**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

**VII МЕЖДУНАРОДНАЯ (XX РЕГИОНАЛЬНАЯ) НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ**

**Тезисы докладов**
**Обнинск, 18-19 апреля 2024 г.**



**Обнинск 2024**

УДК 504.5(063):621.039
ББК 20.1:30.13
Т 38

**VII Международная (XX Региональная) научная конференция «Техногенные системы и экологический риск»: Тезисы докладов.** – Обнинск: ИАТЭ НИЯУ МИФИ, 2024. – 360 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 15 апреля 2024 г.
Материалы издаются в авторской редакции.

*ISBN 978-5-7262-3086-3* © ИАТЭ НИЯУ МИФИ, 2024

## ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ

## VII Международной (XX 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

**Белоусов 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., и.о. заместителя генерального директора - директор ИПМ, НПО «Тайфун», г. Обнинск

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

**Демин Виктор Максимович,** к.ф.-м.н., заведующий каф. №1, ИЯФиТ НИЯУ МИФИ, г. Москва

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

**Козьмин Геннадий Васильевич,** к.б.н., ведущий научный сотрудник, НИЦ «Курчатовский институт» - ВНИИРАЭ, 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 Вера Сергеевна,** 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

**Лащенова 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, МГЭИ им. А.Д. Сахарова БГУ, 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 отделение 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

**Тирас Харлампий Пантелеймонович,** к.б.н., ведущий научный сотрудник Института экспериментальной и теоретической биофизики РАН, г. Пущино

**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

**Al-Kotb M.S.,** Ph.D., Director of Projects Development, Innovation and Intellectual Property Centre, Ain-Shams University, Cairo, Egypt

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

**Salah Ud-Din Khan,** Ph.D., Associate Professor, King Saud University, Riyadh, Saudi Arabia

**Şenturk Lule S.,** Ph.D., Assistant Professor, Deputy Director, Energy Institute, Istanbul Technical University, Istanbul, Turkey

**Shafiqul Islam Md.Dr.,** Chairman & Associated Professor, Department of Nuclear Engineering, Faculty of Engineering & Technology, University of Dhaka, Dhaka, Bangladesh

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

## ПЛЕНАРНОЕ ЗАСЕДАНИЕ

# РАДИАЦИОННАЯ ОБРАБОТКА ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ. ПРАКТИЧЕСКИЙ ОПЫТ

*М.М. Баранова*
*ООО «КНТП «КОРАД», г. Обнинск, Россия*

Для обеспечения безопасности пищевой продукции используют различные технологии. Во многих странах ионизирующее излучение применяют в коммерческих целях для дезинсекции, подавления прорастания, обеззараживания продуктов питания, увеличения их сроков годности [1].

Обработка ускоренными электронами достаточно универсальна и может использоваться для обеззараживания широкого спектра продуктов питания: от сухих сыпучих ингредиентов (специй и какао), до мясных полуфабрикатов и готовых блюд. Такое облучение не вызывает нагрева и успешно используется для обработки охлажденной и замороженной продукции.

В процессе обработки снижается микробная обсемененность, следствием этого является продление срока годности продуктов питания. Зная чувствительность различных микроорганизмов к воздействию и требуемый уровень чистоты в конкретном продукте, можно рассчитать дозу облучения.

Кроме антимикробной обработки, ускоренные электроны применяются для борьбы с паразитами и насекомыми.

С помощью ионизирующего излучения можно повысить безопасность продуктов, которые, не будут в дальнейшем подвергаться термической обработке: специи, чаи, орехи, сухофрукты и пр.

С точки зрения сохранения питательных веществ наиболее устойчивы к радиационной обработке белки, затем идут углеводы. Липиды же – очень чувствительны, продукты с высоким содержанием жиров могут оказаться непригодными к облучению [1, 2].

Степень потери витаминов схожа с таковой при термической обработке, однако может отличаться как в большую, так и в меньшую стороны.

