыром продукте, используя справочные данные [1].

### *Литература*

1 Справочник // Сайт «spravochnick.ru» [Электронный ресурс] Режим доступа: ([https://spravochnick.ru/tovarovedenie/himicheskiy\\_sostav\\_i\\_pischevaaya\\_cennost\\_gribov/?ysclid=m8462j5d47312550950](https://spravochnick.ru/tovarovedenie/himicheskiy_sostav_i_pischevaaya_cennost_gribov/?ysclid=m8462j5d47312550950)) (дата посещения 15.03.2025).

## **СПЕЦИФИКА ПОДГОТОВКИ ПРОБ РАЗЛИЧНЫХ КУЛЬТУР ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ДИКВАТА ДИБРОМИДА**

*Н.Е. Федорова, А.А. Ивченкова, С.Д. Добрев  
ФБУН "ФНЦГ им. Ф.Ф. Эрисмана" Роспотребнадзора,  
г. Мытищи, Россия*

Дикват дибромид – контактный гербицид. Применяется для уничтожения однолетних сорняков в садах, виноградниках, для предуборочной десикации семенников сорго, льна, клевера, подсолнечника и др. Дикват используется во многих странах с 1960-х годов и по сей день.

Современный, наиболее достоверный подход предполагает применение ВЭЖХ-МС/МС после экстракции подкисленным метанолом.

Особенностью диквата и сродных ему соединений является их исключительно высокая растворимость в воде, что приводит к экстракции большого количества дополнительных соединений и к затруднительной очистке экстракта от коэкстрактивных веществ (сахара, белки, витамины и пр.), а двухзарядные ионы

диквата провоцируют создание комплексов, которые нужно дополнительно разрушать для повышения выхода исследуемого соединения.

Стандартизованным путем выделения ионов диквата является комбинированное подкисление и нагревание в процессе экстракции.

В данной работе изучались нюансы подготовки проб гороха, сои и льна для определения диквата методом ВЭЖХ-МС/МС.

Валидация метода определения остаточных количеств дивата дибромида в образцах семян льна, зерне сои и гороха проводилась согласно методике ФР.1.31.2019.34981. «Методика измерений массовой доли параквата, диквата, мепикватхлорида, хлормекватхлорида и циромазина в продукции растительного происхождения методом высокоэффективной жидкостной хроматографии с тандемным масс-спектрометрическим детектированием». Метод состоит во взятии 5 г навески, добавлении 10 мл воды и 10 мл метанола с 1% муравьиной кислотой. Затем следует нагревание на водяной бане при 80 °С в течение 15 мин, встряхивание, центрифугирование, фильтрование.

Несмотря на отработанный ход подготовки проб зерна, предусмотренный методикой, каждая матрица требует оценки ее специфики. Так, зерно гороха и особенно сои отличается высоким содержанием белка (до 34 г на 100 г продукта). Часть белков не успевает свернуться и выпасть в осадок при термической обработке, переходит в экстракт при подготовке проб и оказывает негативное влияние на аналитический сигнал и чистоту хроматографической колонки и масс-детектора.

Поэтому дополнительно для избавления от части растворенных примесей, пробы вымораживались при температуре -18 °С не менее 8 час. Затем, надосадочная жидкость отбиралась и разбавлялась ацетонитрилом в соотношении 1:1 для осаждения коэкстрактивных компонентов, что подтверждалось визуально.

Семена льна помимо достаточно высокого содержания белка (около 18%), обладают большим запасом полисахаридов. При нагревании семян с водой получается *Mucilago seminis Lini* (слизь семян льна), широко применяемая в медицине для уменьшения раздражения при воспалительных и язвенных про-

цессах на слизистых оболочках, особенно в желудочно-кишечном тракте. В аналитической химии данная слизь делает невозможным фильтрование проб как через фильтр с тефлоновой мембраной (PTFE), так и через нейлоновый фильтр, обычно удачно применяемый для водных сред.

Подготовку семян льна проводили в дальнейшем без нагревания и с конечным осаждением белков ацетонитрилом, аналогично сое и гороху, что привело к положительному результату – исчезновению слизи, но одновременно снизило степень извлечения диквата из семян льна и потребовало снижения нижней границы калибровки.

При расчете количества диквата в горохе, льне, сое учитывается коэффициент извлечения и ведется его обязательный контроль в каждой серии проб.

С учетом внесенных изменений подготовки проб метод прошел полную валидацию с нижним количественным пределом определения диквата в семенах льна, зерне сои и гороха 0,04 мг/кг.

## **РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НИТРАТОВ В ПОЧВЕ ДЛЯ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ТЕХНОГЕННО ЗАГРЯЗНЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ РОССИИ**

*В.А. Чумаченко<sup>1</sup>, И.В. Семенова<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup> – Обнинский институт атомной энергетики – филиал  
Национального исследовательского ядерного университета  
«МИФИ», г. Обнинск, Россия*

*<sup>2</sup> – ФГБУ «НПО «Тайфун», г. Обнинск, Россия*

Почва – открытая подсистема в геохимическом ландшафте, потоки веществ и энергии в которой связаны с приземной атмосферой, растительностью, поверхностными и почвенно-грунтовыми водами. Среди актуальных проблем загрязнения окружающей среды одно из важнейших мест занимает выпадение на поверхность суши кислотных осадков [1]. Главными кислотообразующими выбросами в атмосферу являются диоксид серы SO<sub>2</sub> и оксиды азота NO<sub>x</sub>. Основными антропогенными источни-

ками поступления оксидов азота в атмосферу являются сжигание всех видов природного топлива, транспорт и промышленность.

Азот – широко распространённый в природе элемент, который имеет важное значение для функционирования растительных и животных организмов. Нитраты (соли азотной кислоты) широко используются в сельском хозяйстве в качестве удобрений. Они играют важную роль в росте растений, обеспечивая их необходимым азотом для синтеза белков и других важных соединений. Контроль содержания нитратов в почвах необходим для предотвращения негативных последствий их избыточного накопления.

Наблюдения за загрязнением почв токсикантами промышленного происхождения (ТПП), к которым относятся и нитраты, проводятся организациями наблюдательной сети Росгидромета по методикам, разработанным в середине 80-х годов XX века [2]. Поэтому разработка современных методик определения ТПП в почве, которые можно применять для оценки состояния и загрязнения почв территории Российской Федерации, является актуальной задачей.

Проведен анализ существующих методик определения нитратов в почве. Показано, что в настоящее время для извлечения и количественной оценки содержания нитратов в почвах используются такие методы как прямая потенциметрия, фотометрия, ионная хроматография и др. Для разработки методики определения азота нитратов в почвах на техногенно загрязненных территориях выбран фотометрический метод анализа.

В ходе проведенных экспериментальных работ и обработки полученных результатов установлено время проведения экстракции, соотношение фаз, последовательность проведения анализа. Сущность анализа заключается в извлечении нитратов из почвы раствором хлористого калия, последующем восстановлении нитратов до нитритов гидразином в присутствии меди в качестве катализатора и фотометрическом определении их в виде окрашенного диазосоединения при длине волны 520 нм в кюветках с толщиной оптического слоя 1 или 3 см.

Для установления метрологических характеристик разработанного метода использовали как стандартные образцы агрохимических показателей почвы (САСолП – 06/1, САДПП – 09/4),

так и образцы для оценивания, приготовленные с использованием почв различного типа (дерново-подзолистые, черноземные, сероземные) и механического состава (песчаные, суглинистые, глинистые), в которые добавляли аттестованные растворы нитратов. Содержание азота нитратов в образцах для оценивания находилось в диапазоне от 10 до 1000 мг/кг. Предварительная оценка метрологических характеристик методики проведена в соответствии с РМГ 61-2010 [3].

### *Литература*

1 Середина В.П. Загрязнение почв: учебное пособие. – Томск: Издательский Дом ТГУ, 2015. – 346 с.

2 Временные методические рекомендации по контролю загрязнения почв. Часть II. – М.: Гидрометеиздат, 1984. – 61 с.

3 РМГ 61-2010 Государственная система обеспечения единства измерений. Показатели точности, правильности, прецизионности методик количественного химического анализа. Методы оценки. – М.: Стандартинформ, 2012. – 58 с.

**СЕКЦИЯ 6. ЭФФЕКТЫ ДЕЙСТВИЯ  
ИОНИЗИРУЮЩЕГО И НЕИОНИЗИРУЮЩЕГО  
ИЗЛУЧЕНИЯ**

**A COMPUTATIONAL ALGORITHM PROPOSAL  
FOR BRAGG CURVE EVALUATION  
USING FOCKER-PLANCK FORMALISM**

*L. Ndati<sup>1</sup>, A.N. Solovov<sup>1,2</sup>*

*<sup>1</sup> – Obninsk Institute for Nuclear Power Engineering,  
Obninsk, Russia*

*<sup>2</sup> – A. Tsyb MRRC, Obninsk, Russia*

The proton and ion therapy are a widely accepted methods of therapeutic treatment nowadays. Their unique physical property of the dose deposit inside the matter is so called the Bragg Peak, initially discovered in the beginning of the XX century. However, there are still numerous methods for predicting and estimating the exact value of the dose along the Bragg curve, while the Monte-Carlo method is a gold standard [1] for most of the applications. A current work is a proposal for the development of an alternative computational approach to simulate the dose distribution in the complex geometries using the Focker-Planck formalism with an aim to rapid modelling specifically for the proton and ion radiation treatment planning systems.

The initial proton beam data will be taken according to the measured extraction beamline of the “Prometheus” therapeutic facility (Obninsk, Russia) [2]. The computational implementation of the Focker-Planck calculation scheme will be derived from the recent electron-based data [3]. The initial equation will be solved for dense water medium as a Proof-of-Concept study, followed by the extension for heterogeneous media and complete dose-to-medium and dose-to-water particle transport. The various methods of High-Performance Computations are also taken into account and the algorithm will be investigated thoroughly for both CPU and GPU units.

The wide application of the proton beams in the everyday practice for clinical investigation is a successive option for the treatment of

the oncological diseases. The precise algorithm for dose evaluation not only inside the primary target volume but rather in the adjacent healthy tissues and structures and organs at risk is a highly valuable and decent achievement that might be a perfect fit for the modern treatment planning system currently under extensive development. The application of the algorithm not only limited for proton treatment planning, but also gain an advantage for the newly applied schemes or regimes of combined treatment [4]. The expected performance of the Focker-Planck-based solvers might be advantageous versus conventional schemes simultaneously offering the same or better dosimetric precision.

### **References**

1. Paganetti H., Beltran C., Both S., et al. Roadmap: proton therapy physics and biology // *Physics in Medicine and Biology*. – 2021. – V. 66. – №. 5. – P. 05RM01
2. Merzlikin G.V., Skotnikova N.A., Adarova A.I., et al. Verification of angular properties of a divergent pencil beam of the Prometheus therapeutic facility // *Bulletin of the Lebedev Physics Institute*. – 2024. – V. 51. – №11. – P. 450-457.
3. Naceur A., Hébert A., Romano P., et al. Feasibility of a multigroup Boltzmann–Fokker–Planck solution for electron beam dose calculations // *Scientific Reports*. – 2023. – V. 13. – P. 1310.
4. Koryakin S.N., Troshinva M.V., Koryakina E.V., et al. The study of effectiveness of combined proton-neutron irradiation of tumor cells in vitro // *Bulletin of Experimental Biology and Medicine*. – 2024. – V. 178. – № 1. – P. 75-78.

## **STUDY ON THE USE OF TERRESTRIAL MOLLUSKS AS RADIATION BIOINDICATORS FOR E-BEAM RADIATION**

*V.C.T. Ncube, E.E. Cherkasova, R.R. Shoshina*  
*Obninsk Institute for Nuclear Power Engineering,*  
*Obninsk, Russia*

This study evaluates the potential of *Fruticicola fruticum*, a terrestrial mollusk, as a bioindicator for beta and electron beam (E-

beam) radiation. Due to their known sensitivity to environmental stress and capacity for bioaccumulation, mollusks were exposed to radiation doses ranging from 200 to 600 Gy using the NOVAC 11 linear accelerator under controlled laboratory conditions. Mortality and morphological changes were monitored over 30 days. A clear dose-dependent increase in mortality was observed, particularly at doses exceeding 450 Gy. These findings demonstrate the species' suitability as a cost-effective and ecologically relevant tool for radiation monitoring, supporting its integration into broader environmental safety and radiological assessment frameworks.

Biomonitoring, bioindication, and biotesting are important tools for assessing environmental contamination [1]. Terrestrial mollusks such as *Fruticicola fruticum* have proven to be excellent bioindicators of radioactive pollution [1], scientific studies demonstrate that *Fruticicola fruticum* exposed to radiation shows changes in morphometric parameters which correlate with radionuclide content [2]. Beta radiation causes tissue damage, leading to increased mortality and decreased biomass.

A total of 135 *Fruticicola fruticum* mollusks were irradiated with beta radiation using the NOVAC 11 linear electron accelerator at the Medical Radiological Research Centre in Obninsk, receiving doses from 200 to 600 Gy in 50 Gy increments. An additional 90 non-irradiated mollusks served as a control group. Mortality was assessed 30 days post-irradiation, and statistical analysis was conducted to evaluate the correlation between radiation dose and mortality, with results shown in Fig. 1.

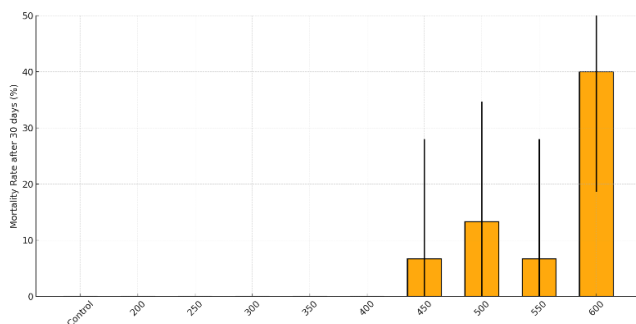


Fig.1. Graph showing mortality rate in the first 30 days.

The study confirms that *Fruticicola fruticum* exhibits a clear dose-dependent response to electron beam radiation, with mortality increasing significantly at doses above 450 Gy, reaching up to 40% at 600 Gy after 30 days. Statistical analysis using independent two-sample t-tests revealed that mortality rates at 450, 500, 550, and 600 Gy differed significantly from the control group ( $p < 0.05$ ), with the lowest p-value recorded as  $8.87 \times 10^{-33}$ . This provides strong evidence of the biological significance of radiation exposure in these groups.

The statistical results validate the conclusion that *Fruticicola fruticum* can be considered a reliable bioindicator for monitoring ionizing radiation in environmental settings. Likely causes of mortality in irradiated groups include physiological stress and systemic damage due to radiation. It is also important to note that some of the mortality observed in the control was due to mishandling and not radiation exposure. These biological responses support the mollusk's inclusion in early warning systems for ecological radiological safety assessments.

### **References**

1 Черкасова Е.Е., Лаврентьева Г.В., Сынзыныс Б.И. и др. Влияние  $\gamma$ -облучения на смертность и биомассу наземного моллюска *F. Fruticum* М. // Радиационная биология. Радиоэкология. – 2023. – Т. 63. – №3. – С. 285-299.

## **ОЦЕНКА ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ОБСТАНОВКИ В ТЕСТОВОЙ ЗОНЕ 5G**

*О.В. Белая, А.В. Митрюшина*

*Федеральное государственное бюджетное научное учреждение  
«Научно-исследовательский институт медицины труда имени  
академика Н.Ф. Измерова», г. Москва, Россия*

Развитие технологий сотовой связи на современном этапе характеризуется внедрением систем пятого поколения (5G), обладающих техническими возможностями работать в новых частотных диапазонах с увеличением ширины радиоканала и с применением технологий формирования и сканирования луча,

реализуемых на антенном оборудовании типа massive MIMO (mMIMO). Это составляет одну из характерных особенностей функционирования базовых станций (БС) поколения 5G – возможность адаптивно подстраиваться под определенных абонентов, направляя узконаправленные лучи в вертикальной и горизонтальных плоскостях, что обуславливает существенную неоднородность распределения электромагнитной энергии в пространстве и усложняет инструментальный контроль и гигиеническую оценку уровней электромагнитных полей (ЭМП), формируемых БС подобного типа.

Цель работы: исследование электромагнитной обстановки, создаваемой БС стандарта 5G NR IMT-2020 различных типов антенн (MIMO и mMIMO) в диапазоне частот FR1.

Оценка уровней ЭМП, создаваемых антеннами БС пятого поколения с рабочим диапазоном частот n79 с центральной частотой 4850 МГц и шириной канала 100 МГц, проводилась в условиях тестовой эксплуатации сети 5G. Измерения уровней ЭМП проводились в зоне обслуживания сектора БС типа mMIMO на открытой территории и в зоне обслуживания сектора БС типа MIMO внутри помещения. Для оценки максимально возможных уровней ЭМП, формируемой БС поколения 5G обоих типов, использовался метод принудительной генерации трафика от БС к абонентскому терминалу (АТ) [1].

Инструментальная оценка уровней ЭМП осуществлялась с использованием широкополосного измерителя параметров электромагнитного поля Narda NBM-550 (Narda Safety Test Solutions GmbH, Германия) с антенной, охватывающей диапазон частот от 100 кГц до 6 ГГц.

В процессе натурных исследований проведены широкополосные измерения общего уровня плотности потока энергии (ППЭ) в фоновом режиме и в режиме с принудительной генерацией луча абонентского трафика на различном удалении от контрольной точки. Данные регистрировались в течение 30 сек во время принудительной передачи трафика от АТ, использующего специальную программу тестирования скорости трафика [1]. Активный АТ располагался в зоне прямой видимости БС на удалении 1, 5 и 10 м от контрольной точки.

По результатам натурных измерений фоновые уровни ЭМП в режиме сканирования без трафика составили 0,13 и 1,70 мкВт/см<sup>2</sup> в помещении и на открытой территории соответственно. В режиме принудительной генерации абонентского трафика для антенны типа ММО максимальные уровни ППЭ варьировались от 9,26 до 9,62 мкВт/см<sup>2</sup> при размещении АТ на расстояниях 1, 5 и 10 м. Для антенны типа mММО максимальные уровни ППЭ в луче наблюдались при расположении АТ на расстоянии 1 м от контрольной точки и составили от 35,50 до 44,98 мкВт/см<sup>2</sup>. При удалении активного АТ на расстояние 10 м от контрольной точки уровни ППЭ составили от 3,56 до 7,15 мкВт/см<sup>2</sup>.

По результатам исследований в зоне обслуживания БС с антенной mММО уровень ЭМП при удалении от активного АТ может достигать 13% относительно максимального уровня ЭМП в луче принудительной генерации трафика, тогда как для БС типа ММО неоднородность уровней ЭМП не превышает 2%. Полученные данные о специфике эксплуатации различных типов БС необходимо учитывать при разработке методов гигиенической оценки ЭМП новых поколений.

### *Литература*

1 IEC 62232-2022. Determination of RF field strength, power density and SAR in the vicinity of radiocommunication base stations for the purpose of evaluating human exposure. International Electrotechnical Commission. – Geneva: IEC, 2022. – 342 p.

## **ВЛИЯНИЕ ЛОКАЛЬНОГО ОБЛУЧЕНИЯ ГРУДНОГО ОТДЕЛА МЫШЕЙ ЛИНИИ Af НА СПОНТАННЫЙ КАНЦЕРОГЕНЕЗ В ЛЕГКИХ**

*Н.Н. Веялкина<sup>1,2</sup>, Е.А. Медведева<sup>1</sup>*

*<sup>1</sup> – Государственное научное учреждение «Институт радиобиологии Национальной академии наук Беларуси», г. Гомель, Республика Беларусь*

*<sup>2</sup> – Государственное учреждение «Республиканский научно-практический центр радиационной медицины и экологии человека», г. Гомель, Республика Беларусь*

Ионизирующая радиация – один из самых мощных и наиболее изученных канцерогенных факторов физической природы. На сегодняшний день доказана роль генетической предрасположенности к опухолеобразованию как у человека, так и у животных. Мышиные линии, восприимчивые к спонтанным опухолям легких, более чувствительны к индуцированным пролиферативным повреждениям.

Для оценки влияния фракционированного локального облучения на спонтанный канцерогенез использовали мышей линии Af, были выделены следующие экспериментальные группы животных: 1 – контроль (интактные животные, выполнялись все манипуляции кроме облучения); 2 – облучение грудного отдела в дозе 1,0 Гр один раз в сутки на протяжении 5 сут (общая доза облучения составила 5,0 Гр). Каждая группа состояла из 20 самок и 20 самцов.

Для оценки влияния многократного локального облучения в режиме рентгенографии на спонтанный канцерогенез использовали мышей линии Af, были выделены следующие экспериментальные группы животных: 1 – контроль (интактные животные, выполнялись все манипуляции кроме облучения); 2 – облучение грудного отдела в режиме рентгенографии 1 раз в две недели в дозе 0,150 мГр. Каждая группа состояла из 20 самок и 20 самцов.

Мышей подвергали облучению с помощью рентгеновской установки биологического назначения X-Rad 320 Precision X-ray

Inc. Локальное облучение грудного отдела животного достигалось экранированием при помощи защитных пластин.

У мышей контрольных групп фиксировали не больше одного новообразования в легких, небольшого размера в диаметре 0,5–1,7 мм.

Через 9 месяцев после 5 фракций локального облучения грудного отдела мышей в дозе 1 Гр общая доза облучения составила 5 Гр, отмечено повышение процента животных с опухолями легкого до 48,7% (95% ДИ от 32,42 до 65,22) при 27,0% (95% ДИ от 13,79 до 44,12) в группе возрастного контроля,  $P = 0,043$ .

Также наблюдалось возрастание количества опухолей на мышь до 1,24 опухоли при 0,86 опухоли на мышь в контрольной группе.

Через 9 месяцев многократного облучения в режиме рентгенографии процент животных с опухолями легкого составил 39,4% (95% ДИ от 22,91 до 57,86) при 25,7% (95% ДИ от 12,49 до 43,26) в группе возрастного контроля, количество возрастало до 1,09 при 0,68 в контроле.

Радиационное локальное воздействие в дозе 5 Гр в данном эксперименте вызывало значительное возрастание частоты образования опухолей у мышей линии Af и возрастание количества опухолей на животное.

Радиационное многократное воздействие в режиме рентгенографии вызывало незначимое возрастание частоты образования опухолей у мышей линии Af.

При этом показатели опухолеобразования в обоих вариантах облучения были сравнимы с таковыми у животных более возрастных групп (16 месяцев), что позволяет предположить, что радиационное воздействие являлось причиной возникновения генетически-детерминированного опухолеобразования в более раннем возрасте.

## СПОСОБ ЛЕЧЕНИЯ ЛУЧЕВОЙ БОЛЕЗНИ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ

*Т.Р. Гайнутдинов<sup>1,2</sup>, С.А. Рыжкин<sup>2</sup>, Я.М. Курбангалеев<sup>1</sup>,  
С.В. Бойчук<sup>2</sup>, Э.М. Плотникова<sup>1</sup>, А.М. Идрисов<sup>1</sup>,  
К.Т. Ишмухаметов, Ф.Х. Калимуллин<sup>1</sup>*

*<sup>1</sup> – Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный центр токсикологической, радиационной и биологической безопасности», г. Казань, Россия*

*<sup>2</sup> – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение дополнительного профессионального образования «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования» Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Москва, Россия*

Ионизирующее излучение в настоящее время применяется в самых различных сферах народного хозяйства, в результате чего сохраняется потенциальный риск возникновения аварийных ситуаций, связанных с выбросом радиоактивных продуктов деления в окружающую среду [1, 2].

В связи с этим, изучение противорадиационных средств лечения является актуальным направлением радиобиологии.