Ежемесячно ООО «КНТП «КОРАД» обрабатывает до 700 тонн разнообразных продуктов питания, косметических средств и медицинских изделий. Соотношение различных видов продукции за 2023 г. представлено в табл. 1.

Таблица 1

Продукция, прошедшая обработку ускоренными электронами в 2023 году в ООО «КНТРП «КОРАД»

| Сегмент | Доля в объеме, % |
|---|---|
| Чай, какао, сухие травы | 33,7 |
| Специи и пряности | 21,1 |
| Изоляты | 20,1 |
| Косметика и фармацевтика | 8,9 |
| Другое | 6,1 |
| Медицина | 5,7 |
| Орехи, сухофрукты, снеки | 2,1 |
| Фрукты, овощи, зелень | 1,2 |
| Функциональное питание | 0,8 |
| Промышленные материалы | 0,1 |
| Мясо и мясные продукты | 0,1 |
| Корма | 0,1 |

***Литература***

1 Черняев А.П. Радиационные технологии. Наука. Народное хозяйство. Медицина. – М.: Издательство Московского университета, 2019. – 231 с.

2 Genetically Modified and Irradiated Food: Controversial Issues: Facts versus Perceptions. Academic Press, 2020. – 318 p.

# РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМ РЕАБИЛИТАЦИИ НАСЕЛЁННЫХ ПУНКТОВ, ПОДВЕРГШИХСЯ ВОЗДЕЙСТВИЮ ОТ АВАРИИ НА ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС

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

Авария на ЧАЭС привела к широкомасштабному и долгосрочному (десятки лет) радиоактивному загрязнению многих стран, включая Российскую Федерацию. Загрязнение радионуклидами (преимущественно $^{137}Cs$) территории населённых пунктов, сельскохозяйственных угодий и лесов, аграрной и природной пищевой продукции до настоящего времени определяет формирование у населения зоны аварии дополнительных к природному фону дозовых нагрузок. Это требует продолжения работ по реабилитации населённых пунктов, особенно сельских.

Исследование проведено на примере 135 населённых пунктов (НП) со среднегодовой эффективной дозой облучения жителей, превышающей 1 мЗв. Все эти НП юго-западных районов Брянской области относятся к трём зонам радиоактивного загрязнения. Почти 80% НП входят в зону с правом на отселение. Согласно данным статистики в 2020 г. из 135 жилыми являлись только 101 населённый пункт с общим числом жителей 67789 чел., из них 38680 чел. (57%) проживают в г. Новозыбков.

Для решения поставленных задач использована система поддержки принятия решений (ГИСППР) по реабилитации радиоактивно загрязнённых территорий пяти юго-западных районов Брянской области, в наибольшей степени подвергшихся воздействию от аварии на Чернобыльской АЭС. ГИСППР создана на основе геоинформационных технологий и реализована в среде ArcMap 10.5, входящей в состав программного пакета ArcGis. ГИСППР реализует возможности применения ряда отработанных на практике агротехнологий, наиболее эффективных с точки зрения снижения перехода $^{137}Cs$ в пищевую продукцию.