Опыты по определению противорадиационной эффективности очищенного скипидара (ОС) – средство растительного происхождения (соединение углеводородного типа  $(C_5H_8)_n$ , ГОСТ 1571-82), проводили на белых мышах обоего пола с живой массой 18-20 г, которых подвергали внешнему тотальному облучению в дозе 7,9 Гр. Облучение проводили на  $\gamma$ -установке «Пума» с мощностью экспозиционной дозы  $2,31 \times 10^{-5}$  А/кг.

Эксперименты проводили на 36 белых мышах, разделенных на 6 групп по 6 животных в каждой. При этом животных первых 5 групп подвергали  $\gamma$ -облучению в летальной дозе – 7,9 Гр, а животных 6-й группы не облучали и не лечили – они служили биологическим контролем.

Результаты проведенных исследований по изучению противорадиационной эффективности ОС в опытах на белых мышах представлены в табл. 1.

Таблица 1

Терапевтические свойства очищенного скипидара (ОС) в опытах на белых мышах, облученных гамма-лучами в дозе 7,9 Гр, n = 6

| Группа опыта | Лечебное средство      | Доза препарата, мг на особь | Степень тяжести болезни | СПЖ, сут | Выживаемость, %    |
|--------------|------------------------|-----------------------------|-------------------------|----------|--------------------|
| 1            | ОС                     | 51,6                        | тяжелая                 | 15,5     | 66,66 <sup>х</sup> |
| 2            | ОС                     | 77,4                        | тяжелая                 | 7,75     | 33,33              |
| 3            | ОС                     | 103,2                       | тяжелая                 | 9,25     | 16,66              |
| 4            | ПРЛС                   | 5,0                         | тяжелая                 | 10,0     | 50,0               |
| 5            | Контроль облучения     | —                           | крайне тяжелая          | 9,8      | 0                  |
| 6            | Биологический контроль | —                           | —                       | —        | 100                |

Установлено, что однократное подкожное введение ОС (вариант 1;  $p = 0,03$ ,  $p < 0,05$  по отношению к группе контроля облучения), а также ПРЛС (вариант 4, противолучевая сыворотка с известным защитным эффектом) [3] значительно облегчали течение ОЛБ, степень тяжести ее проявления, увеличивая среднюю продолжительность жизни и выживаемость животных. Показано, что применение указанных средств переводит крайне тяжелое течение острой лучевой болезни в тяжелое, увеличивая выживаемость от 50 % до 66,7 % и среднюю продолжительность жизни – от 10 до 15,5 сут, что превышает контрольный уровень до 1,6 раза.

### *Литература*

1 Гайнутдинов Т.Р. Оценка противорадиационной эффективности препаратов, полученных на основе веществ микробного происхождения // Ветеринарный врач. – 2024. – № 1. – С. 52–57. DOI: 10.33632/1998-698X\_2024\_1\_52

2 Курбангалеев Я.М., Гайнутдинов Т.Р., Идрисов А.М. и др. Оценка биологической безопасности облученных кормов и пищевых продуктов // Ветеринарный врач. – 2022. – № 2. – С. 21–28. DOI: 10.33632/1998-698X.2022\_21\_28

3 Авилов В.М., Равилов А.З., Киршин В.А. и др. Патент № 2169572 С2 Российская Федерация, МПК А61К 35/28, 35/78. Способ лечения радиационных поражений организма и способ получения препарата для лечения радиационных поражений организма. № 97113199/14, заявл. 31.07.1997, опубл. 27.06.2001. – 7 с.

## **СООБЩЕСТВА МЕЛКИХ МЛЕКОПИТАЮЩИХ В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ ВУРС: ЕСТЬ ЛИ ЭФФЕКТ ДЕЙСТВИЯ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ?**

*Е.Б. Григоркина, Г.В. Оленев, О.Р. Гизуллина  
Институт экологии растений и животных УрО РАН,  
г. Екатеринбург, Россия*

Нами не найдено публикаций, посвященных специальному исследованию эффектов хронического радиационного воздействия на сообщества мелких млекопитающих (ММ) в зонах радиоактивного загрязнения. Мы провели сравнительный анализ результатов длительного (22 г.) мониторинга структуры и численности сообществ ММ в зоне Восточно-Уральского радиоактивного следа (ВУРС) и прилегающей контрольной территории. Высокие концентрации  $^{90}\text{Sr}$  сохраняются во всех компонентах среды значительной части зоны ВУРСа. Летом 2010 г. произошла аномальная засуха, поэтому анализ выполнен с учетом экстремального климатического события: до (2002–2009 гг.) и после (2010–2024 гг.) засухи.

Рис. 1 иллюстрирует сходный видовой состав и численность видовых популяций на обеих территориях, а также однотипную реакцию на засуху – сокращение доли и обилия видов.

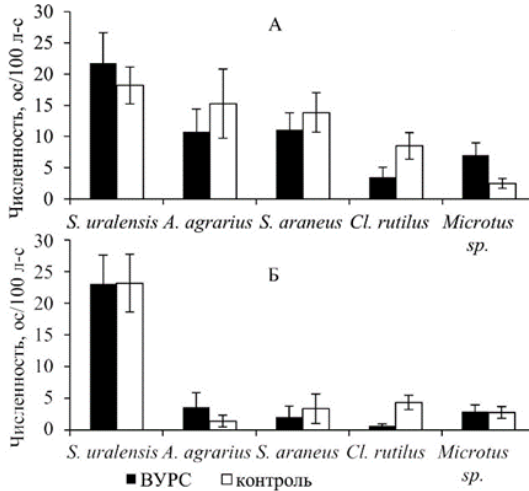


Рис. 1. Средняя численность ключевых видов в сообществах ММ: А – до и Б – после засухи: малая лесная мышь (*S. uralensis*), 2 полевая мышь (*A. agrarius*), обыкновенная бурозубка (*S. araneus*), красная полевка (*Cl. rutilus*); серые полевки *Microtus sp.* (обыкновенная, пшеничная, полевка-экономка)

Табл. 1 демонстрирует существенную значимость периода исследований на суммарное обилие ММ и доказывает отсутствие статистически значимого влияния локалитета.

Таблица 1  
Результаты ANOVA изменения суммарного обилия мелких млекопитающих на участках ВУРС-контроль до и после засухи

| Показатель                 | Источник изменчивости        |      |                           |               |  |       |
|----------------------------|------------------------------|------|---------------------------|---------------|--|-------|
|                            | Локалитет<br>( <i>df</i> =1) |      | Период<br>( <i>df</i> =1) |               | локалитет ×<br>период<br>( <i>df</i> =1) |       |
|                            | F                            | p    | F                         | p             | F  | p     |
| Численность,<br>ос/100 л-с | 0.16                         | 0.68 | 9.91                      | <b>0.003*</b> | 0.01                                     | 0.917 |

Примечание. \* - значимое различие ( $p < 0.05$ ) показателей.

Результаты долгосрочного исследования (22 г.) доказывают отсутствие различий в структуре и динамике сообществ ММ, несмотря на то, что мощность дозы на красный костный мозг грызунов в зоне ВУРС выше дозового порога в 100 мкГр/ч [1]. Особенностью воздействия ионизирующего излучения на растения и животных является элиминация радиационных изменений по мере усложнения уровня биологической организации [2]. Таким образом, спустя более полвека после Кыштымской аварии на большом статистическом материале не зарегистрировано эффектов хронического радиационного воздействия на уровне сообществ мелких млекопитающих.

### *Литература*

1 Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation. UNSCEAR 2008 Report to General Assembly with Scientific Annexes. – New York: UNSCEAR. – 2011.

2 Алексахин Р.М., Санжарова Н.И., Фесенко С.В. Радиоэкология и авария на Чернобыльской АЭС // Атомная энергия. – Т. 100. – Вып. 4. – С. 267-276.

## **ОЦЕНКА ПРОДУКТИВНОСТИ ЯЧМЕНЯ ПРИ ОСТРОМ $\gamma$ -ОБЛУЧЕНИИ**

*О.А. Гусева, П.Н. Цыгвинцев*  
*НИЦ «Курчатовский институт» - ВНИИРАЭ,*  
*г. Обнинск, Россия*

На продуктивность зерновых культур оказывают влияние разнообразные биотические и абиотические факторы окружающей среды. Так, согласно данным Росстата, в 2024 г. было собрано 16,7 млн тонн ярового ячменя, что на 21% ниже урожая 2023 г. (21,2 млн тонн) с более благоприятными погодными условиями [1]. В настоящем исследовании изучалось влияние ионизирующего излучения с  $\gamma$ -источником  $^{60}\text{Co}$  на установке ГУР-120 (НИЦ «Курчатовский институт – ВНИИРАЭ»). В вегетационном эксперименте ячмень сорта «Владимир» подвергали однократному  $\gamma$ -облучению на разных стадиях развития: рост

проростка (Z 14-15), удлинение побега (Z 31), трубкование (Z 41), колошение (Z 53) и молочная спелость (Z 73) [2]. Дозы  $\gamma$ -облучения составили: 0, 15, 30, 45 и 60 Гр при мощности 16 Гр/ч.

Таблица 1

Показатели продуктивности ячменя ярового

| Дозы $\gamma$ -излучения, Гр    | Стадия развития  |                  |  |  |  |
|---------------------------------|------------------|------------------|--|--|--|
|                                 | Z 14-15          | Z 31             | Z 41                                       | Z 53                                       | Z 73                                       |
| Число продуктивных стеблей, шт. |                  |                  |  |  |  |
| 0                               | 1,0<br>(1,0-1,0) | 1,0<br>(1,0-1,0) | 1,0<br>(1,0-1,0)                           | 1,0<br>(1,0-1,0)                           | 1,0<br>(1,0-1,0)                           |
| 15                              | 0                | 0                | <b>0,0</b><br><b>(0,0-1,0)<sup>1</sup></b> | <b>1,0</b><br><b>(1,0-1,0)<sup>1</sup></b> | <b>1,0</b><br><b>(1,0-1,0)<sup>1</sup></b> |
| 30                              | 0                | 0                | 0  | <b>1,0</b><br><b>(0,0-1,0)<sup>1</sup></b> | <b>1,0</b><br><b>(1,0-1,0)<sup>1</sup></b> |
| 45                              | 0                | 0                | 0  | <b>0,0</b><br><b>(0,0-0,0)<sup>1</sup></b> | <b>1,0</b><br><b>(1,0-1,0)<sup>1</sup></b> |
| 60                              | 0                | 0                | 0  | <b>0,0</b><br><b>(0,0-1,0)<sup>1</sup></b> | <b>1,0</b><br><b>(1,0-1,0)<sup>1</sup></b> |
| Число зерен, шт.                |                  |                  |  |  |  |
| 0                               | 9,6±0,5          | 9,6±0,5          | 9,6±0,5                                    | 9,6±0,5                                    | 9,6±0,5                                    |
| 15                              | 0                | 0                | 1,0±1,0                                    | 10,5±0,6                                   | 8,3±0,5                                    |
| 30                              | 0                | 0                | 0  | 8,8±0,7                                    | 10,8±0,8                                   |
| 45                              | 0                | 0                | 0  | <b>13,2±0,4<sup>2</sup></b>                | 9,4±0,7                                    |
| 60                              | 0                | 0                | 0  | 6,5±1,5                                    | 9,8±0,5                                    |
| Масса 1000 зерен, г             |                  |                  |  |  |  |
| 0                               | 30,8±0,8         | 30,8±0,8         | 30,8±0,8                                   | 30,8±0,8                                   | 30,8±0,8                                   |
| 15                              | 0                | 0                | 14,2±2,5                                   | <b>15,2±1,7<sup>2</sup></b>                | 29,1±0,9                                   |
| 30                              | 0                | 0                | 0  | <b>11,1±2,1<sup>2</sup></b>                | 30,8±0,8                                   |
| 45                              | 0                | 0                | 0  | <b>12,5±0,9<sup>2</sup></b>                | 29,1±0,7                                   |
| 60                              | 0                | 0                | 0  | <b>11,9±1,7<sup>2</sup></b>                | <b>27,1±0,8<sup>2</sup></b>                |

$p < 0,05$ : 1 – медиана (Q1 25%-Q3 75%), статистически значимое отличие от контроля – по критерию Манна-Уитни; 2 - среднее±стандартная ошибка, статистически значимое отличие от контроля – по t-критерию Стьюдента.

Как видно из табл.1, на стадиях Z 14-15 и Z 31 полностью отсутствовали продуктивные стебли из-за ранней гибели растений вследствие лучевого поражения. На стадии Z 41 было отмечено

некоторое количество продуктивных стеблей при дозе облучения 15 Гр. Статистически значимое ( $p < 0,05$ ) увеличение числа зерен наблюдалось на стадии Z 53, при этом масса 1000 зерен снизилась ( $p < 0,05$ ) в среднем на 58% при исследуемых дозах  $\gamma$ -излучения относительно контроля. Это свидетельствует о снижении зерновой продуктивности растений ячменя после облучения на стадии Z 53 несмотря на то, что число зерен было на уровне контрольных значений. На стадии Z 73 наблюдалось статистически значимое снижение массы 1000 зерен на 12% относительно контроля при дозе 60 Гр. Таким образом, облучение растений на ранних стадиях развития ячменя приводит к полной потере зерновой продуктивности.

### *Литература*

1 Бюллетень «Валовые сборы и урожайность сельскохозяйственных культур по Российской Федерации в 2024 году» (часть 1) // Сайт «Федеральная служба государственной статистики» [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://rosstat.gov.ru/compendium/document/13277> (дата посещения 11.03.2025)

2 Ефремова Т.Т., Чуманова Е.В. Стадии роста и развития пшеницы и их значение в формировании элементов продуктивности // Письма в Вавиловский журнал генетики и селекции. – 2023. – Т.9. – №2. – С. 54-80. DOI 10.18699/LettersVJ-2023-9-09

## **ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ СРЕДСТВ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ ОТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЧАСТОТЫ НА РАБОЧИХ МЕСТАХ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОГО ПЕРСОНАЛА**

*А.И. Дремин*

*Федеральное государственное бюджетное научное учреждение  
«Научно-исследовательский институт медицины труда имени  
академика Н.Ф. Измерова», г. Москва, Россия*

На рабочих местах открытых распределительных устройств (ОРУ) высокого и сверхвысокого напряжения часто отмечаются

высокие уровни напряженности электрических полей (ЭП) промышленной частоты (ПЧ), которые могут превышать предельно допустимые (ПДУ). При превышении ПДУ обеспечение электромагнитной безопасности реализуется применением индивидуальных средств защиты (СИЗ). Все СИЗ от ЭП ПЧ проходят сертификационные испытания в однородном ЭП, однако в реальных условиях на рабочих местах электротехнического персонала преобладает неоднородное ЭП.

Целью работы являлось исследование защитных свойств экранирующих комплектов от ЭП ПЧ в натуральных и лабораторных условиях.

Исследования защитных свойств комплектов проводились на образцах СИЗ типа ЭП-1 (образец 1) в комплектации куртка-брюки, ЭП-4(0) в комплектациях полукомбинезон (образец 2) и комбинезон (образец 3) по отечественной (Методика 1) и зарубежной (Методика 2) методикам. Методика 1, как адаптированная методика, приведённая в ГОСТ 12.4.172-2019, основывалась на измерении величины напряженности электрического поля, а методика 2, приведённая в IEC 60895-2020, – по величине стекаемого наведенного электрического тока.

Натурные исследования защитных свойств комплектов осуществлялись на ОРУ 750 кВ ПС Металлургическая филиала ПАО «ФСК ЕЭС» в местах наибольших уровней ЭП ПЧ, а лабораторные проводились с использованием высоковольтного испытательного стенда промышленной частоты ФГБНУ «НИИ МТ». Фоновый уровень ЭП ПЧ составлял 19,02 кВ/м. В табл. 1 представлены результаты исследований защитных свойств экранирующих комплектов в натуральных и лабораторных условиях по двум методикам.

Таблица 1

Результаты исследований защитных свойств экранирующих комплектов в натуральных и лабораторных условиях по двум методикам

| № Образца | Лабораторные                          |                                       | Натурные                              |                                       |
|-----------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
|           | Коэффициент экранирования, $K_E$ , дБ | Коэффициент экранирования, $K_I$ , лБ | Коэффициент экранирования, $K_E$ , дБ | Коэффициент экранирования, $K_I$ , дБ |
| 1         | 84,71                                 | 44,06                                 | 56,50                                 | 50,32                                 |
| 2         | 80,21                                 | 43,61                                 | 86,33                                 | 51,44                                 |
| 3         | 71,83                                 | 43,87                                 | 80,17                                 | 53,67                                 |

Однако нельзя напрямую сравнить коэффициенты экранирования комплектов ( $K_E$  и  $K_I$ ), полученные по двум методикам, из-за различия контролируемых параметров в ходе исследований. Анализ литературных источников показал, что  $K_E$  равный 80 дБ по методике 1 приблизительно соответствует  $K_I$  40 дБ по методике 2.

Оценка защитных свойств комплектов в натуральных и лабораторных условиях показала адекватные результаты при исследовании СИЗ на рабочих местах, сходимость данных не превышала 20%.

Исследование показало потенциальную возможность оценки эффективности СИЗ по методике, отличной от действующей на данный момент в Российской Федерации, в целях предотвращения потенциального влияния действия вредного фактора на здоровье человека.

# ДЕЙСТВИЕ НИЗКОИНТЕНСИВНОГО ФЕМТОСЕКУНДНОГО ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ С ДЛИНОЙ ВОЛНЫ 525 НМ НА КЛЕТОЧНЫЕ РЕАКЦИИ МЫШЕЙ IN VIVO

*А.Р. Дюкина<sup>1</sup>, С.С. Сорокина<sup>1</sup>, М.М.<sup>1</sup> Поцелуева,  
В.И. Юсупов<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup> – Институт теоретической и экспериментальной  
биофизики РАН, г. Пущино, Россия*

*<sup>2</sup> – Институт фотонных технологий - НИЦ «Курчатовский  
институт», г. Москва, г. Троицк, Россия*

В настоящее время фемтосекундные (ФС) лазеры являются наиболее перспективными в таких областях как физика, биология и медицина, поскольку обладают малой длительностью и высокой средней интенсивностью импульса. Имеющиеся в литературе результаты по исследованию биологических реакций и их последствий у животных, облучённых ФС лазером, трудно сопоставимы между собой в связи с использованием разных объёмов.

Цель настоящей работы – изучение эффективности использования низких доз неионизирующего низкоинтенсивного импульсного ФС лазерного излучения в качестве фактора активации естественной защиты с помощью теста радиационный «адаптивный ответ» (АО) в цельной крови и кроветворных органах мышей.

Эксперименты проводили на 2-месячных самцах мышей линии SHK. Животных облучали в область носа ФС лазерным излучением (АВЕСТА, РФ) (525 нм, 200 фс, 70 МГц) при мощности 0.5 мВт в течение 5, 10 и 50 с, что соответствует рассчитанным величинам плотности потока энергии (флюенса) 5.1, 10.4 и 52 мДж/см<sup>2</sup>. В качестве положительного контроля животных облучали рентгеновским излучением (РИ) в дозах 0.1 и 0.5 Гр на установке РУТ (4 и 20 мДж/см<sup>2</sup>, 0.1 Гр/мин, 200 кВ), (ЦКП “Источники излучения” ИБК РАН, Пущино). Через сутки все группы животных дополнительно облучали РИ в дозе 1.5 Гр (60 мДж/см<sup>2</sup>) по схеме радиационного АО. Определяли уровень ци-

тогенетических повреждений в костном мозге с помощью микроядерного теста, продукцию активных форм кислорода (АФК) в цельной крови методом люминол-зависимой хемилюминесценции (Chemilum-12, Россия), клеточность лимфоидных органов (тимус и селезенка) и проводили гематологический анализ крови на анализаторе Beckman Coulter Ac\*Т. На каждую экспериментальную точку использовали не менее 5 мышей.

Обнаружено, что при всех исследованных дозах ФС лазерного излучения клеточный состав крови, уровни цитогенетических повреждений в кроветворных органах и продукции АФК в цельной крови не отличались от спонтанного фона. Предварительная обработка животных ФС лазером только в дозе 10.4 мДж/см<sup>2</sup> (0.5 мВт) и последующим воздействием РИ в дозе 1.5 Гр приводила к снижению повреждений в клетках костного мозга по микроядерному тесту и в цельной крови по продукции АФК, как и у положительного контроля, т.е. индуцировался АО через активацию естественной защиты. Другие исследованные дозы ФС лазера не индуцировали защиты. Предобработка мышей всеми дозами ФС лазера не защищала тимус и селезенку от уменьшения клеточности, в отличие от предоблучения РИ дозе 4 мДж/см<sup>2</sup>. Воздействие адаптирующими дозами низкоинтенсивного ФС лазерного излучения и РИ в дозе 0.1 Гр и затем выявляющей дозой 1.5 Гр достоверно показало, что увеличение дозы облучения от 5.1 до 52 мДж/см<sup>2</sup> (5–50 с) ведет к увеличению повреждающего действия на показатели крови.

Таким образом, при воздействии на мышей низкоинтенсивным неионизирующим импульсным ФС лазерным излучением в зависимости от плотности потока энергии и свойств ткани наблюдается защитный эффект по тесту АО в том же диапазоне доз, как и в случае предоблучения мышей ионизирующим РИ в дозе 0.1 Гр (4 мДж/см<sup>2</sup>). Полученные данные позволяют предположить схожий механизм активации естественной защиты организма при облучении малыми дозами как ионизирующего, так и неионизирующего излучений.

*Работа выполнена в рамках ГЗ ИТЭБ РАН № 075-00223-25-02.*

**НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ  
ВЛИЯНИЯ НИЗКОИНТЕНСИВНОГО ИМПУЛЬСНОГО  
ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ( $\lambda = 890$  НМ)  
НА ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ ЖИЗНИ  
*DROSOPHILA MELANOGASTER***

*Н.В. Ергольская, Е.Ю. Демидов  
Калужский государственный университет  
им. К.Э. Циолковского, г. Калуга, Россия*

Низкоинтенсивное импульсное лазерное излучение (НИЛИ) является биологически активным физическим фактором, оказывающим влияние на регуляторные процессы на разных уровнях организации биологических систем, вызывая широкий спектр ответных реакций организма на лазерное воздействие [1]. При этом изменения различного характера могут наблюдаться через достаточно длительные промежутки времени [2], что обуславливает необходимость оценки отдаленных эффектов лазерного воздействия. Целью настоящей работы было исследование влияния НИЛИ ближней инфракрасной области спектра ( $\lambda = 890$  нм) на продолжительность жизни модельного организма.

В качестве объекта исследования была использована *Drosophila melanogaster* линий *Oregon* (дикий тип) и *711* (тело и щетинки желтые, жилки на крыльях образуют обильные сплетения), содержащихся в стандартных условиях [3]. Облучение объекта НИЛИ производили на стадии 24-48 час кукольного развития с помощью АЛТ «Узор» с частотой следования импульсов 80, 600 и 3000 Гц, мощностью 4,1 Вт, продолжительностью 64 с.

Воздействие НИЛИ вызвало достоверное изменение продолжительности жизни *Drosophila melanogaster* только при обработке самок линии *Oregon* НИЛИ с частотой следования импульсов 80 Гц. При этом было отмечено сокращение средней продолжительности жизни (СПЖ) особей в 2,11 раза по сравнению с контролем ( $p < 0,2$  по критерию Колмогорова-Смирнова). СПЖ в опыте составила  $18,8 \pm 1,0$  сут, в контроле –  $39,70 \pm 1,12$  сут. При этом максимальная продолжительность жизни в опыт-

ных и контрольных группах существенно не отличалась (50 и 58 сут в первом и втором случае соответственно). НИЛИ с частотой 600 и 3000 Гц не оказало статистически значимого влияния на продолжительность жизни самок *Drosophila melanogaster*.

Лазерное облучение самцов линии *Oregon*, а также самок и самцов линии 711 не вызвало достоверных изменений СПЖ при всех используемых нами параметрах воздействия.

Проведенные исследования показали, что НИЛИ при некоторых режимах облучения оказывает влияние на адаптивные возможности целостного организма, изменяя продолжительность жизни исследуемого модельного объекта. Эффект воздействия зависит от определенного сочетания параметров облучения (80 Гц, 4,1 Вт, 64 с), пола и генотипа облученных особей. Поскольку стадия куколки характеризуется замещением личиночных органов структурами, развивающимися из имагинальных дисков [1], явление модификации лазерным излучением продолжительности взрослой жизни дрозофилы при их облучении на данной стадии развития может свидетельствовать об индуцированном НИЛИ изменении функционирования структур, осуществляющих преемственность доимагинальных и имагинальных этапов онтогенеза. Изучение влияния НИЛИ на отдаленные во времени процессы, в том числе процессы старения и сокращения продолжительности жизни, представляют большой интерес и требуют дальнейшего изучения.

### *Литература*

1 Москвин С.В., Кочетков А.В. Эффективные методики лазерной терапии. – М.–Тверь: Издательство «Триада», 2016. – 80 с.

2 Кузьмичев В.Е., Чернова Г.В. Общие черты взаимодействия электромагнитных излучений с биологическими системами / Электромагнитные излучения в биологии (БИО-ЭМИ-2000): Сборник научных трудов международной конференции – Калуга: Изд-во КГПУ, 2000. – С. 111-113.

3 Медведев Н.Н. Практическая генетика. – М.: Наука, 1968. – 294 с.

# ВЛИЯНИЕ НИЗКОИНТЕНСИВНОГО ИМПУЛЬСНОГО ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ( $\lambda = 890$ НМ) НА ЧАСТОТУ И ХАРАКТЕР МОРФОЗОВ У *DROSOPHILA MELANOGASTER*

*Н.В. Ергольская, И.В. Юрасова*  
*Калужский государственный университет*  
*им. К.Э. Циолковского, г. Калуга, Россия*

В настоящее время наблюдается комплексное электромагнитное воздействие на биосферу, многократно превышающее природный электромагнитный фон и являющееся стрессовым фактором, влияющим на экспрессию генов, рост и развитие живых организмов [1, 2]. Целью настоящей работы было исследование влияния одного из видов электромагнитных излучений – низкоинтенсивного импульсного лазерного излучения (НИЛИ) ближней инфракрасной области спектра ( $\lambda = 890$  нм) – на частоту морфозов – неадаптивных изменений необратимого характера, несвойственных виду в норме [3].

В качестве объекта исследования была использована *Drosophila melanogaster* следующих линий: Oregon (дикий тип) и 711 (тело и щетинки желтые, жилки на крыльях образуют обильные сплетения), содержащихся в стандартных условиях [4]. Облучение объекта НИЛИ производили на стадии 24-48 час кукольного развития с помощью АЛТ «Узор» с частотой следования импульсов 80, 600 и 3000 Гц, мощностью 4,1 Вт, продолжительностью 64 с.

Воздействие НИЛИ вызвало возникновение морфозов разных типов. Были отмечены изменения формы головы, увеличение количества глаз, новообразования брюшка. Наиболее часто наблюдались изменения крыльев: редукция крыла разной степени, отсутствие расправления крыловой пластинки, образование пузырей, вырезки с наружного и внутреннего края, различная длина крыла, изменения формы и положения крыльев. Наиболее часто проявлялись асимметричные морфозы, возникающие на одной стороне тела. Морфологические изменения крыльев отмечались у обеих исследованных линий при всех использован-

ных вариантах облучения. Кроме морфозов крыльев, при воздействии НИЛИ с частотой 80 Гц у особи линии 711 наблюдалось увеличение правой половины головы, у другой – появление дополнительного глаза. При этом относительное количество морфозов превысило ( $p < 0,05$ ) контрольные значения у линии Oregon в 1,38 раза, у линии 711 – в 3,25 раз. При использовании НИЛИ с частотой 600 Гц кроме морфозов крыльев у особи линии Oregon было выявлено новобразование на брюшке. Процент морфозов у линии Oregon при этом превысил ( $p < 0,05$ ) контрольный уровень в 2,42 раза, у линии 711 – в 2,52 раза. Воздействие НИЛИ с частотой 3000 Гц привело к образованию однотипных морфозов у обеих исследуемых линий дрозофилы. Процент морфозов при этом был достоверно ( $p < 0,05$ ) выше контрольных значений в 2,04 и в 2,54 раз у линий Oregon и 711 соответственно.

Проведенные исследования показали, что НИЛИ оказывает негативное влияние на развитие *Drosophila melanogaster*, вызывая формирование вариаций индивидуального морфогенеза, проявляющихся в виде наблюдаемых морфологических изменений различных органов, способных нарушить адаптацию к среде обитания, но не вызывающих гибели особей. Частота и характер индуцированных НИЛИ морфозов зависит от применяемого режима облучения и генетических особенностей облучаемого организма. Наблюдаемые эффекты требуют дальнейшего изучения и учета при определении безопасных параметров лазерного воздействия.

### *Литература*

1 Еськов Е.К. Биологические эффекты электромагнитных полей. – Б. м. : НИЦ ИНФРА-М, 2024. – 284 с.

2 Божокин М.С., Вчерашний Д.Б., Ястребов С.Г. и др. Стимуляция экспрессии гена *col2a1* низкоинтенсивным лазерным излучением – инструмент для индукции образования хрящевой ткани // Журнал технической физики. – 2020. – Т. 90, Вып. 9. – С. 1586-1588.

3 Инге-Вечтомов С. Г. Генетика с основами селекции. – СПб.: Н-Л, 2015. – 718 с.

4 Медведев Н.Н. Практическая генетика. – М.: Наука, 1968. – 294 с.

## **МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НИЗКОЧАСТОТНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ И МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ, СОЗДАВАЕМЫХ ВОЗДУШНЫМИ ЛИНИЯМИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ НАПРЯЖЕННОСТЬЮ 330, 500 И 750 КВ**

*В.В. Журов<sup>1,2</sup>, А.Е. Калачева<sup>1</sup>*

*<sup>1</sup> – Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Научно-исследовательский институт медицины труда имени академика Н.Ф. Измерова», г. Москва, Россия*

*<sup>2</sup> – Российский государственный социальный университет, г. Москва, Россия*

В условиях активного развития электроэнергетики и индустриализации проблема воздействия электрических (ЭП) и магнитных полей (МП) промышленной частоты (ПЧ), создаваемых воздушными линиями электропередачи (ВЛ), на здоровье человека и окружающую среду приобретает всё большую актуальность [1]. Результаты натурных измерений показывают, что на ВЛ напряжением 330, 500 и 750 кВ уровни напряженности ЭП ПЧ могут превышать предельно допустимые уровни (ПДУ), что создаёт дополнительные риски для человека и окружающей среды [2]. Уровни МП ПЧ при этом, как правило, не превышают ПДУ, однако важно отметить необходимость контроля за их соблюдением в связи с отнесением этого фактора к потенциальным канцерогенам категории «2b» [3]. С учётом роста электромагнитного загрязнения и его потенциальных рисков для экосистем становится необходимым применение современных методов математического моделирования, позволяющих предварительно оценить потенциальные уровни напряженности ЭП и МП ПЧ.

Целью работы являлась разработка математической модели электромагнитной обстановки, создаваемой ВЛ различных классов напряжений.

Математическая модель была создана в среде трехмерного моделирования SEMCADX V 19.2.2.5984 (SPEAG AG, Швейцария), использующей для расчета ЭП и МП ПЧ метод конечных разностей во временной области (FDTD).

В результате проведенной работы были созданы численные модели условий электромагнитной обстановки вблизи ВЛ напряжением 330, 500 и 750 кВ, позволяющие оценить уровни напряженности ЭП и МП ПЧ в пределах санитарно-защитной зоны. Для оценки адекватности математических моделей расчетные данные были сопоставлены со значениями, полученными при натуральных измерениях на ВЛ тех же классов напряжений, которые показывают хорошую сходимость результатов (различия не более 20%).

Разработанные математические модели позволяют провести предварительный анализ электромагнитного загрязнения территорий, благодаря которому возможно спрогнозировать влияние ЭП и МП ПЧ, а также потенциальных угроз на здоровье человека и состояние экосистем. Применение данных моделей в экологическом мониторинге и при планировании эксплуатации электроэнергетических объектов может повысить уровень техногенной безопасности и снизить возможные риски, возникающие при воздействии полей промышленной частоты.

### *Литература*

1 Мисриханов М.Ш., Рубцова Н.Б., Токарский А.Ю. Обеспечение электромагнитной безопасности электросетевых объектов. – М.: Наука, 2010. – 870 с.

2 Рубцова Н.Б., Перов С.Ю., Белая О.В., Коньшина Т.А. Новые возможности гигиенической оценки электромагнитной обстановки на рабочих местах персонала электросетевых объектов // Медицина труда и промышленная экология. – 2020. – Т.60, №9. – С. 569-574.

3 International Agency for Research on Cancer (IARC). Non-Ionizing Radiation, Part 1: Static and Extremely Low Frequency (ELF) Electric and Magnetic Fields, WHO/IARC. 80; 2002.

## ОЦЕНКА ЗАЩИТНЫХ СВОЙСТВ ЭКРАНИРУЮЩИХ КОМПЛЕКТОВ ПО ЗАРУБЕЖНОЙ МЕТОДИКЕ

*А.Д. Зименков*

*Федеральное государственное бюджетное научное учреждение  
«Научно-исследовательский институт медицины труда имени  
академика Н.Ф. Измерова», г. Москва, Россия*

*Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования «Национальный  
исследовательский университет «МЭИ», г. Москва, Россия*

Электротехнический персонал при производстве работ на электросетевых объектах высокого и сверхвысокого напряжения без отключения питания может подвергаться воздействию электрического поля (ЭП) промышленной частоты (ПЧ), превышающего предельно допустимые уровни (ПДУ), которое могут приводить к риску негативного влияния на здоровье человека. Для минимизации уровней напряженности ЭП ПЧ на рабочих местах основными принципами защиты являются защита временем, расстоянием, а также средства коллективной и индивидуальной защиты. Однако при производстве работ под рабочим напряжением применяются экранирующие средства индивидуальной защиты (СИЗ) от ЭП ПЧ. Для подтверждения защитных свойств СИЗ от ЭП ПЧ проходят сертификационные испытания по методике, принятой в Российской Федерации [1]. В тоже время, в международной практике используется зарубежная методика, в которой отличается контролируемый параметр в процессе исследования [2].

Целью исследования являлась оценка защитных свойств экранирующих комплектов по зарубежной методике.

Для проведения эксперимента были учтены требования по проведению испытаний [2]. В качестве объекта испытаний было выбрано средство индивидуальной защиты ЭП-4(0) в комплектации полукомбинезон и куртка. В ходе испытания на данный образец подавалось возрастающее напряжение от 5 до 50 кВ и снимались значения общего электрического тока, протекающего по манекену и защитному комплекту  $I_1$ , а затем ток, про-

текающий только по манекену  $I_2$ . Итоговый коэффициент экранирования рассчитывался по формуле 1:

$$K_I = 20 \text{Log}_{10} \left( \frac{I_1}{I_2} \right), \quad (1)$$

где  $K_I$  — коэффициент экранирования;  $I_1$  — общий электрический ток, протекающий по манекену и защитному комплекту (мА);  $I_2$  — электрический ток, протекающий по только манекену (мА) [2].

На основе результатов проведенных исследований было выявлено несоответствие значения коэффициента экранирования установленным требованиям зарубежного стандарта (40 дБ). Полученные значения находятся в диапазоне 15-19 дБ, в зависимости от величины подаваемого напряжения, что в 2 раза ниже установленных в стандарте требований. Полученные результаты указывают на невозможность применения данной методики в Российской Федерации.

### *Литература*

1 ГОСТ 12.4.172-2019 Система стандартов безопасности труда. Средства индивидуальной защиты от электрических полей промышленной частоты. Комплекты индивидуальные экранирующие. Общие технические требования. Методы испытаний. — М.: Стандартинформ, 2019. — 42 с.

2 IEC 60895-2020 Live working - Conductive clothing, 2020.

## ДОЗИМЕТРИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПЛАНОВ ПРОТОННОЙ И ФОТОННОЙ ТЕРАПИИ ПРИ ТОТАЛЬНОМ ОБЛУЧЕНИИ МОЗГА С ИСКЛЮЧЕНИЕМ ГИППОКАМПА

*Б. Ишимев<sup>1</sup>, А.Н. Соловьев<sup>1,2</sup>*

*<sup>1</sup> – Обнинский институт атомной энергетики – филиал  
Национального исследовательского ядерного  
университета «МИФИ», г. Обнинск, Россия*

*<sup>2</sup> – Медицинский радиологический научный центр имени А.Ф.  
Цыба – филиал ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России,  
г. Обнинск, Россия*

Потребности современной лучевой терапии в настоящее время в первую очередь обусловлены, наравне с достижением целевой лечебной дозы в облучаемом объеме, также и необходимостью сохранения здоровых тканей. Одной из типовых задач, реализуемых в ходе рутинной клинической деятельности, эффективность которой подтверждена клиническими испытаниями [1], является тотальное облучение головного мозга с исключением зоны гиппокампа. Существенное развитие данная методика получила только с появлением техник объёмно-модулированной терапии с применением арок (англ. Volumetric-Modulated Arc Therapy, VMAT), которая, по сути, является практически единственной технологией, позволяющей существенно снизить дозную нагрузку на зону, физически расположенную внутри целевого объема. Настоящая работа призвана показать потенциальную возможность использования техник протонной терапии в многопольном режиме модулированного по интенсивности тонкого сканирующего пучка в варианте горизонтального фиксированного вывода.

В качестве анализируемой группы пациентов взяты четыре клинических протокола у пациентов, прошедших лечение в МРНЦ им. А.Ф. Цыба в 2024 г. Для каждого из пациентов был составлен план облучения в среде планирования протонного комплекса «Прометеус» (г. Обнинск, Россия), реализованный на базе оптимизации подходов равновесного программирования

[2]. Анализ исходных планов облучения, полученных для установки TrueBeam в системе планирования Eclipse, а также планов, полученных в настоящем исследовании, выполнялся собственными программными средствами, реализующими оценку по критерию гистограммы доза-объем [3].

В рамках проведенного исследования было показано, что протонные пучки в выбранном режиме облучения позволяют достичь оптимального покрытия при отличных качествах подводимой дозы облучения в целевом объеме всего мозга при 30 Гр, сохраняя при этом хорошие показатели избегания зоны выделенного гиппокампа при 15 Гр. В рамках предстоящих исследований запланирована дозиметрическая верификация пучков с использованием антропоморфного фантома головы и средств двумерной оценки дозы на базе радиохромных плёнок.

Протонная терапия является эффективным методом, позволяющим реализовывать схемы классического, ультра- и гиперфракционного облучения [4], что открывает широкую дорогу к реализации новых и безопасных схем лучевого воздействия.

### *Литература*

1 Brown P.D., Gondi V., Pugh S., et al. Hippocampal avoidance during whole-brain radiotherapy plus memantine for patients with brain metastases: phase III trial NRG oncology CC001 // Journal of Clinical Oncology. – 2020. – V. 38. – № 10. – P. 1019-1029.

2 Chernukha A.E., Saburov V.O., Adarova A.I., et al. Key notes on fixed point programming in particle radiotherapy // Bulletin of the Lebedev Physics Institute. – 2024. – V. 51. – № 9. – P. 345-352.

3 Drzymala R.E., Mohan R., Brewster L. et al. Dose-volume histograms // International Journal of Radiation Oncology Biology Physics. – 1991. – V. 21. – № 1. – P. 71-8.

4 Troshina M.V., Vasilev K.G., Koryakina E.V., et al. Biological efficiency of ultra- and hypofractionated irradiation of a proton scanning beam // Journal of Physics: Conference Series. – 2020. – № 1701. – P. 012028.

## **ГИГИЕНИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ПЕРСОНАЛ КАБИНЕТОВ ФИЗИОТЕРАПИИ В ТЕЧЕНИЕ РАБОЧЕЙ СМЕНЫ**

*А.А. Кормилицин*

*Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Научно-исследовательский институт медицины труда имени академика Н.Ф. Измерова», г. Москва, Россия*

Широкое распространение в физиотерапии получили методы ультравысокочастотной (УВЧ; 13,56, 27,12 и 40,68 МГц) и микроволновой (МКВ; 433,9, 915 и 2450 МГц) терапии. Подобная аппаратура создает мощное электромагнитное поле (ЭМП), энергия которого поглощается тканями пациента, что приводит к их прогреву. Однако, с учетом крайней сложности создания локального поглощения электромагнитной энергии в тканях пациента, высокоинтенсивные ЭМП, создаваемые при эксплуатации физиотерапевтического оборудования, являются фактором риска для здоровья медицинского персонала [1-2].

Целью работы являлась гигиеническая оценка электромагнитной обстановки на рабочих местах медицинского персонала физиотерапевтического кабинета.

Исследование проводилось в физиотерапевтическом отделении клиники ФГБНУ «НИИ МТ» для УВЧ- и МКВ-терапии, характеристики аппаратов физиотерапии представлены в таблице 1. Проводился мониторинг ЭМП в контрольной точке (КТ) в центре кабинета на высоте 1,0 м в течение 7 рабочих дней во время работы кабинета с 9:00 до 13:00. Для измерений использовались измеритель параметров NBM-550 (Narda-STS, Германия) и селективный измеритель параметров ЭМП SRM-3006 (Narda-STS, Германия). При помощи NBM-550 проводилась широкополосная регистрация напряженности магнитного поля с корректировкой для частоты 27,12 МГц. При помощи SRM-3006 проводилась селективная регистрация  $E$  в четырех частотных диапазонах: 26-30, 30-50, 50-300 и 300-3000 МГц (значение напряженности  $E$  в диапазоне 300-3000 МГц затем переводилось в плотность потока энергии ППЭ).

Таблица 1

Характеристики аппаратов физиотерапии  
(f – рабочая частота, P<sub>макс</sub> – максимальная паспортная мощность,  
P<sub>макс.исп</sub> - максимальная мощность, используемая на практике)

| Название аппарата  | Рабочая частота, МГц | P <sub>макс</sub> , Вт | P <sub>макс.исп</sub> , Вт |
|--------------------|----------------------|------------------------|----------------------------|
| Curapuls 970       | 27,12 ± 0,163        | 400                    | 12                         |
| УВЧ-70-01А         | 27,12 ± 0,163        | 66                     | 40                         |
| BTL-6000 Microwave | 2460 ± 10            | 250                    | 50                         |
| Curapuls 670       | 27,12 ± 0,163        | 96                     | 8                          |

Проведенные измерения показали, что наибольший вклад в формирование электромагнитной обстановки вносили аппараты Curapuls 970 и BTL-6000 Microwave, т.к. использовались чаще других аппаратов. Напряженности электрического поля в диапазонах 30-50 и 50-300 МГц и магнитного поля составили не более 0,91 В/м, 1,45 В/м и 0,123 А/м соответственно и в дальнейших расчетах энергетической экспозиции не учитывались. Энергетические экспозиции ЭМП, рассчитанные по СанПиН 1.2.3685-21, для диапазонов 26-30 и 300-3000 МГц составили 74,4±68,2 (В/м)<sup>2</sup>·ч и 51,7±22,1 мкВт·ч соответственно, что соответствовало соблюдению ПДУ. Однако, проведенные предварительные измерения ЭМП рядом с органами управления аппаратами показали многократные (до 34 раз) превышения ПДУ, что требует проведения дальнейших исследований.

### *Литература*

1 Vesselinova L. Long-term, low-intensity, heterogeneous electromagnetic fields: influence on physiotherapy personnel morbidity profile // Electromagnetic fields in biology and medicine / M. S. Marko. – Boca Raton, USA: CRC Press, 2015. – Chapter 22. – С. 363-382.

2 Shah S.G.S., Farrow A. Systematic literature review of adverse reproductive outcomes associated with physiotherapists' occupational exposures to non-ionising radiation // Journal of Occupational Health. – 2014. – № 56. – С. 323–331.

**МОДЕЛИРОВАНИЕ УСКОРЕННОГО СТАРЕНИЯ  
С ПОМОЩЬЮ РАДИАЦИОННОГО ОБЛУЧЕНИЯ.  
ПОЧЕМУ ЖИВОТНЫЕ, РОЖДЕННЫЕ  
В ОСЕННЕ-ЗИМНИЙ ПЕРИОД, ЖИВУТ ДОЛЬШЕ  
РОДИВШИХСЯ ВЕСНОЙ И ЛЕТОМ**

*А.В. Куликов<sup>1</sup>, В.Б. Гаврилюк<sup>1</sup>, Д.А. Куликов<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup> – Институт теоретической и экспериментальной биофизики  
РАН, г. Пущино, Россия*

*<sup>2</sup> – Государственный университет просвещения,  
г. Москва, Россия*

В научной литературе имеются немногочисленные, но достоверные данные о том, что люди, рожденные в осеннее зимний период, живут дольше тех, что родились весной и летом [1–2]. Для того чтобы узнать, насколько эта закономерность распространяется на животных, мы провели 38-месячный эксперимент на крысах Wistar (n=29) и показали, что животные, рожденные в осенне-зимний период, имеют большую на 24,8% среднюю продолжительность жизни, на 14,3% минимальную, на 20,7% максимальную, чем крысы весенне-летнего помета. Этот феномен, по нашему мнению, связан с мелатонином, который вырабатывается в основном ночью. Мелатонин, кроме широко известной его функции регулятора суточных ритмов, регулирует также воспалительные и иммунные реакции, является антиоксидантом, влияет на апоптоз и пролиферацию тканей. Все это очень важно в период рождения, пока в организме еще образуются связи между различными его системами. Длительные эксперименты на животных весьма дороги. С некоторых пор в геронтологии и радиобиологии введено понятие ускоренного старения. Считается, что под воздействием радиоактивного облучения в организме в довольно короткие сроки происходят те же процессы, что и у контрольных животных в ходе естественного старения. Мы провели 3 серии экспериментов на мышах, подвергнутых летальному облучению в дозе 6 Гр, ранний постнатальный период которых приходился на разные месяцы. В первой серии (n=10) среднее время жизни после облучения составило 11,5 сут,

последняя мышь погибла через 14 сут. Во второй (n=10) – среднее время жизни после облучения составило 17,5 сут, последнее животное умерло на 28 сут. В третьей серии (n=10) к 50-му дню погибло только 3 из 10 мышей (30%). Мы это связываем с тем, что первая группа родилась в августе, когда время от заката до рассвета составляло 8 час 52 мин, во второй группе, рожденной в январе, это время составляло уже 15 час 35 мин, и, наконец, в третьей группе, рожденной в декабре, время, когда вырабатывается максимальное количество мелатонина, было почти вдвое больше, чем в первой серии и составляло 16 час 59 мин. Полученные в работе результаты позволяют утверждать, что сезон рождения у животных, также как и у людей, влияет на продолжительность жизни, а метод ускоренного старения с помощью радиационного облучения животных является очень перспективным в геронтологических и радиобиологических исследованиях.

*Работа выполнена в рамках государственного задания № 075-00223-25-00 (FFRS-2024-0015).*

### ***Литература***

1 Вайсерман А.М. Влияние средовых факторов в раннем онтогенезе на продолжительность жизни // Онтогенез. – 2004. – Т.35. – №5. – С. 325-335.