На основе собранных и проанализированных новых данных об эффективности реабилитационных технологий, включая информацию о дезактивации НП, а также подходов к планированию мер по реабилитации радиоактивно загрязненных территорий и защите населения, в исследуемых НП с превышением дозовых нагрузок у населения рассмотрена возможность применения семи различных типов мероприятий или их комбинаций. Первые шесть технологий направлены на снижение доз внутреннего облучения населения за счёт уменьшения содержания $^{137}$Cs в местных пищевых продуктах, а последняя контрмера применяется для снижения дозы внешнего облучения жителей НП. Для определения оптимальной стратегии реабилитации индивидуально для каждого НП с дозой выше 1 мЗв, использован системный анализ на основе комплекса радиологических, экологических, дозовых и экономических критериев. На основе созданного банка данных с характеристиками НП в системе поддержки принятия решений ReSCA, рекомендованной МАГАТЭ, обоснованы оптимальные варианты применения реабилитационных технологий, определены состав, объемы мероприятий и затраты, необходимые на их внедрение с учётом социально-психологического восприятия населением технологий и результатов их реализации. Проведен сравнительный анализ эффективности разработанных стратегий реабилитации НП по следующим критериям: снижению доз облучения населения; затратам на реабилитацию; стоимости предотвращенной коллективной дозы. В заключении проведено ранжирование технологий по степени эффективности и даны рекомендации по оптимизации внедрения реабилитационных технологий на радиоактивно загрязнённых территориях в отдалённый период после радиационной аварии. При разработке адресной реабилитации НП, рассматривалось два варианта оценок: «экономический», т.е. предпочтение при оптимизации отдаётся самым мало затратным технологиям и «социальный», когда приоритетом при выборе мероприятий является отношение к ним местного населения. В программе ReSCA с использованием ГИС-системы рассчитаны оба сценария реабилитации всех НП со среднегодовой дозой облучения жителей более 1 мЗв.

*Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (грант №23-29-00024).*

## СЕКЦИЯ 1. ЯДЕРНАЯ И ТЕПЛОВАЯ ЭНЕРГЕТИКА

# PROBABILITY SAFETY ANALYSIS OF MAIN SYSTEMS AND EQUIPMENT IN NPP

*M.Blessings, D.S Samokhin*
*Obninsk Institute for Nuclear Power Engineering, Obninsk, Russia*

In the realm of nuclear power plants, realiablity and safety analysis plays a very important role in ensuring the safe operation of nuclear plants as well as in everyday life. In nuclear power plants, the failure of equipment can have catastrophic consequences, making reliability and safety assessments essential. Similarly, in everyday life, the reliability and safety of equipment used in various industries and applications are crucial to prevent accidents and ensure the well-being of individuals [1].

The primary goal of safety analysis in nuclear power plants is to ensure that safety functions can be carried out reliably and that the necessary structures, systems, and components are effective enough. The imperative to ensure the safe operation of potentially dangerous plant or equipment is not a novel concept. However, a more recent imperative is to establish the reliability of plant and equipment essential for safety without relying on the traditional 'trial and error' approach, which has been foundational in many industrial advancements but regrettably has also led to numerous accidents. In the nuclear sector, the challenge has been to pioneer new technologies incorporating innovative engineering solutions while concurrently safeguarding the safety of workers and the public. The advancement of new technologies necessitates drawing lessons from past experiences, some of which undoubtedly involve substantial plant and equipment failures. Nevertheless, our facilities must be designed to withstand such failures in a safety context. The objective has been to achieve high reliability in engineering systems through intentional design rather than through trial and error. Reliability analysis techniques have played a pivotal role in pursuing this goal [2].

***References***

1 Wang Z., Sun Y., Zhao J., Dong X. et al. Reliability Analysis of Nuclear Power Plant Electrical System Considering Common Cause Failure Based on GO-FLOW // Sustainability. 2023. V. 15. 14071.

2 Ballard G. M., Littlewood B., Sachs K. Bibby J. Reliability Analysis in the Design of Safe Nuclear Power Plants. United Kingdom Atomic Energy Authority, 1989. P. 549.

## VVER-1200 REACTOR CORE PIN CELL STEADY-STATE THERMAL HYDRAULICS ANALYSES AND CROSS-VALIDATION

*S.R. Folkenberg, A.S Zevyakin*
*Obninsk Institute for Nuclear Power Engineering, Obninsk, Russia*

Reactor core components are designed with materials capable of facilitating heat transfer and withstanding high thermal stresses. The purpose of this research work is to verify by cross-validation, the thermal hydraulic processes associated with the material layers that constitute the VVER-1200 reactor core pin cell. This is to ascertain the reactor coolant performance and the safety of the VVER-1200 by analyzing the heat transfer of fuel elements along the radial axis during steady-state conditions, taking into account the computed thermophysical parameters, some of which are indicated in fig. 1.