2 Забуга О.Г., Ахаладзе Н.Г. Метаболическое программирование: теоретические концепции и экспериментальные доказательства // Успехи геронтологии. – 2013. –Т.26. –№2. – С. 347-354.

## ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОННОГО ОБЛУЧЕНИЯ СЕМЯН НА РАЗВИТИЕ ПШЕНИЦЫ

Н.Н. Лой, М.П. Миронова, С.А. Иванкина  
НИЦ «Курчатовский институт» - ВНИИРАЭ,  
г. Обнинск, Россия

Вопросы защиты сельскохозяйственных растений являются актуальными, поскольку загрязненность патогенной микрофлорой почвы и семенного материала достигает высоких значений.

Ранее нами проводились исследования по влиянию предпосевного облучения ячменя низкоэнергетическим электронным излучением на рост и развитие растений, пораженность грибными болезнями, посевные качества и урожай [1–3]. Показана эффективность облучения по степени снижения пораженности ячменя болезнями, а также влияние на показатели развития растений в зависимости от величины дозы и энергии электронов.

Цель работы – оценить действие предпосевного облучения пшеницы низкоэнергетическим электронным излучением на рост и развитие растений и пораженность грибными болезнями.

Исследования проводили в условиях модельного вегетационного эксперимента на семенах яровой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) сорта Ирень (репродукция 1), пораженных гельминтоспориозом (возбудитель *Drechslera teres*) – естественный инфекционный фон. Зерно облучали на ускорителе «Дуэт» в дозах 1, 2, 3, 4 и 5 кГр при мощности излучения 100 Гр/импульс и энергии электронов 100 (режим 1) и 120 (режим 2) кэВ. Повторность в опыте 3-кратная. В ходе эксперимента использовали гостированные методы исследований.

Показано, что электронное облучение в режиме 1 не оказало значимого влияния на морфометрические показатели пшеницы, а в режиме 2 влияние было разнонаправленным и зависело от дозы облучения и фазы развития растений.

Выявлено повышение в 4 раза содержания хлорофилла а в варианте с облучением в дозе 4 кГр (режим 1) и дозе 3 кГр (режим 2) и отсутствие значимого влияния на содержание хлорофилла b. Облучение вызвало увеличение содержания каротино-

идов при дозе 4 кГр (режим 1) в 3,9 раза и при дозах 1-5 кГр (режим 2) в 2,9-3,6 раза (рис. 1).

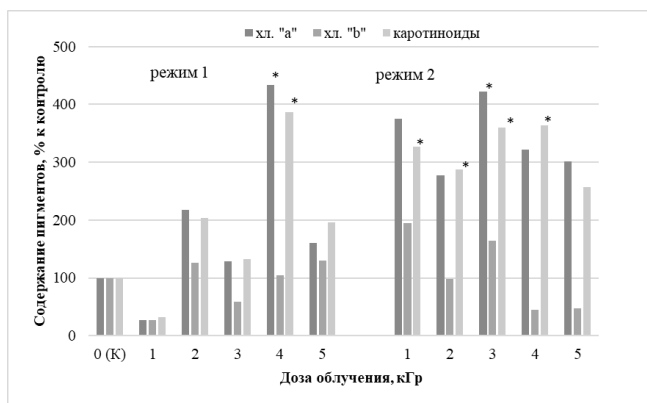


Рис. 1. Влияние облучения на содержание пигментов в листьях пшеницы в фазу кушения (\* - здесь и далее различия статистически значимы, по сравнению с контролем при  $P < 0,5$ ).

Статистически значимое увеличение малонового диальдегида отмечено при дозах 2-4 кГр (режим 1) в 4,4-8,1 раза и при дозах 3 и 5 кГр (режим 2) в 11,8 и 5,3 раза соответственно и содержания свободного пролина – при дозах 4 и 5 кГр (режим 1) в 12,2 и 13,5 раза и при дозах 1 и 3-5 кГр (режим 2) в 10,1 и 12,5-17,5 раза соответственно.

Учет развития гельминтоспориоза на корнях яровой пшеницы в фазу кушения выявил достоверное снижение степени поражения в 2,5 и 5,8 раза при дозах 4 и 5 кГр (режим 1) и в 2,8 раза при дозе 4 кГр (режим 2) и распространенности болезни в 3,4 раза при дозе 5 кГр (режим 1).

Учет пораженности корней пшеницы гельминтоспориозом в фазу колошения не выявил различий между вариантами с облучением и контролем.

Определение пораженности корней пшеницы яровой в фазу полной спелости показало, что при высоких дозах облучения на конец вегетационного периода отмечено статистически значимое снижение пораженности растений гельминтоспориозом в

1,4-3,0 раза при дозах 3-5 кГр (режим 1) и в 2,0-2,6 раза при дозах 3-5 кГр (режим 2) (рис. 2).

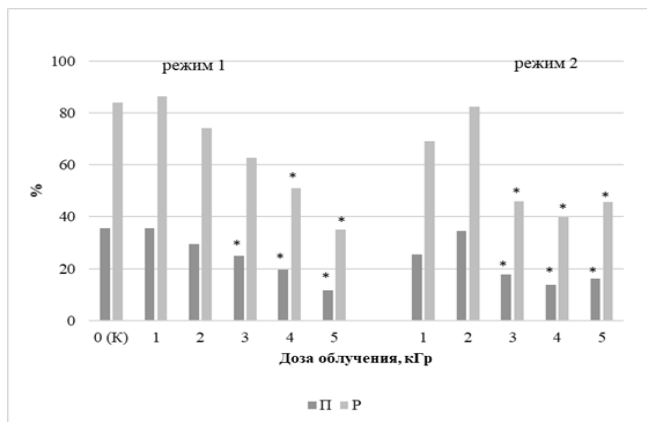


Рис. 2. Влияние облучения семян на пораженность яровой пшеницы *Drechslera teres* в фазу полной спелости (П - пораженность, Р – распространенность).

Распространенность при этих дозах также снизилась в 1,6-2,4 раза при режиме 1 и в 1,8-2,1 раза – при режиме 2.

### **Литература**

1 Loy N.N., Sanzharova N.I., Gulina S.N. et al. Evaluation of the effect of pre-sowing electron irradiation of barley seeds on plant development and disease incidence // Journal of Physics: Conference Series. – 2021. – 2064 : 012101.

2 Лой Н.Н., Санжарова Н.И., Казакова Е.А., Битаришвили С.В. Действие предпосевого электронного излучения на развитие проростков ячменя и активность ферментов и фитогормонов // Российская сельскохозяйственная наука. – 2023. – № 2. – С. 21-24. DOI: 10.31857/S2500262722040000.

3 Сулова О.В., Лой Н.Н. Влияние электронного облучения семян ярового ячменя на фитопатогенную микрофлору // Вестник российской сельскохозяйственной науки. – 2024. – №5. – С. 7-11. DOI: 10.31857/S2500208224050026.

## УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ БИОТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ПРОТИВОВИРУСНЫХ ПРЕПАРАТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОБЛУЧЕНИЯ

Э.М. Плотникова, Р.Г. Файзрахманов, И.А. Нестерова,  
К.Т. Ишмухаметов, Д.Т. Шарифуллина  
ФГБНУ «Федеральный центр токсикологической, радиационной  
и биологической безопасности», г. Казань, Россия

Наиболее распространенным методом деконтаминации ростовых сред и клеточных линий от микроорганизмов является использование антибиотиков и поверхностно-активных веществ [1, 2]. Однако быстрое образование антибиотико-резистентных вариантов микроорганизмов не позволяет эффективно использовать эти методы. Поэтому ряд исследователей в качестве альтернативных методов деконтаминации указанных объектов предлагают радиационную стерилизацию, частотно-резонансный и метод электромагнитного воздействия [3, 4].

Указанные методы противоречивы, что требует проведения детальных исследований. Цель – определить оптимальные дозы  $\gamma$ -лучей для эффективной деконтаминации питательных сред, изучить стабильность их физико-химических и биохимических свойств, влияние облучения на развитие клеточных линий.

В качестве объектов исследований использованы жидкие и сухие компоненты сред – 199, Игла MEM, МПБ, Хэнкса, сыворотка крови КРС.

Нативные и контаминированные микроорганизмами среды подвергали  $\gamma$ -облучению в дозах от 1 до 30 кГр, оценены по прозрачности, рН, содержанию общего белка, общих липидов, в т.ч. холестерина, альбуминов и глобулинов.

Степень деконтаминации объектов определяли по росту тест-штаммов в посевах и телец-включений вирусов в препаратах.

Искусственную контаминацию сред проводили путем внесения тест-микробов (*Bt. aureus* и *B. subtilis*) и вирусов (ИРТ) в концентрациях  $1,5 \cdot 10^6$  м.к./мл, с последующим культивированием и визуальным наблюдением в течение семи суток.

Установлено, что надежная деконтаминация питательных сред от *St. aureus*, *B. subtilis* и вирусами (ИРТ) достигалась при использовании  $\gamma$ -лучей в дозе 30 кГр.

Облучение клеток MDBK в дозах 0,5-40 кГр приводило к незначительному увеличению выживаемости облученных контактирующих (монослойных) и одиночных (суспензионных) клеток. При дозах более 40 кГр следовало снижение их выживаемости, а при дозах 90-100 кГр – в 1,83 и 2,42 раза.

Установлено, что клетки, находящиеся в момент облучения (в монослое) в контакте, более устойчивы, чем те же клетки, находящиеся в одиночном состоянии (в суспензии). Облучение клеток в малых дозах (0,5-10 кГр) стимулирует репродукцию клеток MDBK, выражающуюся в увеличении числа выживших клеток по сравнению с контролем. Индекс пролиферации клеток составлял 3,58-6,01 на средах, облученных в дозах 1-30 кГр, что свидетельствует об отсутствии ростингибирующей способности у облученных сред, за исключением облучения в дозе 60 кГр, при котором подавлялись рост и развитие клеток, снижая их концентрацию до 1,41 раза ( $P < 0,01$ ), а индекс пролиферации – в 1,26 раза ( $P < 0,05$ ).

### *Литература*

1 Иванов А.В., Плотникова Э.М., Низамов Р.Н. и др. Влияние гамма лучей на перевиваемую линию клеток MDBK // Ветеринария. – 2014. – № 1. – С. 61-62.

2 Патент RU 2715336 Класс МПК: C12N 5/00 Способ стимуляции метаболизма культур клеток MDBK для репродукции вирусов / Плотникова Э.М., Архарова И.А., Низамов Р.Н., Матвеева Е.Л. - № 2019112375; заявлено 23.04.2019; Бюл. № 6. Опубл. 26.02.2020

3 Руководство по экспериментальному изучению новых фармакологических веществ / Под общей ред. Р.У. Хабриева / 2-е переработанное и дополненное издание. – М., 2005. – 832 с.

4 Сунгатуллин Ф.А. Фармакологические свойства Эраконда и его клинические испытания: автореф. дисс...д-ра биол. наук. – Казань, 1999. – 32 с.

## **ВЛИЯНИЕ КОМБИНИРОВАННОГО ДЕЙСТВИЯ 5-ФТОРУРАЦИЛА, ЦИТАРАБИНА И ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ПУЛ ОПУХОЛЕВЫХ СТВОЛОВЫХ КЛЕТОК РАКА ШЕЙКИ МАТКИ ЛИНИИ S1NA**

*Л.А. Соболева, О.Н. Матчук, И.А. Замулаева  
Медицинский радиологический научный центр имени А.Ф. Цыба  
– филиал ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России,  
г. Обнинск, Россия*

Рак шейки матки (РШМ) занимает 6-е место по заболеваемости и смертности у женщин в Российской Федерации [1]. Для лечения данного заболевания применяют методы комбинированной химиолучевой терапии (ХЛТ), однако у части больных не удается добиться удовлетворительных результатов из-за резистентности опухоли к радио- и химиотерапевтическому воздействию. Формирование такой резистентности может включать в себя целый ряд механизмов, один из которых может быть связан с наличием популяции опухолевых стволовых клеток (ОСК). В последние годы значительные усилия специалистов в области экспериментальной онкологии и радиобиологии были направлены на поиск средств, вызывающих гибель ОСК и/или снижающих резистентность ОСК к ионизирующему излучению. При этом закономерности комбинированного действия традиционных химиопрепаратов и облучения на ОСК изучены недостаточно.

Поэтому целью данной работы стало изучение ответа ОСК на воздействие  $\gamma$ -излучения и противоопухолевых препаратов 5-фторурацила и цитарабина, которые часто используются в клинической практике, причем первый из них включен в схемы комбинированного лечения многих злокачественных новообразований.

Клетки РШМ культивировали в стандартных условиях, за 24 час до облучения к клеткам добавляли 5-фторурацил (1,75 мкг/мл) или цитарабин (0,2 мкг/мл), облучали в дозе 4 Гр и определяли долю ОСК через 48 час после радиационного воздействия. ОСК выявляли с помощью проточной цитометрии по способности исключать флуоресцентный краситель Хёхст 33342 и формировать так называемую боковую популяцию (side population, SP).

Исследование показало, что облучение в дозе 4 Гр приводит к значимому увеличению доли ОСК в 2,6 раз относительно контроля, что является стандартной реакцией радиорезистентного пула ОСК на облучение (рис.1). При исследовании воздействия химиопрепаратов на ОСК можно отметить, что только цитарабин вызывает увеличение доли ОСК в 2,4 раза, в то время как в случае 5-фторурацила этот показатель соответствует контрольному уровню. При комбинированном воздействии  $\gamma$ -излучения с 5-фторурацилом или цитарабином происходит снижение общего количества опухолевых клеток, но доля ОСК статистически значимо увеличивается относительно контроля в 4,0 раз и 3,8 раза соответственно (рис. 1), что указывает на повышение относительной резистентности ОСК при комбинации противоопухолевых воздействий.

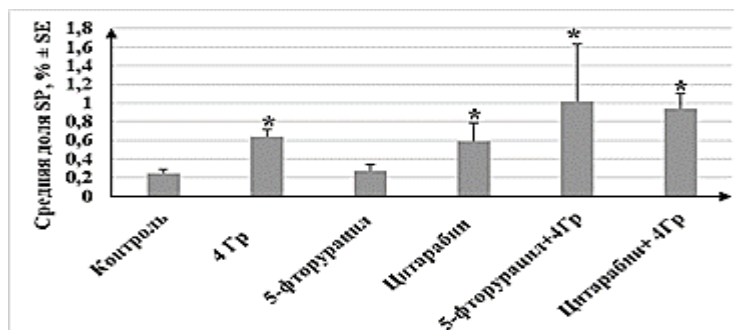


Рис.1. Изменение доли ОСК после одиночных и комбинированных противоопухолевых воздействий.

\*  $p < 0,002$  по сравнению с контролем по критерию Манна-Уитни.

**Закключение.** Полученные результаты свидетельствуют о более высокой резистентности ОСК линии SiNa к действию  $\gamma$ -излучения не только в монорежиме, но и в комбинации с изучаемыми химиопрепаратами по сравнению с остальными клетками.

### *Литература*

1 Злокачественные новообразования в России в 2023 году (заболеваемость и смертность). Под ред. А.Д. Каприна, В.В. Старинского, А.О. Шахзадой. – М.: МНИОИ им. П.А. Герцена – филиал ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России, 2024. – 276 с.

## ДЕЙСТВИЕ ФЕМТОСЕКУНДНОГО ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ПОВЕДЕНИЕ И КОГНИТИВНЫЕ СПОСОБНОСТИ МЫШЕЙ

*С.С. Сорокина<sup>1</sup>, А.Р. Дюкина<sup>1</sup>, В.И. Юсупов<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup>–Институт теоретической и экспериментальной биофизики  
РАН, г. Пущино, Россия*

*<sup>2</sup>– Институт фотонных технологий, Курчатовский Комплекс  
Кристаллография и Фотоника, НИЦ «Курчатовский институт», г. Москва, г. Троицк, Россия*

Установлено, что различные диагностические процедуры, главным образом терапевтическое лучевое воздействие, могут приводить к когнитивным нарушениям, что может существенным образом не только поставить под угрозу выполнение профессиональных задач, но и снизить качество жизни человека [1, 2]. Такие нарушения в долгосрочной перспективе могут проявляться в виде фокальных неврологических дефицитов, вторичной эпилепсии, психического и поведенческого расстройств, повышенного внутричерепного давления и прогрессирующего нарушения обучения и памяти [3]. Широкое применение в медицинских технологиях лазерных излучений различной интенсивности, в частности фемтосекундного лазера при лечении катаракты или транскраниальной стимуляции мозга [4, 5], обуславливают задачу оценки влияния такого лазерного облучения на изменение поведенческих и когнитивных способностей на модели лабораторных животных.

Целью работы стало исследование влияния локального неионизирующего низкоинтенсивного импульсного фемтосекундного лазерного излучения на когнитивные способности мышей в отдалённые сроки. Объектом исследования являлись 2х-месячные самцы мышей SHK весом 28-32 г (n=20). Облучение животных проводили в область носа в течение 50 с со средней интенсивностью  $\sim 1$  мВт/см<sup>2</sup> в г. Троицке в Институте фотонных технологий, на разработанной на основе лазера «АВЕСТА» установке. После облучения животные были транспортированы в виварии ИТЭБ РАН (г. Пущино). Через 5 мес после облучения

для оценки общей активности, пространственного обучения, долговременной и кратковременной гиппокамп-зависимой памяти мышей использовался стандартный набор методик, подробно описанных в [6].

Обнаружено, что облучённые мыши не проявляют изменённую модель локомоторного и психоэмоционального поведения и нарушение в пространственном обучении и памяти, при этом демонстрируя лучшее сохранение памятного следа на 9-тые сут после облучения по сравнению с контрольными животными. Полученные результаты дополняют крайне немногочисленные данные о влиянии лазерного излучения различной интенсивности на когнитивные способности и поведение лабораторных животных.

*Работа выполнена в рамках выполнения государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (№ 075-00223-25-00, ИТЭБ РАН).*

### *Литература*

1. Greene-Schloesser D., Robbins M.E. Radiation-induced cognitive impairment-from bench to bedside // *Neuro Oncol.* – 2012. – №14 (Suppl 4). - iv37-iv44.
2. Lombardi G., Bergo E., Del Bianco P., et al. Quality of life perception, cognitive function, and psychological status in a real-world population of glioblastoma patients treated with radiotherapy and temozolomide: A single-center prospective study // *Am. J. Clin. Oncol.* – 2018. – №41. – P. 1263–1271.
3. Rube C.I., Raid S., Palm J., Rube Ch. Radiation-induced brain injury: Age dependency of neurocognitive dysfunction following radiotherapy // *Cancers.* – 2023. – V.15 (№11). – P. 2999.
4. Saucedo C.L., Courtois E.C., Wade Z.S. et al. Transcranial laser stimulation: Mitochondrial and cerebrovascular effects in younger and older healthy adults // *Brain Stimul.* – 2021. – V.14 (№2). – P. 440-449.
5. Zhoujing L., Baixuan H., Xuemin W. et al. Deep cortical microinfarction induced by femtosecond laser in mice: Long-term secondary pathological changes in corresponding superficial cortex // *Neuroscience Letters.* – 2023. – V. 802. – P. 137170.

6. Sorokina S.S., Malkov A.E., Shubina L.V. et al. Low dose of carbon ion irradiation induces early delayed cognitive impairments in mice // *Radiat. Environ. Biophys.* – 2021. – V.60. – P. 61–71.

## **ИЗУЧЕНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЯ СМЕРТНОСТИ НАЗЕМНОГО МОЛЛЮСКА ПОСЛЕ ОСТРОГО $\beta$ -ОБЛУЧЕНИЯ**

*Н.Ж. Чомба<sup>1</sup>, Е.Е Черкасова<sup>1</sup>, Р.Р Шошина<sup>1</sup>, Г.В. Лаврентьева<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> – *Обнинский институт атомной энергетики – филиал*

*Национального исследовательского ядерного  
университета «МИФИ», г. Обнинск, Россия*

<sup>2</sup> – *Калужский государственный университет  
им. К.Э. Циолковского, г. Калуга, Россия*

Биомониторинг, биоиндикация и биотестирование используются для оценки загрязнения окружающей среды [1]. Наземные моллюски *Fruticicola fruticum* являются отличными биоиндикаторами радиоактивного загрязнения [2], хотя МКРЗ не рассматривает их в качестве эталонных организмов [3]. Исследования показывают, что наземные моллюски *Fruticicola fruticum* при воздействии радиации демонстрируют изменения в морфометрических параметрах, которые коррелируют с содержанием радионуклидов [4]. В данной работе изучено влияние бета-излучения на изменение смертности.

Для этого проведен лабораторный эксперимент с *Fruticicola fruticum* с использованием 135 моллюсков, из них контрольная группа – 30 особей. Эти организмы были облучены на линейном электронном ускорителе NOVAC 11 в Медицинском радиологическом научном центре в г. Обнинск в диапазоне доз 200–600 Гр с интервалом в 50 Гр. Смертность регистрировалась через 1, 5, 10, 20 и 30 сут после облучения. Полученные результаты по смертности представлены на рис. 1.

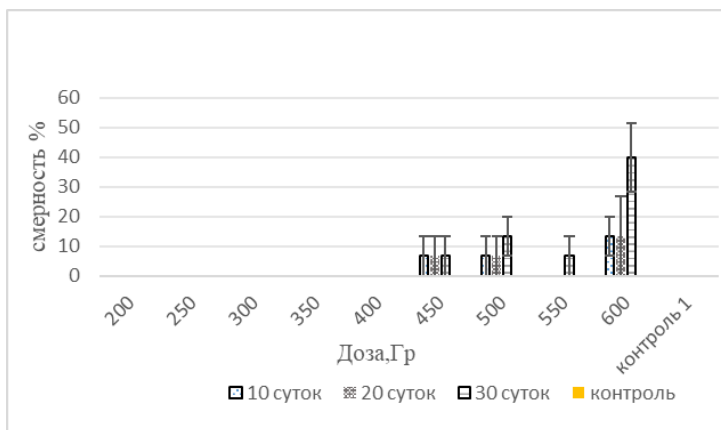


Рис. 1. Зависимость изменения смертности от дозы за период наблюдения 30 сут.

Наблюдения показали, что дозы до 400 Гр не вызывают гибель моллюсков, тогда как при 450–600 Гр смертность возрастает, достигая 40% при 600 Гр к 30 сут. Контрольная группа подтвердила стабильность эксперимента.

Статистический анализ эксперимента по влиянию бета-излучения на смертность моллюсков демонстрирует устойчивую и значимую связь между продолжительностью облучения и биологическими эффектами. Корреляция остаётся высокой (0,691–0,743), что указывает на сильную положительную зависимость между временем воздействия и уровнем смертности. Значения t-критерия Стьюдента увеличиваются с 2,530 до 2,940 к 30-м суткам, что свидетельствует о нарастании статистически значимых различий между экспериментальной и контрольной группами. При этом p-значения остаются ниже порога 0,05 (0,039 → 0,022), подтверждая достоверность результатов. Это может указывать на то, что длительное воздействие приводит к прогрессирующему повреждению клеточных структур, что согласуется с известными механизмами действия ионизирующего излучения.

## *Литература*

1 Биомониторинг состояния окружающей среды: учебное пособие / Под. ред. И.С. Белюченко, Е.В. Федоненко, А.В. Смагина. – Краснодар: КубГАУ, 2014. – 153 с.

2 Черкасова Е.Е., Лаврентьева Г.В., Сынзыныс Б.И. и др. Влияние  $\gamma$ -облучения на смертность и биомассу наземного моллюска *F. fruticum* М. // Радиационная биология. Радиоэкология. – 2023. – Т. 63. – №3. – С. 285-299.

3 ICRP, 2008. Environmental Protection: the Concept and Use of Reference Animals and Plants. Publication 108 // Ann. ICRP. – 2008. – 251 p.

4 Шошина Р.Р., Лаврентьева Г.В., Сынзыныс Б.И. Применение концептуальной модели зональности хронического действия ионизирующей радиации при изучении поведения радиостронция в сухопутных экосистемах // Известия вузов. Ядерная энергетика. – 2015. – № 2. – С. 143–148.

## **ЭКСПРЕССИЯ ПЕРОКСИРЕДОКСИНОВ В РАКОВЫХ КЛЕТКАХ ЧЕЛОВЕКА С РАЗЛИЧНОЙ РАДИОРЕЗИСТЕНТНОСТЬЮ**

*М. Г. Шарапов, С. Б. Парфенюк, Р. Г. Гончаров,  
Е. Е. Карманова, О. В. Глушкова  
Институт биофизики клетки ФИЦ ПНЦБИ РАН,  
г. Пуццино, Россия*

Радиорезистентность раковых клеток снижает эффективность лучевой терапии [1]. Пероксиредоксины (Prdx) играют ведущую роль в поддержании редокс-гомеостаза в клетках и могут быть важными факторами радиорезистентности [2]. В данной работе проведена оценка радиорезистентности трех линий раковых клеток человека: MCF-7 (рак молочной железы), Caco2 (коло ректальный рак) и A549 (рак легких). Клоногенный тест показал, что полунлетальная доза радиации ( $LD_{50}$ ) для MCF-7 ~ 4.7 Гр, Caco-2 ~ 2.5 Гр, A549 ~ 2.3 Гр. Исследование экспрессии пероксиредоксинов (PRDX1-6) в клетках MCF-7, Caco2 и A549

при нормальных условиях и воздействии рентгеновского излучения (2,5 и 5 Гр) показало изоформ-специфическую транскрипцию этих генов. В нормальных условиях PRDX1-6 активно экспрессируются в исследованных клетках (табл.1), причем наиболее активно транскрибируется PRDX6 (10-15% от уровня мРНК гена Rplp2). Наименьший уровень экспрессии показан для PRXD1. В наиболее радиочувствительных клетках A549, экспрессия PRDX2 снижена в 300-500 раз по сравнению с Caco2 и MCF-7 (табл.1). Степень индукции PRDX1-6 зависит от дозы радиации: чем выше доза, тем быстрее наблюдается рост экспрессии. Для дозы 5 Гр пик индукции приходится на 1-й час, для дозы 2,5 Гр – на 2-ой час после облучения. Значительные изменения в экспрессии PRDX1-6 наблюдаются в первые 4 час после облучения. Наибольший рост экспрессии наблюдается для PRDX2 (5-14 раз) и PRDX6 (3-6 раз). Иммуноблоттинг подтвердил, что через 4-6 час после облучения уровень белков Prdx2 и Prdx6 возрастает (в 3-5 раз) дозо-зависимым образом. При этом, наименьшие изменения (3-4 раза) в экспрессии PRDX1-6 в ответ на облучение отмечены в клетках MCF-7, что, по-видимому, связано с более высоким базовым уровнем экспрессии перокси-редоксинов в этих клетках и их большей радиорезистентностью. Через 24 час после облучения клеток, экспрессия PRDX1-6 возвращается к нормальным значениям.

Таблица 1  
Экспрессия генов PRDX1-6 в раковых клетках человека MCF-7, Caco2 и A549 при нормальных условиях, относительно гена Rplp2

| Гены  | A549    | Caco2   | MCF7    |
|-------|---------|---------|---------|
| RPLP2 | 1       | 1       | 1       |
| PRDX1 | 0,00041 | 0,00025 | 0,00037 |
| PRDX2 | 0,0003  | 0,088   | 0,148   |
| PRDX3 | 0,027   | 0,018   | 0,027   |
| PRDX4 | 0,031   | 0,022   | 0,072   |
| PRDX5 | 0,041   | 0,036   | 0,047   |
| PRDX6 | 0,088   | 0,124   | 0,140   |

В ответ на облучение в клетках Сасо2 и А549 наблюдается мощная индукция генов, связанных с репарацией ДНК и апоптозом. В клетках MCF7 профиль экспрессии этих генов меняется незначительно, что указывает на меньший уровень повреждений ДНК, вызванных радиацией и активными формами кислорода, которые эффективно элиминируются Prdx. Полученные данные указывают на ведущую роль пероксиредоксинов (особенно Prdx2 и Prdx6) в защите раковых клеток от окислительного стресса, вызванного ионизирующей радиацией.

*Работа выполнена при поддержке гранта Российского научного фонда №24-24-00070.*

### ***Литература***

1 Шарапов М.Г., Карманова Е.Е., Гудков С.В. Механизмы радиорезистентности раковых клеток: современные тенденции и перспективы исследований. // Биофизика. – 2024. – Т.69. – №6. – С.1235–1262.

2 Sharapov M.G., Glushkova O.V., Parfenyuk S.B. et al. The role of TLR4/NF- $\kappa$ B signaling in the radioprotective effects of exogenous Prdx6. // Arch. Biochem. Biophys. – 2021. – V.702. – 108830.

## **ИЗМЕНЕНИЕ ИММУННОГО ПРОФИЛЯ КОЖИ ПРИ ОДНОКРАТНОМ ОСТРОМ ОБЛУЧЕНИИ $\beta$ -ИЗЛУЧЕНИЕМ**

*В.А. Шестакова<sup>1,2</sup>, Л.Н. Комарова<sup>1</sup>, Д.А. Атякин<sup>3</sup>,  
Е.В. Исаева<sup>2</sup>, Д.С. Барановский<sup>2,3</sup>, И.Д. Клабуков<sup>1,2</sup>*

*<sup>1</sup> – Обнинский институт атомной энергетики – филиал  
Национального исследовательского ядерного университета  
«МИФИ», г. Обнинск, Россия*

*<sup>2</sup> – Медицинский радиологический научный центр имени А.Ф.  
Цыба – филиал ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России,  
г. Обнинск, Россия*

*<sup>3</sup> – Российский университет дружбы народов, г. Москва, Россия*

Кожная токсичность является одним из основных побочных эффектов лучевой терапии, приводящей к умеренным или тяже-

лым поражениям кожи. А сопровождающее нарушение баланса между различными типами иммунных клеток кожи может спровоцировать ухудшение процесса ранозаживления и развитие хронических лучевых поражений кожи. В связи с этим актуальным является понимание сложного взаимодействия иммунных клеток при заживлении лучевых поражений кожи для раскрытия глубинных механизмов, которые либо стимулируют заживление, либо способствуют хроническому повреждению.

Целью данной работы являлось изучение изменения иммунного профиля кожи при однократном остром облучении электронами в дозе 40 Гр.

Объектом исследования являлись ранние лучевые поражения кожи, возникающие под влиянием ионизирующего излучения. Для моделирования лучевого поражения кожи были использованы крысы линии Wistar, внешняя сторона бедра которых была облучена электронами на установке Novac-11 с энергией электронов 10 МэВ в дозе 40 Гр. Изменения иммунного профиля кожи оценивались с помощью гистологического и иммуногистохимического окрашивания.

В ходе работы было обнаружено, что на 9 сут после облучения в сосудистом русле и элементах микроциркуляторного русла выявлялось большое количество нейтрофилов и эозинофилов, которые, судя по морфологическим признакам, готовились к трансэндотелиальной миграции в соединительную ткань поврежденного участка кожи, а взаимодействие между тучными клетками и нейтрофилами становилось распространенным, что особенно характерно для стадии воспаления. На 16 сут повышенное содержание тучных клеток сохранялось, вместе с продолжающимся взаимодействием с нейтрофильными и эозинофильными гранулоцитами (рис. 1А). Аналогично при комбинированном иммуногистохимическом и гистохимическом окрашивании секреторная активность тучных клеток к гладким миоцитам, перицитам и эндотелиальным клеткам сосудистой стенки увеличивалась, повышая степень провоспалительной сигнализации для привлечения иммунокомпетентных клеток (рис. 1Б). Также, через 9 и 16 сут после облучения наблюдалось увеличение количества макрофагов I и II типа и частоты их контактов с тучными

клетками (рис. 1В). Примечательно, что при этом наблюдалось частичное формирование тонких ретикулярных или преколлагеновых волокон (рис. 1Г).

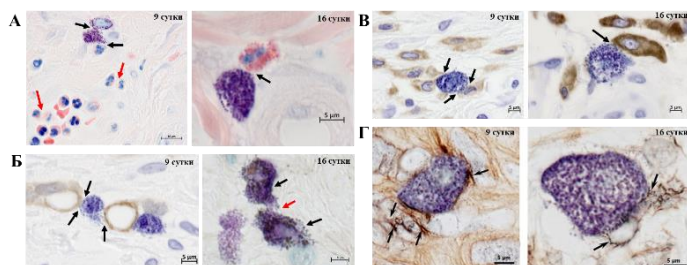


Рис. 1. Изменение иммунного профиля облученной кожи: А. Окрасивание по Гимзе; Б. Комбинированное иммуногистохимическое и гистохимическое окрасивание; В. Комбинированное иммуногистохимическое окрасивание; Г. Комбинированное окрасивание толуидиновым синим и импрегнацией серебром.

На основе полученных данных можно сделать вывод, что учащение фактов прямого контактирования тучных клеток с сосудистым руслом и макрофагами в условиях облучения указывает на повышение провоспалительного сигналинга с последующей инфильтрацией и вероятностью развития хронизации ран.

## СОДЕРЖАНИЕ СЕРОТОНИНА И РОДСТВЕННЫХ СОЕДИНЕНИЙ В ПРЕФРОНТАЛЬНОЙ КОРЕ МЫШЕЙ ПРИ ХРОНИЧЕСКОМ ВОЗДЕЙСТВИИ НИЗКОИНТЕНСИВНОГО ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ

*В.М. Щемелев, С.П. Новицкая, Н.В. Чуешова  
Институт радиобиологии НАН Беларуси, г. Гомель, Беларусь*

Ядерная медицина, включающая радионуклидную диагностику и терапию, представляет собой одну из наиболее динамично развивающихся областей лучевой диагностики. Её прогресс связан с внедрением новых радиофармацевтических препаратов, технологических решений и изменением структуры

исследований. Однако эти инновации могут косвенно способствовать росту коллективной дозы облучения населения и повышению радиационных рисков при проведении диагностических процедур [1].

В контексте радиационной защиты в медицине ключевой интерес представляют радиобиологические эффекты малых доз облучения, которые не вызывают детерминированных медико-биологических последствий. Данный подход актуален для современных сценариев облучения как персонала и населения, так и большинства пациентов, проходящих лучевую диагностику. Согласно современным стандартам, к «малым» относят дозы до 0,1 Зв – диапазон, охватывающий все виды диагностических процедур с использованием ионизирующего излучения [2].

Возрастающая доступность и широкое применение ионизирующего излучения в медицине требуют пересмотра существующих данных о его биологическом воздействии. Особое внимание уделяется изучению влияния как высоких, так и низких доз на центральную нервную систему (ЦНС). Если нейробиологические эффекты высокодозового облучения хорошо изучены, то последствия низкодозового воздействия остаются предметом научных дискуссий [3].

Исследования выполнены на мышах линии С57В1/6. Все животные были разделены на две группы: 1. Контроль; 2. Облучение – животные, которых подвергали хроническому (фракционированное) низкодозовому облучению (фракции по 30 сГр/сут, мощность дозы 0,3 сГр/мин, на протяжении 18 сут, суммарная доза – 5,4 Гр) с помощью рентгеновской установки биологического назначения X-Rad 320 Precision X-ray Inc. (напряжение на трубке 320 кВ, сила тока 12,5 мА, фильтр № 2 (1,5 мм Al, 0,25 мм Cu, 0,75 мм Sn), расстояние до объекта 50 см).

Определение серотонина, его предшественников и производного производилось в хлорнокислых экстрактах префронтальной коры при помощи ион-парной высокоэффективной жидкостной хроматографии с детектированием по флуоресценции.

По результатам анализа у животных, подвергавшихся хроническому (фракционированное) воздействию низкодозового ИИ, в ПФК зафиксировано снижение уровня триптофана (Trp) на

23,9% ( $p=0,01$ ), 5-НТ на 64,6% ( $p=0,01$ ) и 5-гидроксииндолуксусной кислоты (5-НІАА) на 67,3% ( $p=0,01$ ).

Выявленное снижение содержания метаболитов серотонинергической системы ПФК может указывать на снижение оборота 5-НТ в данном отделе мозга. Серотонин в ПФК регулирует кратковременную память, внимание и поведенческое торможение: как его избыток, так и дефицит ассоциированы с импульсивностью, в связи с чем снижение его оборота потенциально способно влиять на данные процессы [4].

### *Литература*

1 Чипига Л.А. и др. Тенденции развития ядерной медицины в Российской Федерации за 2015–2020 гг. // Радиационная гигиена. – 2023. – Т.15. – №4. – С. 122-133.

2 Онищенко Г.Г. и др. Современные принципы обеспечения радиационной безопасности при использовании источников ионизирующего излучения в медицине. Часть 2. Радиационные риски и совершенствование системы радиационной защиты // Радиационная гигиена. – 2019. – Т.12. – №2. – С. 6-24.

3 Betlazar C. et al. The impact of high and low dose ionising radiation on the central nervous system // Redox Biology. – 2016. – V. 9. – P. 144-156.

4 Puig M.V., Gullledge A.T. Serotonin and prefrontal cortex function: neurons, networks, and circuits // Molecular Neurobiology. – 2011. – V. 44(3). – P. 449-464.

## **СОДЕРЖАНИЕ ДОФАМИНА И РОДСТВЕННЫХ СОЕДИНЕНИЙ В ПРЕФРОНТАЛЬНОЙ КОРЕ МОЛОДЫХ КРЫС ПРИ ХРОНИЧЕСКОМ ВОЗДЕЙСТВИИ НИЗКОИНТЕНСИВНОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ**

*В.М. Щемелев, Н.В. Чуешова*

*Институт радиобиологии НАН Беларуси, г. Гомель, Беларусь*

В последние десятилетия электромагнитные поля (ЭМП) превратились в глобальный физический фактор производствен-

ной среды, существенно превышающий естественный электромагнитный фон [1]. Рост числа устройств и точек доступа к интернету посредством Wi-Fi привел к постоянному круглосуточному воздействию электромагнитных полей радиочастотного диапазона (ЭМП РЧ) на все слои населения, включая детей, беременных женщин и пожилых людей.

Многочисленные научные работы свидетельствуют, что ЭМП РЧ способны оказывать негативное влияние на центральную нервную систему (ЦНС), которая признана одной из наиболее чувствительных к воздействию данного фактора [2]. Особый интерес представляет изучение влияния ЭМП РЧ на моноаминергические системы, регулирующие у позвоночных нейроэндокринные, репродуктивные, пищеварительные и поведенческие функции. В связи с этим актуальным направлением исследований является анализ воздействия ЭМП РЧ на моноаминергические системы префронтальной коры (ПФК) головного мозга – эволюционно молодой структуры, интегрированной в нейросети гипоталамуса, стриатума, гиппокампа, корковых полей лобной доли, поясной извилины, а также дорсомедиальных ядер таламуса и его интраламинарной системы [3].

Крысы-самцы линии Вистар исходным возрастом 30 сут. были разделены на две группы: Контроль (n=8) и Wi-Fi – животные, которые подвергались круглосуточному воздействию электромагнитного поля Wi-Fi-маршрутизатора (Плотность потока электромагнитной энергии в среднем –  $0,79 \pm 0,37$  мкВт/см<sup>2</sup>) на протяжении 90 сут.

Определение дофамина, его предшественников и производного производилось в хлорнокислых экстрактах префронтальной коры при помощи ион-парной высокоэффективной жидкостной хроматографии с детектированием по флуоресценции.

Экспериментальное 90-суточное воздействие ЭМП от Wi-Fi на животных вызвало изменения в дофаминергической системе префронтальной коры (ПФК): снижение уровня тирозина (Тур) на 27,7% (p=0,01) при 300% (p=0,01) росте концентрации дофамина (DA).

Тирозин, как предшественник DA, обычно лимитирует его синтез через конверсию в DOPA под действием тирозингидрок-

силазы. Однако стабильный уровень ДОФА при резком росте ДА указывает на нарушение обратного захвата нейромедиатора, вероятно, из-за снижения экспрессии дофаминового транспортера (DAT) [4].

В свою очередь 300% увеличение ДА повышает риск окислительного стресса (накопление токсичного DOPAL) и дисбаланса нейрональной активности: гиперстимуляция D1-рецепторов провоцирует эксайтотоксичность, а подавление D2-рецепторов нарушает когнитивную гибкость [5].

### *Литература*

1 Григорьев Ю.Г. Принципиально новое электромагнитное загрязнение окружающей среды и отсутствие адекватной нормативной базы // Гигиена и санитария. – 2014. – №3. – С. 11-16.

2 Hardell L. World Health Organization, radiofrequency radiation and health – a hard nut to crack // International Journal of Oncology. – 2017. – V. 51(2). – P. 405-413.

3 Ashby F.G. Differential effects of dopamine-directed treatments on cognition // Neuropsychiatric Disease and Treatment. – 2015. –V. 11. – P.1859-1875.

4 Brenhouse H.C., Andersen S.L. Developmental trajectories during adolescence in males and females: a cross-species understanding of underlying brain changes // Neuroscience & Biobehavioral Reviews. – 2011. – V. 35(8). – P. 1687–1703.

5 Floresco S.B. Prefrontal dopamine and behavioral flexibility: shifting from an “inverted-U” toward a family of functions // Frontiers in Neuroscience. – 2013. – V. 7. – P. 62.

## **ВЛИЯНИЕ МЕКСИДОЛА НА ВЫРАЖЕННОСТЬ КОГНИТИВНЫХ НАРУШЕНИЙ, ВЫЗВАННЫХ ПРОТОННЫМ ОБЛУЧЕНИЕМ**

*В.В. Яснецов, О.С. Кузнецова, А.А. Перевезенцев,  
К.Б. Лебедева-Георгиевская, А.С. Штемберг  
ГНЦ РФ – Институт медико-биологических проблем РАН,  
г. Москва, Россия*

В межпланетных полетах, связанных с выходом корабля за пределы магнитосферы Земли, резко возрастает риск воздействия на экипаж космической радиации, в первую очередь – галактических космических лучей (протоны высоких энергий и тяжелые ионы), – способной вызывать функциональные нарушения в центральной нервной системе, что может существенно снижать работоспособность человека-оператора [1]. Кроме того, важной медицинской проблемой продолжают оставаться побочные эффекты протонной онкотерапии [2]. В связи с этим поиск эффективных и безопасных лекарственных средств для курсового применения, защищающих когнитивные функции от негативного воздействия протонов, является своевременным и актуальным.

Цель исследования: изучение влияния оригинального отечественного лекарственного препарата мексидола на выраженность у животных когнитивных нарушений, вызванных протонным облучением.

Материалы и методы исследования. Исследование выполнено на 24 крысах-самцах линии Wistar (масса 180–200 г). Выработку и сохранение условного рефлекса активного избегания (УРАИ) оценивали в челночной камере [3]. Животные 1-й группы (n=8) составили интактный контроль (без облучения), 2-й группы (n=8) – были подвержены облучению без лечения, а крысам 3-й группы (n=8) вводили мексидол (этилметилгидроксипиридина сукцинат) в дозе 150 мг/кг/сутки (внутри с питьевой водой) в течение 7 сут до воздействия и 1 сут после него. Животных облучали на протонном ускорителе Медицинского ра-

диалогического научного центра им. А.Ф. Цыба, г. Обнинск (доза 2 Гр протонами 150 МэВ в голову).

Результаты. Животные контрольной группы на фоне развития лучевой болезни в течение 2 недель после облучения выглядели угнетенными, малоактивными и испытывали проблемы не только с обучением, но даже и с воспроизведением УРАИ. Улучшение их состояния и повышение результата наблюдалось только через 1 месяц после воздействия. Мексидол выраженно улучшал когнитивные функции у крыс в тесте УРАИ: животные 3-й группы хотя несколько и снижали темп обучения (по числу реакций избегания болевого стимула) после воздействия, но демонстрировали высокие результаты, которые статистически достоверно не отличались от показателей интактной группы. После завершения курса мексидола через 2 недели с момента облучения указанный показатель у крыс данной группы достоверно и значительно снижался.

Итак, мексидол в дозе 150 мг/кг/сутки у крыс способен купировать проявление когнитивных нарушений, вызванных облучением протонами. Полученные результаты являются обоснованием его дальнейшего изучения в качестве лекарственного средства, предотвращающего ухудшение когнитивных способностей вследствие протонного воздействия.

### *Литература*

1 Григорьев А.И., Красавин Е.А., Островский М.А. К вопросу о радиационном барьере при пилотируемых межпланетных полётах // Вестник Российской академии наук. – 2017. – Т.87. – №1. – С. 65-69.

2 Климанов В.А., Галяутдинова Ж.Ж., Забелин М.В. Протонная лучевая терапия: современное состояние и перспективы. Часть II. Радиобиологические и клинические аспекты // Онкологический журнал: лучевая диагностика, лучевая терапия. – 2019. – Т.2. – №1. – С. 5-20.

3 Перевезенцев А.А., Лебедева-Георгиевская К.Б., Кузнецова О.С. и др. Нейробиологические эффекты комбинированного действия антиортогостатического вывешивания, квазихронического гамма-излучения и ионов углерода у крыс // Российский фи-

зиологический журнал им. И.М.Сеченова. – 2023. – Т.109. – №3.  
– С. 348-365.

## СЕКЦИЯ 7. ШКОЛЬНАЯ ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ СЕКЦИЯ

### ТРЕХМЕРНАЯ КЛЕТОЧНАЯ МОДЕЛЬ ФИБРОБЛАСТОВ ЧЕЛОВЕКА КАК ТЕСТ-СИСТЕМА ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ВОЗДЕЙСТВИЯ ПОЛЛЮТАНТОВ НА ЖИВЫЕ КЛЕТКИ (НА ПРИМЕРЕ ХЛОРИДА СВИНЦА)

В.С. Беднякова<sup>1</sup>, Г.Н. Верушкина<sup>1</sup>, А.К. Лапенко<sup>2</sup>

<sup>1</sup> – МБОУ «Гимназия», г. Обнинск, Россия

<sup>2</sup> – Обнинский институт атомной энергетики – филиал  
Национального исследовательского ядерного  
университета «МИФИ», г. Обнинск, Россия

Изучение воздействия поллютантов на живые организмы становится более актуальным в условиях поступления загрязняющих химических веществ в природные экосистемы. Трехмерные модели – сфероиды – имеют высокий потенциал при оценке влияния токсинов на живые клетки, поскольку, в отличие от 2D-культуры, способны воссоздать клеточное микроокружение, близкое к условиям *in vivo*. Чувствительность сфероидов к поллютантам малоизучена, ее оценка позволит сделать вывод о дальнейшем использовании сфероидов как тест-системы для биотестирования.

Соединения тяжелых металлов – одни из наиболее распространенных загрязняющих веществ. В Калужской области установлена динамика увеличения содержания свинца и никеля в атмосферных аэрозолях, что обусловило выбор хлорида свинца в качестве исследуемого поллютанта [1].

Цель работы: изучить влияние хлорида свинца ( $PbCl_2$ ) в различных концентрациях на клеточные сфероиды фибробластов.

Объектом исследования выбрана линия фибробластов человека hTERT. Экспериментально получили и охарактеризовали клеточные сфероиды. Использовали питательную среду DMEM с добавлением бычьей сыворотки и стрептомицина. Сфероиды получали из клеток 10-ого пассажа методом культивирования на низкоадгезивной поверхности, используя планшеты, обработанные 1,5% раствором агарозы. Посевная концентрация 5000

кл./лунку. Морфометрические параметры сфероидов определяли на 3-и сутки культивирования с помощью микроскопа «Микромед И». Жизнеспособность клеток в сфероидах оценивали в течение 15 сут по метаболической активности методом МТТ-анализа.