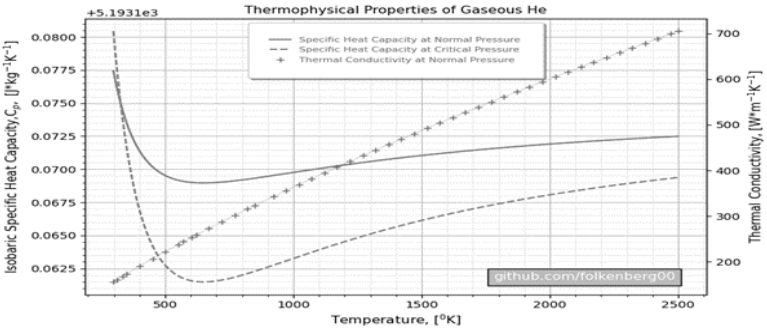



Fig. 1. Thermophysical properties of gaseous He

We perform thermal hydraulic analyses of the VVER-1200 reactor core pin cell by solving the general heat conduction equation (1) for each material layer in the pin cell [2]:

$$\lambda\left[\frac{1}{r}\cdot\frac{\partial}{\partial r}\left(r\frac{\partial T}{\partial r}\right)+\frac{1}{r^2}\cdot\frac{\partial}{\partial \phi}\cdot\left(r\frac{\partial T}{\partial \phi}\right)+\frac{\partial}{\partial z}\left(\frac{\partial T}{\partial z}\right)\right]+q_v=\rho\cdot C_p\frac{\partial T}{\partial t} \quad (1)$$

where $\lambda$, $C_p$, $T$, $q_v$, $\rho$ are the thermophysical properties.

Thermal hydraulic analysis is a crucial stage in the establishment and adoption of the safety standards of nuclear reactors [1]. From these calculations, we establish the power produced by the reactor core and its removal by the coolant. In order to ensure that the integrity of the reactor core fuel sub-assembly is not compromised, thermophysical properties have to be chosen very carefully in the design phase. Both of the fuel and gas gap materials exhibit low thermal conductivities, and this has to be compensated for by reducing the gas gap thickness and introducing a cladding material layer, E-110 with a significantly high thermal conductivity.

The adopted methodology involves initially performing preliminary thermophysical calculations associated with the pin cell to prepare thermal hydraulic analysis input data and boundary conditions [3]. Secondly, we adopt the preliminary design parameters associated with the pin cell in the creation of a CAD model from which geometry data for mesh generation is retrieved. Thirdly, we prepare schemes for analytical and numerical solutions of the steady-state version of the thermal conduction equation (1). And lastly, the results of the two techniques are to be cross-validated, uncertainty quantification done and presented in the form of peak centerline temperature, fuel, and clad temperature distributions along the radial profile of the reactor core pin cell. This research work can further be extended to take into account thermal hydraulic processes and system behaviour in transient states.

***References***

1 Todreas N.E., Mujid S.K. Nuclear Systems I: Thermal Hydraulic Fundamentals. Hemisphere Pub, 2001.

2 Çengel Y.A. Heat and Mass Transfer: Fundamentals and Applications. New York, Mcgraw Hill Higher Education, 2011.

3 International Atomic Energy Agency. Thermophysical Properties of Materials for Nuclear Engineering: A tutorial and Collection of Data. Vienna: International Atomic Energy Agency, 2008.

## MULTIPLE POINT KINETICS EQUATION STUDY FOR THE VVER-1200 LOAD FOLLOWING MODE OF OPERATION

*S.S. Pravosud[1,2], V.S. Susakin[2], Ya.O. Yakubov[2], D.S. Maslako[2,3]*
*[1] – Rosatom Technical Academy, Obninsk, Russia*
*[2] – Seversk Technological Institute – a branch of the National Research Nuclear University MEPhI, Seversk, Russia,*
*[3] – JSC Proryv, Pilot-Demonstration Energy Complex, Seversk, Russia*

Precise control of the nuclear reactor power in the load following mode is the crucial aim due to safety reasons. Although, conventional mathematical models based on Point Kinetics Approximation (PKA) are suitable only for design of the integral power control strategies, with lack of knowledge of how this power is distributed in the nuclear reactor core. At the same time, imbalance of power distribution may induce axial xenon oscillations.