С учетом установленной оптимальной продолжительности культивирования сфероидов изучили действие хлорида свинца. На 3-и сутки культивирования сфероиды подвергли воздействию хлорида свинца в концентрациях 10 мкМ, 100 мкМ, 1 мМ, 10 мМ. Контроль представлял сфероиды в растворе питательной среды. На каждую группу приходилось в среднем 20 сфероидов. Инкубировали в течение 24 час, после чего определяли морфологические показатели сфероидов, проводили МТТ-анализ [2].

Плотный клеточный агрегат с правильной округлой формой, ровным краем формировался на 3-и сутки культивирования. Оптическая плотность на 1-ые, 4-ые, 7-ые, 15-ые сутки составила ОП, 0,36 ОП, 0,25 ОП, 0,21 ОП соответственно, что указывает на снижение метаболической активности с увеличением продолжительности культивирования. Оптимальной длительностью культивирования сфероидов для изучения влияния хлорида свинца установлено трое суток. У сфероидов, инкубируемых в растворах 10 мкМ, 100 мкМ хлорида свинца, сохранялась округлая форма и четкий ровный край; 1 мМ – край становился неровным, 10 мМ – наблюдался изрезанный край и частичная диссоциация. Количество жизнеспособных клеток в сфероидах составило 100%, 93,4%, 88,8%, 65,4%, 18% для контрольной группы и концентраций 10 мкМ, 100 мкМ, 1 мМ, 10 мМ соответственно.

Жизнеспособность клеток в сфероидах является более чувствительным показателем, чем морфометрические параметры, и достоверно снижается при действии хлорида свинца в концентрации 100 мкМ. Сфероиды можно рассматривать как тест-систему для улучшения методов оценки экологических рисков при изучении влияния загрязняющих веществ на живые клетки.

## *Литература*

Роева Н.Н., Зайцева И.А. Определение меди, никеля, хрома, цинка и свинца в атмосферных аэрозолях, отобранных на территории Калужской области // Проблемы региональной экологии. – 2024. – №5. – С. 57-61.

2 Forsythe S., Devarasetty M., Shupe T. et al. Environmental toxin screening using human-derived 3D bioengineered liver and cardiac organoids // *Frontiers in Public Health*. – 2018. – V. 6 – P. 1689-1694.

### **ВЛИЯНИЕ ПРОТИВОГОЛОЛЁДНОГО СРЕДСТВА «БИОНОРД» НА МОРФОМЕТРИЧЕСКИЕ И БИОХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПРОРОСТКОВ ЯЧМЕНЯ И КРЕСС-САЛАТА**

*В.А. Бычкова, И.В. Леках*

*ЧОУ СОШ «Обнинская свободная школа», г. Обнинск, Россия*

В последние годы в городах активно применяются противогололёдные средства (ПГС), в основном, являющиеся смесью хлоридов натрия и кальция. Возможный вред от средства «Бионорд» нуждается в экспериментальной проверке, так как информации о влиянии этого ПГС на растения очень мало.

Для эксперимента были выбраны два типичных тест-объекта – кресс-салат с низкой солеустойчивостью и ячмень – со средней солеустойчивостью [1]. Семена проращивали методом рулонов в различных концентрациях «Бионорд» (от 0,2% до 2% для кресс-салата и от 1% до 3% – для ячменя). В качестве контроля использовалась отстоянная водопроводная вода.

Энергия прорастания семян определялась на 3 сут, всхожесть – на 8 сут. Измерялись морфометрические показатели (для ячменя – количество корней, максимальные длины корня и проростка, для кресс-салата – длина корня и стебля и количество листьев). Определяли сырую массу корней и стеблей с листьями; оптическую плотность экстрактов пигментов фотосинтеза в 80% ацетоне определяли, используя КФК-3, при длинах волн:

665, 649 и 470 нм. Далее, по формулам рассчитывали содержание хлорофиллов а и b и каротиноидов в мг/мл.

Установлено, что кресс-салат (два сорта) действительно намного чувствительнее к засолению. Всхожесть семян снижалась по сравнению с контролем на 10-15% для сорта «Забава» и до 40% для сорта «Весенний» уже в концентрациях «Бионорд» ниже 1%. В солевых растворах с концентрацией выше 1% семена не прорастали.

Энергия прорастания семян ячменя закономерно снижалась на 10% в 1%-м растворе «Бионорд» и на 60% – в 2%-м растворе ПГС. Из морфометрических показателей у ячменя более чувствительными к засолению оказались длина проростка и длина корней, но не их количество. У кресс-салата нормальные проростки развивались только в концентрациях ниже 1% ПГС. Длина корней и стеблей уменьшалась на 35% по сравнению с контролем. Параметр «Количество листьев» оказался менее чувствительным, полностью листья прекращали развиваться в 2%-м растворе «Бионорд».

Концентрацию пигментов фотосинтеза у ячменя можно было определить только до уровня засоления в 2%. Для прорастания кресс-салата концентрации «Бионорд» были снижены до диапазона 0,2-1%. Концентрации хлорофиллов и каротиноидов в листьях кресс-салата закономерно снижались по сравнению с контролем, а при засолении 1% раствором «Бионорд» листья становились слабого желто-зеленого цвета. Таким образом, пигментов было недостаточно для экстрагирования и определения оптической плотности.

Для ячменя в концентрации «Бионорд» 1% отмечено некоторое увеличение концентраций хлорофиллов и каротиноидов, но при увеличении концентрации ПГС до 1,5% и далее до 2% – содержание пигментов снизилось в 1,6 и в 2 раза соответственно.

В литературе есть данные о разнонаправленном влиянии засоления на концентрацию пигментов и интенсивность фотосинтеза [2, 3] у разных видов растений и даже у разных сортов одного и того же вида. Таким образом, «Бионорд», даже в небольших количествах, может оказывать угнетающее влияние на солечувствительные растений, в том числе и на газонные травы,

что требует более внимательного отношения к его использованию.

### *Литература*

1 Удовенко Г.В. Солеустойчивость культурных растений. – М.: Колос, 1977. – 216 с.

2 Рахматуллина Н.Ш., Насриддинова П.М., Акиншина Н.Г. и др. Адаптация фотосинтетического аппарата растений к солевому стрессу // Научное обозрение. Биологические науки. – 2022. – № 1. – С. 56-61.

3 Кузнецова С.А., Климачев Д.А., Карташов С.Н., Старикова В.Т. Влияния засоления на показатели фотосинтетической активности растений // Вестник МГОУ. Серия Естественные науки. – 2014. – № 1. – С. 63-68.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ АВТОМАТИЗАЦИИ ОЦЕНКИ СТЕПЕНИ УГНЕТЕННОСТИ ЕЛЕЙ**

*В.В. Гусев, Г.Н. Верушкина  
МБОУ «Гимназия», г. Обнинск, Россия*

Актуальность вопросов, связанных с эффективным ресурсопотреблением, не подлежит сомнению. Важнейший ресурс – лес. Но не всегда качество леса удовлетворяет запросам потребления. Антропогенная деятельность приводит к деградации, угнетению лесных экосистем. Особенно подвержены такому влиянию хвойные, ценные в лесном хозяйстве породы. Такие массивы необходимо вырубать и заменять новыми по достижению ими возраста, при котором деревья накопили наибольшую биомассу, не потеряв нормативного качества. Но сначала необходимо оценить степень угнетения массива, что даже при современных методах очень трудоемко и долго.

Известно, что угнетение елей приводит к снижению их фотосинтетической активности. Угнетенные ели поглощают меньше солнечного света, его большее количество отражается в космическое пространство. Количество отраженного света – одна из фиксируемых характеристик планеты спутниками дистанцион-

ного зондирования Земли. Используя спутники, фиксируя разницу в отраженном свете, можно будет проводить качественную и быструю оценку степени угнетенности ельников для эффективного ведения лесного хозяйства.

**Цель работы:** доказать возможность автоматической оценки степени угнетенности елей.

В 2023–2025 гг. были проведены исследования, в ходе которых были определены однородные еловые древостои на территории г. Обнинска с разной степенью угнетения: мониторингом чистоты воздуха и дешифрованием космоснимков в красном синтезе [1] определили участки однородного елового древостоя с разной интенсивностью загрязнения (центр Гурьяновского леса, участок леса вдоль ул. Ляшенко, участок леса рядом с южным выездом – по мере увеличения загрязненности), измерением оптической плотности вытяжек хвои с разных участков доказали различную угнетенность древостоев (концентрация хлорофилла-а, хлорофилла-б, хлорофилла-(а+б) оказалась в среднем достоверно выше на 0,3 мг/г на контрольном участке по сравнению с наиболее загрязнённым [3]) [2].

В 2025 г. по данным дистанционного зондирования в программе Qgis была проведена оценка физических показателей (длин отраженных волн ближнего УФ спектра) на выбранных участках с разным угнетением. Измеренные на Обнинской модели показатели угнетенности достоверно отличались и составляли у здоровой части леса – 0.2–0.3 у.е. синтеза; у угнетенной – 0.1–0.2 у.е.

Экстраполяция длин волн, полученных на модели, на спутниковые снимки Жуковского района из мирового архива спутниковых данных USGS EarthExplorer позволила доказать преимущество способа перед существующими: при малом времени, потраченном на определение, получены верные результаты: наложение границ еловых лесов, дешифрованных на здоровые и угнетенные, на топографические карты показало: угнетенные ели расположены вблизи от пылевых загрязнителей воздуха, здоровые – вдали от них.

## *Литература*

1 Шихов А.Н., Герасимов А.П., Пономарчук А.И. и др. Тематическое дешифрование и интерпретация космических снимков среднего и высокого пространственного разрешения: учебное пособие. – Пермь: Пермский государственный национальный исследовательский университет, 2020. – С. 95–96.

2 Гусев В.В., Верушкина Г.Н. Исследование влияния концентрации взвешенных частиц PM<sub>2.5</sub> в воздухе на состояние хвои ели европейской на примере города Обнинск / Техногенные системы и экологический риск: Тезисы докладов VI Международной (XIX Региональной) научной конференции / Под общ. ред. А.А. Удаловой. – Обнинск: ИАТЭ НИЯУ МИФИ, 2023. – С. 439–440.

3 Шлык А.А. Определение хлорофилла и каротиноидов в экстрактах зеленых листьев // Биохимические методы в физиологии растений. – М.: Наука, 1971. – С. 159–169.

## **СРАВНЕНИЕ КРЕСС-САЛАТА И ДРОЖЖЕЙ SACCHAROMYCES CEREVISIAE КАК ТЕСТ-ОБЪЕКТОВ ДЛЯ БИОИНДИКАЦИИ ЗАГРЯЗНЕНИЙ ПОЧВЫ**

*А.А. Ильина, И.В. Леках*

*ЧОУ СОШ «Обнинская свободная школа», г. Обнинск, Россия*

В последнее время появились исследования [1] о возможности использования пекарских дрожжей для определения токсичности воды и различных субстратов. Поэтому представляет интерес выявление влияния загрязнений почвы на данный организм в сравнении с типичными растительными тест-объектами.

Пробы почвы были взяты с газонов методом конверта на различных улицах г. Обнинска с разной интенсивностью движения автотранспорта и в Гурьяновском лесу. В почвенных вытяжках проводили качественные реакции на тяжелые металлы и хлориды. Определяли интенсивность брожения дрожжей в контроле (вода) и почвенных вытяжках по уровню пенообразования. Семена кресс-салата проращивали в этих же почвенных вытяжках.

Определяли всхожесть, среднюю длину корней, стеблей и количество листьев у проростков.

Качественными реакциями удалось выявить только следовые количества свинца в вытяжке почвы с Киевского шоссе. Однако, концентрация хлоридов была значительной во всех образцах кроме почвы из Гурьяновского леса. Скорее всего, это является следствием использования солевых противогололедных реагентов.

Как следует из табл.1, корни кресс-салата более чувствительны к загрязнениям почвы, чем стебли и листья. Наименьшая длина корней отмечена в вытяжках с пр. Маркса, пр. Ленина и Киевского шоссе с наибольшей автотранспортной нагрузкой. Была отмечена значительная вариативность морфометрических показателей, что может зависеть от сорта, состояния и срока хранения семян кресс-салата.

Установлено, что интенсивность брожения дрожжей оказалась наименьшей в вытяжках с пр. Ленина и Киевского шоссе, соответственно, в 2 и 3 раза по сравнению с контролем. Кроме того, наблюдалось и удлинение времени брожения, что могло быть вызвано загрязнениями почвы, как хлоридами, так и примесями тяжелых металлов.

Таблица 1  
Морфометрические показатели проростков кресс-салата

| Точки отбора проб | Количество проростков | Средняя длина корня (мм) | Средняя длина стебля (мм) | Среднее количество листьев |
|-------------------|-----------------------|--------------------------|---------------------------|----------------------------|
| Контроль          | 10                    | 77,4                     | 34,6                      | 3                          |
| Гурьяновский лес  | 10                    | 78,5                     | 33,9                      | 3                          |
| Пр. Ленина        | 10                    | 65,4                     | 32,9                      | 3                          |
| ул. Гурьянова     | 10                    | 88,2                     | 37,8                      | 3                          |
| пр. Маркса        | 9                     | 68,5                     | 31,6                      | 3                          |
| Киевское шоссе    | 9                     | 59,8                     | 34,8                      | 3                          |
| ул.Звездная       | 10                    | 77,4                     | 33,2                      | 3                          |

Известно, что растения кресс-салата весьма чувствительны как к тяжелым металлам, так и к засолению почвы. В нашей работе показано, что дрожжи реагируют на загрязнения почвы изменением активности брожения. Однако пока не установлено, что больше влияет на активность дрожжей – незначительное содержание тяжелых металлов или наличие хлоридов. Для выяснения этого необходимы дополнительные исследования, чтобы доказать, что дрожжи можно использовать как тест-объект наряду с растениями, особенно для максимально быстрого получения предварительных результатов при биоиндикации антропогенных загрязнений.

### *Литература*

1 Казимагомедов М.К., Исмаилов Э.Ш. Использование дрожжей как тест-объекта для оценки качества воды и жидких сред // Юг России: экология, развитие. – 2010. – №3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-drozhzhey-kak-test-obekta-dlya-otsenki-kachestva-vody-i-zhidkih-sred> (дата обращения: 14.04.2025).

## **ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРУДА В МИКРОРАЙОНЕ АННЕНКИ Г. КАЛУГИ**

*В.А. Кучер, Л.И. Антонова*

*ГАУ КО «Центр «Развитие», г. Калуга, Россия*

Анненский пруд находится на территории Калужского бора, там часто большое количество людей, потому что он находится достаточно близко к жилому комплексу Анненки. Очень много пешеходных тропинок. Люди занимаются спортом, выгуливают собак и просто совершают пешие прогулки, любясь природой. Также неподалеку от этого пруда находится Областная Онкологическая больница, от которой есть тропинка к водоему, по которой ходят пациенты. Так как это излюбленное место жителей микрорайона и очень многолюдное место, то изучение чистоты этого пруда действительно достаточно актуально.

**Новизна:** данное исследование на территории Анненского пруда проводится впервые.

**Цель:** оценить степень загрязнения воды Анненского пруда с использованием водных беспозвоночных организмов как биоиндикаторов, а также органолептических свойств воды.

**Результаты исследований:**

С Анненского пруда 03.01.2025 были взяты пробы воды в пластиковые и стеклянные емкости объемом 0,5 л, а пробы почв - в емкости 250 мл. Измерения температуры и pH воды проводились при помощи многофункционального тестера EZ-9908 в естественных условиях. Через час проводились исследования в камеральных условиях. Было выявлено, что вода бесцветная и рыжая в первой пробе, из-за содержания глины в почве. Слабая мутность наблюдается в 1 и 3 пробах. Запах гниющей органики выражен в пробе, взятой у трубы (S2), в 3 пробе слабый тухлый запах. Это связано с загрязнением хлебом, впоследствии перегнивающим, который человек бросает в воду при кормлении уток. По содержанию химических веществ вода соответствует норме.

Далее проводилась биоиндикация качества воды по зообентосу. В ходе исследования пользовались данными о водных организмах, найденных в пруду в летний период времени (август 2024 г.). Отбор проб проводился по методике [3]. Выявлено, что данный водоем можно отнести к 3 классу качества (бетамезосапробная зона), так как там встречались нимфы поденок, личинки ручейников (2 вида с классом качества воды – чистая), личинки стрекоз, личинки комаров-долгоножек, моллюски-живородки (3 вида с классом качества воды – удовлетворительно чистая) и 3 вида (личинки комаров-звонцов, пиявки, прудовик) с классом качества воды – загрязненная. Далее тестировали влияние воды на рост и развитие тест-объектов (пажитник и кресс-салат), при помощи методик [1,2]. Для определения энергии прорастания и всхожести семян брали по 30 семян в каждой пробе (пажитника и кресс-салата). Опыт проводили в 3-х кратной повторности. Наблюдение снимали на 3 и 7 сут.

Энергию прорастания, характеризующуюся дружностью прорастания семян, находили в процентом отношении пророс-

шего количества семян к общему количеству. Выяснилось, что энергия прорастания пажитника максимальна в образце, взятом с пробного участка №1 (основное место для отдыха) западный берег и место кормления уток и пробного участка 2 рядом с трубой для водоотведения с влажных участков Калужского бора, что можно объяснить большим содержанием органических веществ в этих местах. Наибольший рост имеют проростки пажитника и кресс-салата в пробе №1 (место кормления уток). Вода из Анненского пруда, обогащённая кислородом и органикой, благотворно влияет на энергию прорастания и последующий рост семян.

Выводы: 1. По химическому составу вода соответствует норме. 2. По органолептическим показателям вода выбивается из нормы по запаху (в норме не более 2 баллов), цветность в 1 пробе. 3. По индексу Майера Анненский пруд можно отнести к бета-мезасапробной зоне – умеренно загрязнённая вода. 4. По индикаторным таксонам вода относится к 3 классу качества и является умеренно загрязненной. 5. На энергию прорастания семян вода из Анненского пруда влияет благотворно, благодаря содержанию органических веществ.

### *Литература*

1 Мелехова О.П., Сарапульцевой Е.И., Евсеева Т.И. и др. Биологический контроль окружающей среды: биоиндикация и биотестирование: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений/ 2-е изд., испр. – М.: Издательский центр «Академия», 2008. – 288 с.

2 Фомичева Е.М. Методы экологических исследований. Биотестирование: учебно-методическое пособие. – Ярославль: – Яросл. гос. ун-т им. П. Г. Демидова, 2022. – 44 с. Режим доступа: <http://www.lib.uniyar.ac.ru/edocs/iuni/20220301.pdf>

3 Хатухов А.М. Методы изучения пресноводного зообентоса: методические указания. – Нальчик: Каб.-Балк. ун-т, 2015. – 12 с. Режим доступа : <https://studfile.net/preview/16721418/>

## СКРИНИНГ БОБОВЫХ РАСТЕНИЙ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ НАИБОЛЕЕ ПЕРСПЕКТИВНОГО СИДЕРАТА В УСЛОВИЯХ КАЛУЖСКОЙ ОБЛАСТИ

*М.А. Телеганов*

*ГАУ КО «Центр «Развитие», г. Калуга, Россия*

Азот – строительный материал для любого растения. Он обеспечивает рост его надземной части и полноценное формирование завязи. В последние годы интерес к проблеме микробиологической фиксации атмосферного азота для обеспечения нужд сельского хозяйства значительно возрос в связи с его безвредностью для человека и окружающей среды, и небольшими затратами на активизацию микроорганизмов, осуществляющих азотфиксацию [1].

Целью исследования было изучить активность образования симбиотических клубеньков на корнях разных бобовых растений (нут, маш, чечевица, пажитник, горох, клевер) на разных почвах и выявить наиболее перспективные из них в качестве сидератов.

Активность образования клубеньков на корнях бобовых изучалась в трех почвах: естественный грунт (суглинок) с территории ЦОД «Сокол» (окрестности г. Калуги), готовый грунт Terra Vita и торфогрунт (Аптекарский огород на территории ЦОД «Сокол»). Все растения (по 100 штук) показали минимальную всхожесть (на 10-й день) в суглинке; а максимальную – в готовом грунте.

Результаты измерения длины побегов и корней через 14 сут показали, что чечевица и нут лучше росли в покупном грунте, маш и пажитник – в почве с территории ЦОД «Сокол». Горох развил самые длинные корни в торфогрунте Аптекарского огорода.

Через 30 сут был проведен подсчет клубеньков на корнях изучаемых бобовых растений (табл. 1).

Таблица 1

Количество клубеньков на корнях бобовых растений

| Среднее число клубеньков (шт.) |                             |                          |                               |
|--------------------------------|-----------------------------|--------------------------|-------------------------------|
| Вариант                        | торфогрунт<br>(Апт. огород) | суглинок (ЦОД<br>«Сокол» | готовый грунт<br>(Terra Vita) |
| нут                            | 0                           | 0                        | 1                             |
| маш                            | 3                           | 4                        | 4                             |
| чечевица                       | 3                           | 1                        | 4                             |
| пажитник                       | 3                           | 2                        | 1                             |
| горох                          | >20                         | 13                       | 4                             |
| клевер                         | 0                           | 0                        | 1                             |

Затем для изучения сидератных качеств этих растений использовали только покупной грунт и в качестве тестового растения использовали пшеницу.

Через месяц после посадки бобовых культур, мы убедились, что клубеньки образовались и приобрели буроватый оттенок (что говорит о том, что они начали фиксировать атмосферный азот). Затем, срезав вегетативную массу, в почву с корнями и клубеньками посеяли пшеницу (по 100 семян в каждой повторности). В качестве контрольного варианта использовался покупной грунт без предшествующей культуры.

Через 2 недели были проведены замеры длины корня, длины побега, корневой и надземной массы. В результате выявлены наилучшие показатели по трём параметрам в варианте с горохом в качестве сидерата (табл. 2).

Таблица 2

Параметры проростков пшеницы на разных сидератах

| Сидерат  | Длина побега, см | Длина корня, см | Надземная масса, г | Подземная масса, г |
|----------|------------------|-----------------|--------------------|--------------------|
| пажитник | 28±0,3           | 10±0,3          | 8,26               | 43,73              |
| горох    | 28±0,3           | 12±0,4          | 12,29              | 54,95              |
| чечевица | 25±0,4           | 10±0,4          | 5,28               | 23,58              |
| нут      | 23±0,3           | 12±0,2          | 10,13              | 25,9               |
| маш      | 26±0,2           | 14±0,3          | 11,86              | 50,9               |
| клевер   | 27±0,15          | 10±0,2          | 8,64               | 33,13              |
| контроль | 23±0,3           | 8±0,3           | 2,67               | 40,27              |

**Выводы:** 1. Всхожесть, длина побегов и корней были максимальны у всех тестируемых бобовых в покупном грунте, вероятно, из-за высокого содержания гумусовых кислот, и минимальны в грунте с территории ЦОД «Сокол». 2. Наибольшая скорость образования клубеньков отмечена у чечевицы и гороха во всех трёх исследованных образцах почвы. 3. Исходя из количества клубеньков на корнях растений, корневой и надземной массы пшеницы, выращенной в почве с корнями этих растений, наиболее перспективными сидератами являются горох и маш, но из-за того, что маш – более теплолюбивая культура, в средней полосе России более эффективным будет горох.

### *Литература*

1 Евтефеев Ю.В., Казанцев Г.М. Е27 Основы агрономии: учебное пособие – М.: ФОРУМ, 2013. – 368 с.