Moreover, control systems engineering imposes restrictions on mathematical models: they can be defined either in the s-domain as transfer functions or in time domain as state space models [1, 2], although mentioned works were focused on improving thermal hydraulics behavior of the system and did not consider improvement of the neutronics. As such, development, and justification of mathematical models which can describe spatial systems using averaged lumped parameter models with coupling coefficients is ongoing problem. P.F. Wang et al. [3] designed such model using so-called multi-point kinetic (MPK) approach, when reactor is subdivided in different regions, but these regions are still considered as point-like but coupled with each other. They also considered six groups of delayed neutrons and obtained nodalization schemes up to 42 regions, but increasing number of nodes became a computational burden. Comprehensive

comparison of different MPK approaches by Avery and by Kobayashi with PKA was carried out by G. Valocchi et al [4].

In this work, authors present a comparative analysis of different nodalization schemes in axial direction with different numbers of delayed neutrons groups: with well-known six groups (Keepin approach), with updated eight groups approach [5] by Spriggs, Campbell and Piksakin, and with the reduced to three groups approach by Skinner and Cohen [6]. Also, power coefficient of reactivity for each node is considered.

The results show that three groups of delayed neutrons approach not only significantly reduce the order of the system, but also have satisfactory result in the load following mode in comparison with the VVER-1200 reactor simulator.

***References***

1 Правосуд С.С., Маслаков Д.С., Якубов Я.О., Овчаренко А. А. Верификация модели динамики ядерного реактора ВВЭР-1200, состоящей из одного топливного узла, примыкающего к двум узлам теплоносителя // Глобальная ядерная безопасность. 2023. №3 (48) С. 82-95

2 Puchalski B., Rutkowski T.A., Duzinkiewicz K. Nodal models of Pressurized Water Reactor core for control purposes – A comparison study // Nuclear Engineering and Design. 2017. V. 322. P. 444–463. http://dx.doi.org/10.1016/

3. Wang P.F., Liu Y., Jiang B.T., Wan J.S., Zhao F.Y. Nodal dynamics modeling of AP1000 reactor for control system design and simulation // Annals of Nuclear Energy. 2013. V. 62. P. 208-223. http://dx.doi.org/10.1016/j.anucene

4 Valocchi G., Tommasi J., Ravetto P. Reduced order models in reactor kinetics: A comparison between point kinetics and multipoint kinetics // Annals of Nuclear Energy. 2020. V. 147. https://doi.org/10.1016/j.anucene.

5 Spriggs G.D., Campbell J.M., Piksaikin V.M. An 8-group delayed neutron model based on a consistent set of half-lives // Progress in Nuclear Energy. 2002. V. 41(1-4). P. 223–251. doi:10.1016/s0149-1970(02)00013-6

6 Skinner R.E., Cohen E.R. (1959). Reduced Delayed Neutron Group Representations // Nuclear Science and Engineering. 1959. V. 5(5). P. 291–298. doi:10.13182/NSE59-A25601

## HIERARCHICAL CASCADE CONTROL SYSTEM OF THE NUCLEAR REACTOR POWER ALONG WITH OUTLET COOLANT TEMPERATURE

*S.S. Pravosud [1,2]., Ya.O. Yakubov [2], V.S. Susakin [2], D.S. Maslakov [2]*
*[1] – Rosatom Technical Academy, Obninsk, Russia,*
*[2]– Seversk Technological Institute – a branch of the National Research Nuclear University MEPhI, Seversk, Russia*

Most of the research papers concerning reactor power control deal with the improvement of power controllers' performance which help to achieve better performance and stability in various operation mods. These control strategies are based on feedback control; hence they directly depend on accuracy of the measured output power through in-core and ex-core neutron sensors. Also, in-core and ex-core neutron sensors have different time constants (1 sec. for ex-core and 60 sec. for in-core), therefore precise control of the nuclear reactor under ex-core neutron sensor fault is challengeable. In [1] Z. Liming et al. designed Asymptotical State Observer (ASO) for the plant which in turn based on data from temperature sensors in the secondary loop. The designed ASO showed good performance in tracking the reference signals.

For more robust control of the nuclear reactor, we need to consider not only the primary power control loop, but also the additional output temperature control loop, i.e. hierarchical cascade control system. V. Vajpayee et al. [2] used this approach for the pressurized water-type nuclear power plant, whereas J. Wan et al. [3] designed a cascade control system for the advanced small pressurized water reactor (ASPWR). Last studies [4] showed that this approach can be utilized for the space thermionic nuclear reactor.

In this work, authors carry out design and simulation of the cascade power/outlet coolant temperature control system for the verified model of the VVER–1200 nuclear reactor [5] defined in s-domain as

transfer function matrix; cascade system also includes mathematical model of the Electromagnetic Stepper Motor (ESM), the refined model of the group 12 of Control and Protection System Control Rods (CPS CR), mathematical models of the temperature and neutron sensors as well as two Proportional-Integral (PI) controllers. Obtained results showed a better performance in comparison with traditional approach.

***References***

1 Zhang L., Xie H., Duan Q., Cao Lu C., Li J., Lv Z. Power Level Control of Nuclear Power Plant Based on Asymptotical State Observer under Neutron Sensor Fault // Science and Technology of Nuclear Installations. 2021. V. 2021. 8833729. https://doi.org/10.1155/2021/8833729

2 Vajpayee V. et al. Dynamic modelling, simulation, and control design of a pressurized water-type nuclear power plant // Nuclear Engineering and Design. 2020. V. 370. 110901. https://doi.org/10.1016/j.nucengdes.2020.110901

3 Wan J. et al. Controller design and optimization of reactor power control system for ASPWR // Progress in Nuclear Energy. 2017. V. 100. P. 233-244. http://dx.doi.org/10.1016/j.pnucene.2017.06.006

4 Ma Q. et al. Control strategy study and cascade control system design for space thermionic nuclear reactor // Nuclear Engineering and Design. 2023. V. 414. https://doi.org/10.1016/j.nucengdes.2023.112626

5 Правосуд С.С., Маслаков Д.С., Якубов Я.О., Овчаренко А. А. Верификация модели динамики ядерного реактора ВВЭР-1200, состоящей из одного топливного узла, примыкающего к двум узлам теплоносителя // Глобальная ядерная безопасность. 2023. №3 (48) С. 82-95

# PRODUCTION OF CALIFORNIUM-252 WITH FAST NEUTRON SPECTRUM

*D. Sibomana, R.V. Fomin*
*Obninsk Institute for Nuclear Power Engineering, Obninsk, Russia*

The use of californium-252 in reactor start-up, neutron activation analysis, neutron radiographs, and nuclear medicine is increasing [1]. But its production amount is still low due to the complex conversion chain, fission losses in the process of producing californium-252, and the limited number of reactors with enough neutron flux density needed for its production. That is why different studies are carried out to improve the production of californium-252 and make it easily available to all industries for different applications.

The high flux isotope reactor (HFIR) with its high neutron fluxes up to $10^{15}/cm^2s$ [2] and flexible irradiation channels is used in the production of californium-252. This paper focuses on different features needed to design a good irradiation target and appropriate irradiation conditions in the reactor core to increase capture to fission ratio and conversion ratio in the fast neutron spectrum, which are the most important parameters influencing the yield of californium-252. And modeling of target irradiation in HFIR using Serpent software is necessary to evaluate the efficiency of the transmutation process in the target material. The reactor core of HFIR consist of six positions, central trap, inner fueled position, outer fueled position, control rod positions, and beryllium reflector [3]. Fuel used in HFIR consists of $U_3O_8$-Al with enrichment up 93% [3]. In this paper, simplified model of reactor core of HFIR is modelled by homogenizing 171 inner fuel plates and 369 outer fuel plates (fig. 1).