## **ВЛИЯНИЕ БИОГУМУСА НА РОСТ И РАЗВИТИЕ РАСТЕНИЙ**

*С.С.Титова, С.А. Серова*  
*МБОУ «Лицей «ДЕРЖАВА», г. Обнинск, Россия*

Одной из серьезных в настоящее время биоэкологических проблем является проблема дегумификации – уменьшения содержания гумуса в почве [1]. Использование биогумуса, содержащего все необходимые растениям элементы, позволяет решить данную проблему.

Особенно это актуально для дачных и пришкольных участков, где не используются севообороты, поддерживающие плодородие почвы. Химический состав биогумуса значительно варьирует, что связано с широким набором органического сырья, из которого он получен, а также суточной температурой, влажностью и другими параметрами вермикультивирования [2].

Цель исследования: изучить влияние биогумуса на рост и развитие растений.

Ежегодно в лицее «Держава» проводится подготовка черенков комнатных растений для посадки на пришкольном участке.

Результаты исследования влияния биогумуса на образование корней у черенков комнатных растений показаны в табл. 1.

Таблица 1  
Влияние биогумуса на образование корней у комнатных растений

|          | <i>Begonia<br/>semperflorens</i> | <i>Setcreasia<br/>purpurea</i> | <i>Coleus<br/>hibridus</i> | <i>Pelargonium<br/>zonale</i> |
|----------|----------------------------------|--------------------------------|----------------------------|-------------------------------|
| Контроль | 12 дней                          | 10                             | 8                          | 20                            |
| Опыт     | 7 дней                           | 8                              | 5                          | 14                            |

Из табл. 1 видно, что корни в опытных образцах появлялись на 2–6 дней раньше, в зависимости от вида растения. Проведенное исследование показало, что использование биогумуса увеличивает количество цветков и продолжительность цветения у гибискуса (*Hibiscus rosa – sinensis*), который используется для озеленения коридоров лица, в 1,67 – 3,3 раза.

Наблюдение за выращиванием картофеля сорта «Гала» показало, что внесение биогумуса ускоряет рост, развитие и образование клубней у картофеля (табл. 2).

Таблица 2  
Влияние биогумуса на рост и развитие картофеля (*Solanum tuberosum*)

| Фазы развития картофеля | Контроль (почва без биогумуса), сутки | Опыт (биогумус), сутки |
|-------------------------|---------------------------------------|------------------------|
| Появление всходов       | 27                                    | 20                     |
| Цветение растений       | 72                                    | 65                     |
| Образование клубней     | 2–3                                   | 4 – 5                  |

Таким образом, в ходе исследования было доказано, что для быстрого получения посадочного материала из черенков комнатных растений можно использовать биогумус. При выращивании картофеля, применяя биогумус, можно ускорить рост и развитие картофеля, а также увеличить количество клубней под кустом и их вес.

Биогумус – одно из современных органических удобрений, который содержит все необходимые вещества и химические элементы для роста и развития растений.

### *Литература*

1. Кашеев А.Г., Кашеева О.В., Елисеев М.А. Биотехнология вермикультивирования органических отходов // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2014. – №95. – С. 594-603.

2. Игонин А.М. Биогумус на садовом участке // Биология - 2000. – №29. – С. 10-12.

## **ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ТРОПА «ОБНИНСК – ГОРОД ДЛЯ НАУКИ И ОТДЫХА»**

*М.А. Трошкина*

*МБОУ «СОШ №16» г. Обнинск, Россия*

Организация экологической тропы – одна из форм воспитания экологического мышления и мировоззрения. Экотропа – это специально оборудованный маршрут, проходящий через различные природные объекты.

Обнинск – наукоград. История земли, на которой вырос город, история жизни и деятельности их владельцев, события Великой Отечественной войны и создание секретного Объекта – Лаборатории «В». Вся история Обнинска – это история города мирного атома. Именами учёных сегодня названы улицы города. В идею строительства города было также заложено сохранение природных ландшафтов, естественных экосистем, а не только парков.

В нашей тропе мы хотели соединить исторические факты Обнинска и показать природу нашего края.

Наша экологическая тропа предназначена для проведения образовательных и просветительских мероприятий экологической направленности. Основная целевая аудитория – преподаватели и учащиеся различных образовательных учреждений, со-

трудники и воспитанники центров дополнительного образования.

Цель: Создать маршрут экологической тропы, которой мог бы заинтересовать жителей и гостей города целевой аудитории.

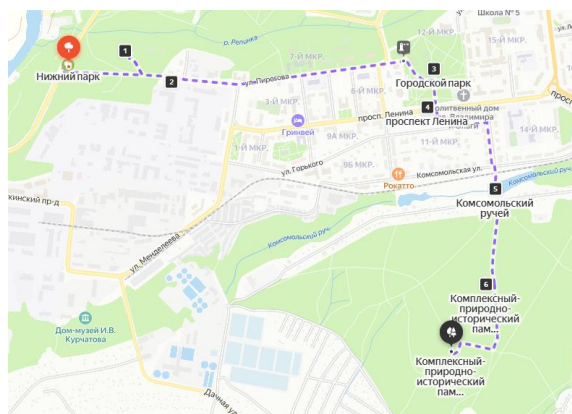
Задачи:

1. Изучить информацию по построению экологических троп;
2. Выбрать самые интересные экологические объекты города

Обнинска;

3. Собрать интересную и полезную информацию о каждом объекте;

4. Составление маршрута с указанием объектов.



\*Протяжённость маршрута 5 км;  
Время прохождения 3 часа (с остановками).

Рис. 1. Схема маршрута

Начало и конец маршрута имеют разную геолокацию, вид маршрута – линейный.

Целями составления экотропы служит подробное ознакомление с биоценозами, представителями флоры и фауны, а также возможность оценить экологическую ситуацию и антропогенное влияние на природу, и воспитать культуру поведения людей в природе.

При осуществлении маршрута будут проведены экологические беседы с целью научить свою аудиторию замечать, анали-

зировать и оценивать результаты воздействия человека на окружающую среду.

Остановка №1 (начало маршрута) "Нижний парк".

Остановка №2 "Дача Морозовой".

Остановка №3 "Дом Лейпунского".

Остановка №4 "Старый парк"

Остановка № 5 "Сосна Лира".

Остановка № 6 "Комсомольские пруды".

Остановка № 7 "Кончаловский лес".

Остановка № 8 "Усадьба Кончаловского (дача Бугры)".

### *Литература*

1. Памятники природы Калужской области. Кадастровые сведения об особо охраняемых природных территориях регионального значения. Том 1. Министерство природных ресурсов и экологии Калужской области.

2. Обнинск. История города и края с древнейших времен до наших дней / Под ред. Т.М. Лариной]. – Обнинск: Ресурс, 2004. – 322 с.

3. Собачкин А.И. Обнинск. Улицы. – Обнинск: Артифекс, 2021. – 325 с.

4. Рамодина Е.Г. Прогулки по Обнинску / ред совет: А.А. Кашеева [и др.]; Музей истории города Обнинска. – Калининград: Аксиос, 2019. – 448 с.

5. Черных Н.С. Обнинск: Книга очерков о городе науки. - Тула: Приок. кн. изд-во, 1971. – 184 с.

## ИЗУЧЕНИЕ КАЧЕСТВЕННОГО СОСТАВА ПЕРИФИТОННОГО СООБЩЕСТВА В МОДЕЛЬНОЙ ЭКОСИСТЕМЕ ВОДОЁМОВ-ОХЛАДИТЕЛЕЙ АЭС

А.О. Чур<sup>1</sup>, М.М. Рассказова<sup>1,2</sup>, С.Ю. Суворова<sup>2</sup>, И.А. Андрианова<sup>2</sup>

<sup>1</sup> – МБОУ СОШ №17, г. Обнинск, Россия

<sup>2</sup> – Обнинский институт атомной энергетики – филиал  
Национального исследовательского ядерного  
университета «МИФИ», г. Обнинск, Россия

При интенсивном развитии видов-обрастателей в водоёмах-охладителях (ВО) АЭС возникают комплексные нарушения эксплуатации систем технического водоснабжения (СТВ), активизируется коррозия, уменьшается рабочее сечение трубопроводов и теплообменников, что приводит к тепло- и энергопотерям [1,2]. Ухудшение условий теплопередачи и уменьшение расходов охлаждающей воды приводят к снижению эффекта охлаждения, нарушению технологических режимов работы теплообменных аппаратов и, в конечном итоге, к значительным производственным и экономическим потерям.

Целью работы было изучение качественного состава перифитонного сообщества, формирующегося на субстратах в модельной установке водоёмов-охладителей Калининской АЭС

Работа выполнялась на базе Центра компетенций по радиоэкологии, радиационной безопасности и биомониторингу ИАТЭ НИЯУ МИФИ, где была создана установка для изучения времени появления и видового состава перифитонного сообщества. Установка включает в себя систему из двух аквариумов, имитирующих водоем-охладитель и систему трубок конденсатора АЭС. В первый аквариум объемом 15 л были заложены камни, являющиеся субстратом для прикрепления моллюсков, а также особи дрейссены речной *Dreissena polymorpha*. Для воссоздания природных условий аквариум-модель ВО был наполнен водой из озера Песьво и заселен аквариумными растениями. Во втором аквариуме размещался штатив, куда было установлено 12 трубок диаметром 8 мм и толщиной стенок 1,5 мм для фиксации формирующейся биоплёнки.

Проведенное исследование показало, что первыми в трубках конденсатора появляются зеленые водоросли порядка Trebouxiiales и Chlorococcales, которые создают среду для последующего заселения других зеленых, эвгленовых, криптофитовых и диатомовых видов.

Показано, что изучаемые биоплёнки, образовавшиеся в модельном водоёме, наполненном водой из водоёма-охладителя Калининской АЭС, состоят в основном из цианобактерий: *Melosira varians*, *Oocystis lacustris*, *Oedogonium species* и диатомовых водорослей: *Diatoma vulgare*, *Cocconeis placentula*.

В ходе предыдущих исследований выявлена зависимость между показателем сапробности воды и темпами формирования бактериально-водорослевой пленки, которая в дальнейшем является основой для прикрепления велигеров *Dreissena polymorpha* [2]. В модельной установке ВО Калининской АЭС индекс сапробности равен 1,82 (умеренно загрязнена), что создает благоприятные условия для формирования биопленок на трубках конденсатора систем технического водоснабжения АЭС.

Коэффициент сходства видов перифитонных сообществ, заселяющих модели ВО и конденсатора АЭС, за 14 дней наблюдений увеличился в 1,74 раза, что свидетельствует о высоких темпах появления биопленки из видов, составляющих фитопланктон в водах ВО КЛНАЭС.

### *Литература*

1. Горская О.И. Биолого-химический мониторинг Ростовской АЭС как эффективный инструмент предупреждения биологических помех в системах циркуляционного и технического водоснабжения // Глобальная ядерная безопасность. – 2022. – № 4. – С. 6-14.

2. Суворова С.Ю., Рассказова М.М., Комарова Л.Н. и др. Результаты биомониторинга водоемов-охладителей Калининской атомной электростанции. // Известия вузов. Ядерная энергетика. – 2024. – № 4. – С. 104 – 116. DOI: <https://doi.org/10.26583/ire.2024.4.09>

## ВЫДЕЛЕНИЕ СЕРЕБРА ИЗ ЧАСОВЫХ БАТАРЕЕК И КИНОПЛЕНКИ В ПРОЦЕССЕ ИХ ПЕРЕРАБОТКИ

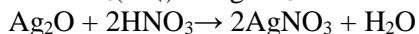
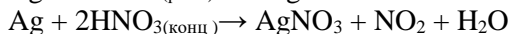
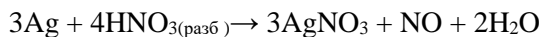
*Т.В. Якушин, А.В. Королев  
МБОУ «СОШ №18», г. Калуга, Россия*

В настоящее время проблема переработки и повторного использования драгоценных металлов, таких как платина, золото и серебро, становится все актуальнее, так как эти металлы активно используются в часовых батарейках, радиоэлектронике, киноплёнке, катализаторах машин [1].

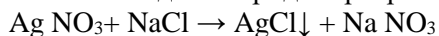
Актуальность работы состоит в том, чтобы разработать и апробировать технологию выделения серебра из старых часовых батареек и киноплёнки.

Цель исследования: выделить наиболее эффективный способ получения серебра из батареек и киноплёнки.

В качестве сырья для получения серебра использовали 30 батареек Robiton, которые разделили на 3 части по 10 штук в партии. Каждая батарейка весила 2 г, каждая партия 20 г. 3 партии батареек по 10 штук поместили в 3 стаканчика. Первый и второй стаканчик залили 50 г 30% раствора азотной кислоты, 3-ий стаканчик залили 50 г концентрированной азотной кислоты. Химизм процессов:



Профильтровали полученный раствор, промыли склянки и фильтр дистиллированной водой. В первую партию раствора добавили 50 г 50% раствора хлорида натрия. В результате выпадает белый творожистый осадок хлорида серебра. Химизм:



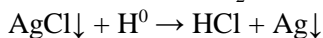
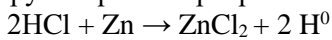
Во вторую партию опускали медные стержни. Оставили их в растворе до следующего дня. При этом наблюдается образование аморфного серебра на стержнях, которое со временем сползает на дно.



В третью партию приливали 50 г 20% раствора соляной кислоты. Осадка не выпадает.

В первой и во второй партии сливали раствор над осадком и фильтровали через фильтровальную бумагу.

Хлорид серебра, полученный в первой партии, промывали дистиллированной водой. Добавили 10 г гранул цинка, залили 50 г 10% раствором соляной кислоты. Поставили на электрическую плитку и нагрели. На дне образуется аморфное серебро. Через некоторое время раствор профильтровали, просушили и отделили от аморфного серебра не растворившийся цинк. Просушили первую и вторую партию серебра. Химизм:



Первую и вторую партию высушенного серебра расплавили в огнеупорном тигле. Подождали, пока металлы остынут. Взвесили.

В первой партии масса извлеченного серебра составила 1,5 г (7,5%), во второй 0,9 г (4,5%), в третьей 0 г.

Во второй части работы взяли 2 партии киноплёнки массой 270 г., с которой при помощи растворов гипохлорита натрия и азотной кислоты смыли серебро и его соединения. В первой партии раствор профильтровали и прокалили в тигле. Во втором случае раствор профильтровали, затем соединения серебра осадил раствором хлорида натрия, после чего серебро восстановили из осадка при помощи цинка и соляной кислоты аналогично с часовыми батарейками. В результате в первой партии серебро не получили, во второй партии из 270 г киноплёнки получили 1,8 г серебра.

Таким образом, переработка часовых батареек и киноплёнки является вполне рациональной и перспективной, может уменьшить антропогенную нагрузку на окружающую среду и степень ее загрязнения.

## *Литература*

1.Строение светочувствительных фотографических материалов, использующихся в фотографической практике [Электронный ресурс]. — Режим доступа: [https://vk.com/wall-161677506\\_88](https://vk.com/wall-161677506_88) (дата обращения 10.04.2025).

## СОДЕРЖАНИЕ

|   |    |
|---|----|
| <b>Программный комитет VIII Международной (XXI Региональной) научной конференции «Техногенные системы и экологический риск»</b>   | 3  |
| <b>Секция 1. Ядерная и тепловая энергетика</b>  | 6  |
| Ndlela D., Samokhin D.S. Application of genetic algorithm for estimating Weibull parameters for incidents at a nuclear power plant  | 6  |
| Veretennikov D.G. Modeling of a polyethylene prism device for calibration of neutron detectors  | 8  |
| Бессонов И.А., Лезов А.Д., Ревякина П.А., Завадский Д.И., Клебанский Е.Р., Осанкин С.А, Ташлыков О.Л. Анализ методов оптимизации переходных процессов натриевого оборудования | 10 |
| Буркеев М.З., Внуков Р.А. Верификация AP-1000 в программном комплексе SERPENT   | 12 |
| Бычков С.И., Шкарупа М.И. Методика диагностирования течи в трубопроводах тепловых сетей   | 13 |
| Воронцова А.А., Колесов В.В., Внуков Р.А. Исследование влияния различных отражателей на нейтронно-физические характеристики СВБР-100  | 15 |
| Герасин С.А., Воронцова А.А. Особенности распределения скоростей теплоносителя в реакторах типа ВВЭР со спектральным регулированием   | 17 |
| Гердт Э.А., Внуков Р.А. Проведение связанного расчета профилированной ячейки ТВЭГ реактора ВВЭР-1200  | 19 |
| Губайдуллин И.М., Исанов К.А., Закиров Н.А. Исследование аксиальной составляющей натриевого пустотного эффекта реактивности реактора типа БН                                  | 21 |
| Данилюк Ю.С., Кузнецов А.С., Терехова А.М., Колесов В.В. Выжигание минорных актинидов в быстром натриевом реакторе с использованием замедлителя                               | 23 |

|  |    |
|--|----|
| Добров А.А., Дмитриев С.М. Экспериментальное моделирование процесса неизотермического перемешивания теплоносителя в нижнем собирающем коллекторе ВТГР  | 25 |
| Евтушенко Е.А., Кащеев М.В., Левченко В.А., Шовиков А.В. Имитационное моделирование для описания процессов переноса и накопления Ag-110m на АЭС  | 27 |
| Ефремов Д.О., Ластин Р.А., Мацин Н.В., Соборнов А.Е., Рязанов Р.Р., Котин А.В. Оптимизация конструкции магнитогидродинамического фильтра для систем ЯЭУ на основе численного моделирования                             | 29 |
| Закиров Н.А. Исследование возможности многократного го-могенного выжигания в реакторе типа БН  | 31 |
| Иванова К.Е., Мацин Н.В., Рязанов Р.Р., Соборнов А.Е., Семенов А.Н., Сторожун К.А., Быстров Н.С. Численное моделирование фазовых переходов в установках с высоким удельным энерговыделением                            | 32 |
| Ивановская И.С., Постика Г.В., Исанов К.А. Определение удельных объемов боросиликатной матрицы для остекловывания РАО различной выдержки   | 34 |
| Кузнецов А.С., Данилюк Ю.С., Терехова А.М., Колесов В.В. Нарботка плутония в быстром натриевом реакторе при влиянии вкладок и замедлителя  | 36 |
| Ластин Р.А., Рязанов Р.Р., Соборнов А.Е., Котин А.В., Мацин Н.В. Расчетное исследование температурного состояния фрагмента коллекторного узла теплообменника ЯЭУ при смешанной конвекции с использованием кода «Логос» | 37 |
| Морозов А.Г., Лапин А.С. Исследование возможности использования ванадия в качестве оболочек ТВЭЛов в легководных реакторах со сверхкритическими параметрами теплоносителя  | 39 |
| Нахабов А.В., Хапров В.Н. Исследование эксплуатационных характеристик системы контроля течи трубопроводов АЭС  | 41 |
| Орлова Е.А., Самохин Д.С., Орлов А.В. Оптимизация состава жидкометаллического теплоносителя с целью повышения безопасности и экономичности эксплуатации ТВЭЛов   | 43 |

|   |    |
|---|----|
| Осанкин С.А., Клебанский Е.Р., Бессонов И.А., Лезов А.Д., Ревякина П.А., Ташлыков О.Л. Моделирование крупногабаритного натриевого оборудования  | 45 |
| Постика Г.В., Ивановская И.С., Исанов К.А. Влияние фракционирования продуктов деления и минорных актинидов на объемы боросиликатной матрицы для остекловывания РАО  | 47 |
| Рязапов Р.Р., Соборнов А.Е., Мацин Н.В., Ялымова О.Д., Котин А.В., Сторожун К.А., Теселкина А.М. Расчетное моделирование процесса неизотермического смешения потоков однофазного теплоносителя в тройниковом узле с применением CFD-кодов | 48 |
| Сентебов Н.О. Оценка возможности снижения пустотного эффекта реактивности твердотельными замедлителями в реакторе с легководным теплоносителем со сверхкритическими параметрами   | 50 |
| Трухачев А.А., Терехова А.М. Оценка времени до появления первой незатухающей цепочки делений в надкритическом реакторе со слабым посторонним источником нейтронов и постоянным коэффициентом размножения                                  | 52 |
| Фирсов Е.И., Внуков Р.А. Исследование влияния водотопливного отношения на спектр нейтронов в ториевой и урановой матрице  | 54 |
| Цыкало Я.В. Повышение производительности системы оборудования обратного осмоса АЭС  | 56 |
| Чипчикова В.Д., Исанов К.А., Закиров Н.А. Исследование влияния изотопного состава плутония на эффективность выжигания минорных актинидов при многократном рецикле в быстром реакторе  | 58 |
| Ширкова Д.Е., Терехова А.М. Сравнение методик утилизации минорных актинидов в энергетическом ядерном реакторе   | 60 |
| Шкарупа М.И., Ивлев И.М. Расчет остаточного срока службы оборудования   | 61 |
| Шомахмадов И.Б., Асхадуллин Н.Р. Реактор с теплоносителем из висмута  | 63 |

|  |    |
|--|----|
| Юферов А.Г. Экспликация понятия «Мгновенная критичность»   | 65 |
| Яковлева В.В., Зарапина Э.М. Расчётное исследование эффективности стержней СУЗ реактора БН-600 при продлении ресурса   | 67 |
| <b>Секция 2. Интеллектуальные цифровые технологии</b>  | 69 |
| Березин А.А., Гуцул М.В, Истомина А.Д., Носков М.Д., Чеголков А.А. Разработка системы оперативного информационного обеспечения полевого персонала добычного полигона СПВ урана   | 69 |
| Болотникова А.А., Шлапак Н.П. Решение уравнения диффузии нейтронов в гомогенном цилиндрическом реакторе с боковым отражателем с применением физически-информированной нейросети  | 71 |
| Замков Д.В., Шлапак Н.П., Можаяева М.Е., Ли В.В. Использование нейросетей типа трансформер в задаче оптического распознавания математического текста                             | 72 |
| Иову Д.А. Применение интерференции частотных компонентов для стеганографии в изображениях  | 75 |
| Левченко П.П., Белоусов П.А. Неразрушающий контроль печатных плат: сравнительный анализ методов  | 76 |
| Ли В.В., Можаяева М.Е., Замков Д.В., Болотникова А.А., Шлапак Н.П. Использование нейросетей типа трансформер в задаче оптического распознавания кириллицы                        | 78 |
| Лихоманов А.А., Белоусов П.А., Диденко В.И., Марухина О.В, Аксенов С.В. Использование данных дистанционного зондирования земли для контроля и мониторинга состояния площадки АЭС | 80 |
| Можаяева М.Е., Ли В.В., Замков Д.В. Оптическое распознавание нот с помощью нейросетей типа трансформер   | 82 |

|   |     |
|---|-----|
| Молчанова М.В., Шлапак Н.П., Белоусов П.А. Определение состава фитомассы лесной зоны по спутниковым снимкам   | 85  |
| Нарусова Е.Ю., Стручалин В.Г. Автоматизированные системы мониторинга оборудования опасных производственных объектов   | 87  |
| Степанов А.А., Шлапак Н.П. Использование фильтра Калмана для определения движения ОР СУЗ по показаниям ДПЗ в реакторе ВВЭР-1000                                       | 90  |
| Туков А.Р., Зиятдинов М.Н., Михайленко А.М., Арчегова М.Г. Цифровые двойники в учёте и анализе профессиональных заболеваний в учреждениях здравоохранения ФМБА России | 92  |
| Шлапак Н.П., Колесов В.В. Сравнение архитектур «Mamba» и «Transformer» в задаче моделирования выгорания ядерного топлива  | 94  |
| <b>Секция 3. Техногенный и экологический риски</b>  | 97  |
| <b>Радиационная безопасность</b>  |     |
| Brian Henry Ayala Cabrera Analysis of radon radiation as an environmental public health risk in La Paz, Bolivia: distribution and mitigation strategies               | 97  |
| Opara O.G. Exploring farmers' perspectives on environmental risk in crude oil-impacted areas of Nigeria   | 98  |
| Sadhukhan R.K., Jahangir Alam M., Synzynys B.I. $\alpha$ and $\beta$ -decay of $^{222}\text{Rn}$ decay series radionuclides: recoil energy contribution               | 101 |
| Алексеев Дм.М., Лашенова Т.Н., Алексеев Дан.М. Измерение малых доз ионизирующего излучения на загрязнённых территориях  | 103 |
| Баранов В.С. Оценка эффективности костюма Эп-4(0) вблизи контактной сети переменного тока железной дороги   | 105 |
| Бондарева Л.Г. Анализ зависимости доза-эффект при хроническом радиационном поражении тритием  | 106 |