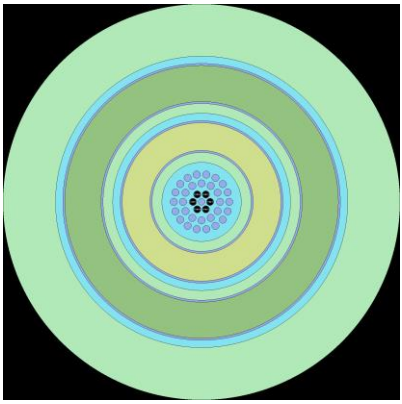


Fig.1. Simplified reactor core of HFIR with central trap

Fig. 1 shows Simplified model of HFIR active zone with central trap (central light blue) with 37 target positions, inner and outer fuel elements (light yellow and green color respectively), beryllium reflector (light green) and cooling channels (light blue).

***References***

1. Martin R.C., Knauer J.B., Balo P.A. Production, distribution, and application of californium-252 neutron sources // Applied Radiation and Isotopes. 1999. V. 53 (4-5). P. 785-792. doi:10.1016/S0969-8043(00)00214-1.

2. Osborne-Lee I.W., Alexander C.W. Californium-252: A Remarkably Versatile Radioisotope. Oak Ridge National Laboratory. – 1998. 58 p. URL:https://technicalreports.ornl.gov/cpr/rpt/82148.pdf (24.03.2024)

3. Chandler D., Betzler B.R., Davidson E.E., Ilas G. Modelling of high flux isotope reactor representative core model for updated performance and safety basis assessments // Nuclear Engineering and Design. 2020. V. 366. P. 1-21. doi.org/10.1016/j.nucengdes.2020.110752.

# ASSESSMENT OF NEUTRON RADIATION DOSE RATE FROM MODIFIED NUCLEAR FUEL

*D.G. Veretennikov*
*National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia*

One of the ways to improve the properties of nuclear fuel is to modify its composition. The search for alternative burnable absorbers is underway, one of which is americium. Such fuel is placed in fuel rods without changing the enrichment and does not affect the unevenness of energy release in the fuel assembly (FA) [1].

This work examines FAs used in the VVER reactors: 1) FA No.1: 312 fuel rods with $UO_2$ enriched to 4.89 %; 2) FA No.2: 312 fuel rods with $UO_2$ enriched to 4.9 % + 0.2 at. % $AmO_2$; 3) FA No.3: 300 fuel rods with $UO_2$ enriched to 4.89 % and 12 fuel rods with $UO_2$ enriched to 3 % + 5 wt. % $Gd_2O_3$.

The neutron radiation spectrum was calculated using the SOURCES-4C program; the results for FA No. 2 are shown in fig. 1.

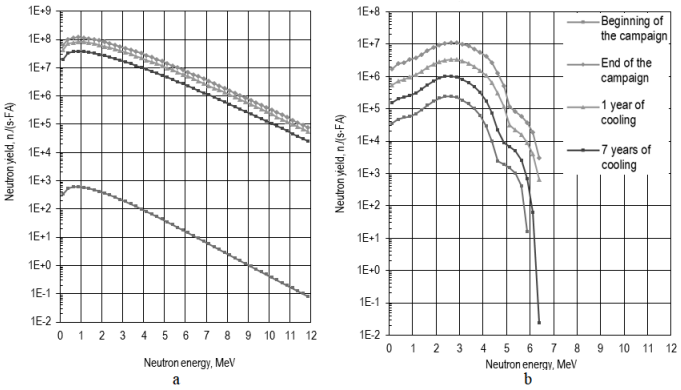



Fig. 1. Neutron radiation spectrum of FA No. 2: a) spectrum of spontaneous fission neutrons; b) spectrum of (α, n) neutrons