|  |     |
|--|-----|
| Бурякова А.А. Оценка интегрального показателя загрязнения атмосферного воздуха радионуклидами СЗЗ ФГУП «ГХК» в 2000-2024 гг.   | 108 |
| Веялкин И.В., Никонович С.Н. Система поддержки принятия решений при установлении связи заболевания с воздействием радиационного фактора в результате катастрофы на ЧАЭС  | 110 |
| Годяева М.М., Парамонова Т.А. Оценка стрессовых реакций растений салата при культивации на разных субстратах в присутствии биодоступных соединений кадмия  | 112 |
| Долгушин Д.И., Баранчуков В.С., Березки В.Ю., Тарасов О.В., Романов С.Л. Закономерности перераспределения радионуклидов ( $^{137}\text{Cs}$ , $^{90}\text{Sr}$ ) в почвенном покрове Восточно-Уральского заповедника | 114 |
| Заволокина Н.Г. Вероятностный риск для работающих при совместном использовании пестицидов различных классов  | 116 |
| Зубачева А.А., Баратова З.А., Тарасенко А.О., Каткова М.Н. Мониторинг содержания радиоуглерода в компонентах природной среды в районах размещения Смоленской и Нововоронежской АЭС                                   | 118 |
| Иваницкий О.М., Линник В.Г. Организация ландшафтно-радиоэкологической ГИС для мониторинга цезия-137 в Почепском районе Брянской области  | 120 |
| Карл Л.Э., Лашенова Т.Н., Новиков С.В. Оценка состояния радиационной безопасности селитебных территорий вблизи объектов прошлой добычи урановых руд  | 122 |
| Качусов Д.А., Кузнецова К.А., Бураева Е.А. Радиоактивность микофлоры Республики Адыгея   | 124 |
| Киселёв С.М., Шлыгин В.В., Зозуль Ю.Н., Гимадова Т.И. Эколого-гигиеническая обстановка на территории малых городов Севморпути  | 126 |
| Костерев В.В., Цовьянов А.Г., Сивенков А.Г. Дозы облучения в Российской Федерации в 2022 году  | 128 |
| Липатов Д.Н., Белов А.Е. Исследование слизней как референтных организмов в загрязненных цезием-137 урбоэкостемах города Электросталь   | 130 |

|  |     |
|--|-----|
| Любимова М.С. Вопросы управления риском здоровья трудоспособного населения моногорода с канцерогеноопасным предприятием  | 133 |
| Мамихин С.В., Ваньцяо Цю Реализация эквидозиметрического подхода при оценке последствий комбинированного радиоактивного и химического загрязнения почвы и биоты  | 135 |
| Маркова М.В., Шаврина К.Е., Эдомская М.А., Шупик А.А., Дорохов С.А. Изменение легкодоступных форм нахождения урана и тория в почве во время выращивания гороха   | 137 |
| Микляев П.С., Петрова Т.Б., Киселев С.М., Шлыгин В.В., Губанова Ю.К., Карл Л.Э., Кайгородов Е.И. Исследование потенциальной радоноопасности селитебных территорий в районе Далматовского месторождения АО «Далур» Курганской области | 139 |
| Микляев П.С., Петрова Т.Б., Киселев С.М., Шлыгин В.В., Губанова Ю.К., Карл Л.Э., Кайгородов Е.И. Распределение урана в водной среде в районе уранодобывающего предприятия АО «Далур»   | 141 |
| Мирзоев Э.Б. Сравнительный анализ санитарно-гигиенических нормативов Российской Федерации и Европейского союза по содержанию свинца в питьевой воде и продукции сельского хозяйства  | 143 |
| Михалев Р.Ю., Кикенина И.К., Грачев Е.К. Рециклирование магнитных сплавов системы $R_2Fe_{14}B$ : основные экологические аспекты, цели и методы  | 145 |
| Михеева Е.Н. Оценка риска для здоровья пользователей при применении пестицидов на основе метрибузина в личных подсобных хозяйствах   | 146 |
| Наликена М., Гончарова И.Н., Сынзыныс Б.И. Суммарная объемная альфа- и бета-радиоактивность воды г. Обнинска: сезонные изменения эффективной дозы и риски для здоровья   | 148 |
| Нефедочкина Ю.В., Поповкина О.Е., Каткова М.Н., Игнатенко Г.К. Особенности течения сердечно-сосудистых заболеваний на радиационно-загрязненных территориях Калужской области   | 150 |

|  |     |
|--|-----|
| Нефедочкина Ю.В., Поповкина О.Е., Игнатенко Г.К. Ретро-спективный анализ заболеваемости болезнями системы кровообращения и органов дыхания в Перемышльском районе Калужской области                                  | 153 |
| Панов А.В., Коржавин А.В., Коржавина Т.Н. Радиоэкологический мониторинг водоема-охладителя Белоярской АЭС  | 155 |
| Полянская О.Н., Каткова М.Н. Оценка уровней объемной активности йода-131 в приземной атмосфере Обнинска  | 157 |
| Семенова А.Ф., Ташлыков О.Л. Роль базы данных индивидуального дозиметрического контроля в оптимизации радиационной защиты  | 159 |
| Увазе И., Шошина Р.Р., Черкасова Е.Е. Инструментальная оценка радиационной обстановки на территории расположения хранилища радиоактивных отходов после вывода из эксплуатации  | 161 |
| Хамрокулов Н.Н., Мельникова Т.В., Удалова А.А., Киселева Л.А. Определение коэффициентов накопления радионуклидов и тяжёлых металлов в системе «почва-растительность» в зоне влияния НИФХИ им. Л.Я. Карпова (2023 г.) | 163 |
| Шаврина К.Е., Эдомская М.А., Шупик А.А., Лукашенко С.Н., Маркова М.В., Никулина А.В. Трансформация форм нахождения плутония при выращивании гороха   | 165 |
| Шибецкая Ю.Г., Разина В.А., Турянский В.А., Бежин, И.Г. Тананаев Н.А. Волокнистые сорбенты для совместного извлечения $^{137}\text{Cs}$ и естественных радионуклидов из природных вод                                | 167 |
| Шкрабо М.С., Соловьев А.Н. Программно-алгоритмическое обеспечение для трёхмерной дозиметрии протонных полей  | 169 |
| Шлыгин В.В., Киселёв С.М., Зозуль Ю.Н., Ахромеев С.В. Разработка подхода к оценке воздействия на окружающую среду на объектах ядерного наследия  | 171 |
| Шупик А.А., Эдомская М.А., Шаврина К.Е., Лукашенко С.Н., Сынзыныс Б.И. Нерешённые вопросы радиотоксичности плутония и некоторые пути их решения  | 173 |

|   |     |
|---|-----|
| Щербакова Е.И. Экологическая и радиационная безопасность атомных электростанций с реакторами типа ВВЭР  | 175 |
| Яхрюшин В.Н., Полянская О.Н., Епифанов А.О., Андреев Ф.А. Результат опытной эксплуатации УВФ-2 с блоком спектрометра над фильтром   | 177 |
| <b>Секция 4. Биотестирование и биоиндикация объектов окружающей среды</b>   | 179 |
| Андрейчук С.Д., Пятов В.С., Тигай В.С., Точиленко А.В., Чумаков А.А., Шерова А.Д. Результаты мониторинга и оценка экологического состояния водоемов-охладителей Калининской АЭС | 179 |
| Андрианова И.М., Рассказова М.М., Кияева В.Р., Корнюшко В.С., Давыдова К.Н. Изучение динамики формирования перифитонного сообщества в рамках модельного эксперимента            | 181 |
| Батраченко Е.А. Влияние динамики гидроклиматических условий на объекты биоиндикационных исследований  | 183 |
| Бондарева А.И., Коваленко Н.Д. Дым от выхлопных газов как угроза почвенной среде  | 185 |
| Васильев Д.В., Гераськин С.А. Влияние хронического радиационного воздействия на семенное потомство сосны  | 187 |
| Коваленко Н.Д., Бондарева А.И. Влияние выхлопных газов автотранспорта на растения   | 189 |
| Левенкова Е.С. О возможных отдаленных генетических последствиях радиационного загрязнения среды на примере плевки-экономки  | 191 |
| Минникова Т.В. Сравнение активности кислой и щелочной фосфатазы нефтезагрязненного чернозема после ремедиации   | 193 |
| Мусихина Т.А. Изучение воздействия золошлаковых отходов на биологические тест-объекты   | 195 |
| Нижельский М.С. Последствия воздействия выбросов отработанного топлива от автотранспорта на качество почвы  | 197 |

|  |     |
|--|-----|
| Папоян Г.К., Юсупов В.И., Гершкович Д.М., Терехова В.А. Влияние низкоинтенсивного электромагнитного поля на чувствительность рачков <i>Daphnia magna</i> Straus к солям некоторых тяжелых металлов в остром эксперименте | 200 |
| Рыбак А.В., Белых Е.С., Майстренко Т.А., Расова Е.Е., Вележанинов И.О., Тавлеева М.М. Особенности сообществ бактерий и грибов почв с повышенным содержанием естественных радионуклидов                                   | 202 |
| Тарасова Е.Д., Мартиросян А.Р., Плесняков М.М., Ускалова Д.В., Гершкович Д.М., Рак А.Н., Сарапульцева Е.И. Эффект радиосенсибилизации при накоплении наночастиц золота в организме <i>D. magna</i>                       | 204 |
| Хох А.Н., Степанюк М.А. Особенности накопления тяжелых металлов в системе «почва-хвоя» в условиях антропогенной нагрузки   | 206 |
| Шарипова А.А., Ширшова И.М., Минакова Е.А. Биоиндикационная оценка состояния рекреационных зон города Казань   | 208 |
| Шуберт В.В., Лаврентьева Г. В. К вопросу о применении методов биоиндикации при оценке состояния окружающей среды г. Калуга   | 209 |
| <b>Секция 5. Экологическая и фармацевтическая химия</b>  | 212 |
| Агаева З.Р., Кязимова Э.М., Джабаров Э.Э., Байрамова С.С., Ахмедова Г.В. Изучение сорбции радионуклидов на природных алумосиликатах  | 212 |
| Александров М.А., Стрелова О.Ю. Разработка частной методики определения гербицида дикамба  | 214 |
| Артемова О.В., Тарасова Л.С. Условия применения фунгицида на основе гимексазола при протравливании семян сахарной свеклы   | 216 |
| Белицкая В.В. Контроль инсектицида класса неоникотиноидов в лесных ягодах, орехах и грибах   | 218 |
| Бондарева Л.Г., Добрева Н.И. Разработка методических подходов в определении остаточных количеств пестицидов различных классов в сельскохозяйственной продукции   | 220 |

|  |     |
|--|-----|
| Бондарева Л.Г., Федорова Н.Е. Мониторинг содержания прогексадиона кальция в яблоках для оценки потенциального риска здоровью населения                                     | 222 |
| Гаджиева С.Р., Мустафаев И.И., Алиева Т.И. Определение тяжелых металлов в пробах воды, взятых с озера Дузлугель  | 224 |
| Гаджиева С.Р., Мустафаев И.И., Алиева Т.И. Экологическое оценивание озера Ясамал   | 226 |
| Гильманов В.М., Кирьянова И.Э., Бакунович А.В. Молекулярный докинг дануглипрона с GLP - 1 рецептором   | 229 |
| Гречина М.С. Метод определения остаточных количеств ацибензолар-С-метила в воде и почве: важность контроля метаболита  | 231 |
| Гречина М.С. Технологии применения пестицидов на цитрусовых культурах и оценка стабильности аналитов в процессе хранения   | 233 |
| Дегтяренко Б.В., Маринин А.С., Стрелова О.Ю., Гребенюк А.Н. Разработка рабочих стандартных образцов галоперидола и рисперидона для целей химико-токсикологического анализа | 235 |
| Добрева Н.И., Федорова Н.Е. Матричные эффекты и достоверность результатов при исследовании остаточных количеств пестицидов в различных группах пищевой продукции           | 238 |
| Егорченкова О.Е. Контроль остаточных количеств зета-циперметрина в лесной малине после авиаобработки лесных массивов   | 240 |
| Епишина Т.М. Изучение репродуктивной токсичности производного неоникотиноидов на теплокровных  | 242 |
| Епишина Т.М., Чхвиркия Е.Г., Мухина Е.А., Потапова О.Г. Санитарно-токсикологическая оценка нового препарата класса гидроксикумаринов                                       | 244 |
| Ермакова Р.Г., Глеуканова Ж.Е., Айдарханова А.К., Мамырбаева А.С. Оценка эффективности цеолита NaX для очистки природных вод территории СИП от радионуклидов               | 246 |

|   |     |
|---|-----|
| Кирьянова И.Э., Гильманов В.М., Бакунович А.В. Молекулярный докинг сюзетригина с натриевым каналом NaV1.8   | 248 |
| Ковалев И.А., Ларичева Т.Е., Ананьева О.А., Мерков С.М. Влияние ламинации на фильтрующие свойства трековых мембран  | 250 |
| Крюкова М.Р., Кучерик Г.В., Турянский В.А. Использование модифицированных природных сорбентов для очистки сточных вод от ионов тяжелых металлов   | 252 |
| Ларькина М.В. Фенпропиморф. Измерение концентраций в воде   | 254 |
| Минаков Д.А., Мельникова Т.В., Удалова А.А., Киселева Л.А. Оценка содержания тяжёлых металлов в воде поверхностных водных объектов, расположенных вблизи АО «НИФХИ им. Л.Я. Карпова», за 2022-2024 гг.                              | 256 |
| Ньямвиза К., Черкасова Е.Е., Киселева Л.А., Шошина Р.Р. Изучение физико-химических параметров проб воды и донных отложений в водоемах вблизи АО «НИФХИ им. Л.Я. Карпова»  | 258 |
| Потапова Э.Г. Исследование качества вод реки Дон в пределах города Нововоронеж  | 260 |
| Разина В.А., Шибецкая Ю.Г., Турянский В.А., Бежин Н.А., Тананасев И.Г. Сорбенты, импрегнированные ди-трет-бутилдициклогексил-18-краун-6 и новыми фторированными разбавителями, для извлечения $^{210}\text{Pb}$ и $^{210}\text{Po}$ | 262 |
| Родионов А.С., Егорова М.В. Матричные эффекты при определении меди в сельскохозяйственной продукции методом электротермической атомно-абсорбционной спектроскопии   | 263 |
| Соболев Д.Н. Методическое обеспечение безопасного применения протравителя семян класса фенилпирролов  | 265 |
| Соболев Д.Н. Безопасность применения пестицидов для рабочих: аналитический контроль   | 267 |
| Степанова Н.А., Антипова В.И. Гигиеническая оценка применения в сельском хозяйстве фунгицидов на основе фамоксадона   | 269 |

|  |     |
|--|-----|
| Сулова А.В., Добрева Н.И. Влияние качества используемых реактивов на достоверность результатов при применении масс-спектрометрических методов                                | 271 |
| Тарасова Л.С., Артемова О.В. Гигиеническая оценка инсектоакарицида в форме дымовой шашки на основе альфа-циперметрина при обработке незагруженных производственных помещений | 273 |
| Тарун Е.И., Рыжикова В.В., Костюковец С.А., Крыж О.С. Антиоксидантная активность гидролизатов молозива и их комплексов с $\beta$ и $\gamma$ -циклодекстринами                | 275 |
| Турянский В.А., Разина В.А., Шибецкая Ю.Г., Бежин Н. А. Сорбционные материалы на основе Крымского кила для очистки водных сред от тяжелых металлов                           | 277 |
| Федорова Н.Е. Определение нового фунгицида класса бензофенона в грибах   | 279 |
| Федорова Н.Е., Ивченкова А.А., Добрев С.Д. Специфика подготовки проб различных культур при определении диквата дибромида   | 281 |
| Чумаченко В.А., Семенова И.В. Разработка методики определения нитратов в почве для оценки состояния техногенно загрязненных территорий России                                | 283 |
| <b>Секция 6. Эффекты действия неионизирующего и ионизирующего излучения</b>  | 286 |
| Ndati L., Solovev A.N. A computational algorithm proposal for Bragg curve evaluation using Focker-Planck formalism   | 286 |
| Ncube V.C.T., Cherkasova E.E., Shoshina R.R. Study on the use of terrestrial mollusks as radiation bioindicators for e-beam radiation  | 287 |
| Белая О.В., Митрюшина А.В. Оценка электромагнитной обстановки в тестовой зоне 5G   | 289 |
| Веялкина Н.Н., Медведева Е.А. Влияние локального облучения грудного отдела мышей линии AF на спонтанный канцерогенез в легких  | 292 |

|   |     |
|---|-----|
| Гайнутдинов Т.Р., Рыжкин С.А., Курбангалеев Я.М., Бойчук С.В., Плотникова Э.М., Идрисов А.М., Ишмухаметов К.Т., Калимуллин Ф.Х. Способ лечения лучевой болезни при воздействии гамма-излучения            | 294 |
| Григоркина Е.Б., Оленев Г.В., Гизуллина О.Р. Сообщества мелких млекопитающих в зоне влияния ВУРС: есть ли эффект действия ионизирующего излучения?  | 296 |
| Гусева О.А., Цыгвинцев П.Н. Оценка продуктивности ячменя при остром $\gamma$ -облучении   | 298 |
| Дремин А.И. Оценка эффективности средств индивидуальной защиты от электрических полей промышленной частоты на рабочих местах электротехнического персонала  | 300 |
| Дюкина А.Р., Сорокина С.С., Поцелуева М.М., Юсупов В.И. Действие низкоинтенсивного фемтосекундного лазерного излучения с длиной волны 525 нм на клеточные реакции мышей <i>in vivo</i>                    | 303 |
| Ергольская Н.В., Демидов Е.Ю. Некоторые результаты исследования влияния низкоинтенсивного импульсного лазерного излучения ( $\lambda = 890$ нм) на продолжительность жизни <i>Drosophila melanogaster</i> | 305 |
| Ергольская Н.В., Юрасова И.В. Влияние низкоинтенсивного импульсного лазерного излучения ( $\lambda = 890$ нм) на частоту и характер морфозов у <i>Drosophila melanogaster</i>                             | 307 |
| Журов В.В., Калачева А.Е. Математическое моделирование низкочастотных электрических и магнитных полей, создаваемых воздушными линиями электропередачи напряженностью 330, 500 и 750 кВ                    | 309 |
| Зименков А.Д. Оценка защитных свойств экранирующих комплектов по зарубежной методике  | 311 |
| Ишимве Б., Соловьев А.Н. Дозиметрическая оценка планов протонной и фотонной терапии при тотальном облучении мозга с исключением гиппокампа  | 313 |
| Кормилицин А.А. Гигиеническая оценка электромагнитного воздействия на персонал кабинетов физиотерапии в течение рабочей смены   | 315 |

|   |     |
|---|-----|
| Куликов А.В., Гаврилюк В.Б., Куликов Д.А. Моделирование ускоренного старения с помощью радиационного облучения. Почему животные, рожденные в осенне-зимний период, живут дольше родившихся весной и летом | 317 |
| Лой Н.Н., Миронова М.П., Иванкина С.А. Влияние электронного облучения семян на развитие пшеницы   | 319 |
| Плотникова Э.М., Файзрахманов Р.Г., Нестерова И.А., Ишмухаметов К.Т., Шарифуллина Д.Т. Усовершенствование биотехнологии производства противовирусных препаратов с использованием облучения                | 322 |
| Соболева Л.А., Матчук О.Н., Замулаева И.А. Влияние комбинированного действия 5-фторурацила, цитарабина и ионизирующего излучения на пул опухолевых стволовых клеток рака шейки матки линии SiHa           | 324 |
| Сорокина С.С., Дюкина А.Р., Юсупов В.И. Действие фемтосекундного лазерного излучения на поведение и когнитивные способности мышей   | 326 |
| Чомба Н.Ж., Черкасова Е.Е., Шошина Р.Р., Лаврентьева Г.В. Изучение изменения показателя смертности наземного моллюска после острого $\beta$ -облучения  | 328 |
| Шарапов М.Г., Парфенюк С.Б., Гончаров Р.Г., Карманова Е.Е., Глушкова О.В. Экспрессия пероксиредоксинов в раковых клетках человека с различной радиорезистентностью  | 330 |
| Шестакова В.А., Комарова Л.Н., Атякшин Д.А., Исаева Е.В., Барановский Д.С., Клабуков И.Д. Изменение иммунного профиля кожи при однократном остром облучении $\beta$ -излучением                           | 332 |
| Щемелев В.М., Новицкая С.П., Чуешова Н.В. Содержание серотонина и родственных соединений в префронтальной коре мышей при хроническом воздействии низкоинтенсивного ионизирующего излучения                | 334 |
| Щемелев В.М., Чуешова Н.В. Содержание дофамина и родственных соединений в префронтальной коре молодых крыс при хроническом воздействии низкоинтенсивного электромагнитного поля                           | 336 |

|  |     |
|--|-----|
| Яснецов В.В., Кузнецова О.С., Перевезенцев А.А., Лебедева-Георгиевская К.Б., Штемберг А.С. Влияние мексидола на выраженность когнитивных нарушений, вызванных протонным облучением               | 339 |
| <b>Секция 7. Школьная экологическая секция</b>   | 342 |
| Беднякова В.С., Верушкина Г.Н., Лапенко А.К. Трехмерная клеточная модель фибробластов человека как тест-система для изучения воздействия поллютантов на живые клетки (на примере хлорида свинца) | 342 |
| Бычкова В.А., Леках И.В. Влияние противогололёдного средства «Бионорд» на морфометрические и биохимические показатели проростков ячменя и кресс-салата   | 344 |
| Гусев В.В., Верушкина Г.Н. Исследование возможности автоматизации оценки степени угнетенности елей   | 346 |
| Ильина А.А., Леках И.В. Сравнение кресс- салата и дрожжей <i>Saccharomyces cerevisiae</i> как тест-объектов для биоиндикации загрязнений почвы   | 348 |
| Кучер В.А., Антонова Л.И. Экологическое исследование пруда в микрорайоне Анненки г. Калуги   | 350 |
| Телеганов М.А. Скрининг бобовых растений для диагностики наиболее перспективного сидерата  | 353 |
| Титова С.С., Серова Н.А. Влияние биогумуса на рост и развитие растений   | 355 |
| Трошкина М.С. Экологическая тропа «Обнинск – город для науки и отдыха»   | 357 |
| Чур А.О., Рассказова М.М. Изучение качественного состава перифитонного сообщества в модельной экосистеме водоемов-охладителей Калининской АЭС  | 360 |
| Якушин Т.В., Королев А.В. Выделение серебра из часовых батареек и киноплёнки в процессе их переработки   | 362 |

Оригинал-макет подготовлен А.А. Удаловой, Л.А. Киселевой

Подписано в печать 25.08.2025. Формат 60×84 1/16.  
Печ. л. 24. Изд. № 018-2. Тираж 100 экз. Заказ №

ИАТЭ НИЯУ МИФИ  
249039, Калужская обл., г. Обнинск, тер. Студгородок, 1.