The main source of neutron radiation in spent fuel is $^{244}Cm$ nuclei undergoing spontaneous fission. The contribution of the (α, n) reaction to the spectrum of neutron radiation from spent nuclear fuel is significant only at the end of the campaign. This is due to the fact

that after a year of cooling the majority of $^{242}$Cm nuclei, which are strong α–emitters, decay.

The neutron yield of fresh fuel from $UO_2$ is small and is mainly due to the spontaneous fission of $^{238}$U. When $AmO_2$ is introduced, the neutron yield of fresh fuel increases significantly due to the (α, n) reaction, which occurs because $^{241}$Am is an α-emitter.

During reactor operation, $^{241}$Am in FA No. 2 burns out, absorbing neutrons. In this case, through successive nuclear reactions, curium isotopes are formed, including $^{244}$Cm, which leads to a higher yield of spent fuel neutrons.

Based on the obtained neutron spectrum data, the equivalent dose rates of neutron radiation were calculated; the results are presented in fig. 2.

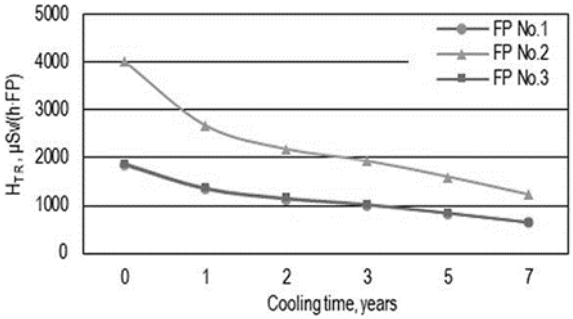



Fig. 2. Average value of neutron radiation equivalent dose rate for a fuel pellet (FP)

In fresh fuel containing $AmO_2$, the neutron yield of fresh fuel increases significantly and is formed mainly by (α, n) reactions in $AmO_2$ microcapsules. In addition, such fuel requires a longer cooling time due to a greater neutron yield of SNF. Therefore, to use americium as a possible alternative to gadolinium, it is necessary to develop procedures and regulations for handling the new fuel during its manufacture and after irradiation in the reactor core.

***References***

1 Shelley A., Ovi M.H. Use of americium as a burnable absorber for VVER-1200 reactor // Nuclear Engineering and Technology. 2021. V. 53. P. 2454-2463.

# COMPARISON OF Al-Fe & Fe-Al LAYERS INTERCHANGE FOR SHIELDING AGAINST γ-RAYS

*M. Kwizera, P.A. Danilov*
*Obninsk Institute for Nuclear Power Engineering, Obninsk, Russia*

Radiation shielding is one of the pillars of protection methods from ionizing radiation according to the recommendation of International Commission of Radiation Protection (ICRP) and regulations of International Atomic Energy Agency (IAEA).

The dosimetry (in this case for radiation shielding against γ–rays) depends on 3 properties of the shielding materials namely buildup factor, attenuation coefficient, thickness of the shielding material [1,2]. The trajectory of photons through the shielding material obeys 3 types of interaction of radiation (namely photons) with matters which are photoelectric effect, pair-production and Compton scattering. As a result of these interactions, secondary radiation (mostly γ and β –rays) are produced after radiation passes through each layer, thus modifying the expected exposure dose through process called radiation buildup due to shielding [2,3].

The buildup factors to be used in calculations change due to the interaction of photons with 1$^{st}$ layer and interaction of buildup radiation with the 2$^{nd}$ layer [1,3]. There is a greater buildup of low-energy scattered radiation is low Z material than in high Z, because in low Z materials, low-energy radiation propagates with little photoelectric absorption [3]. The buildup of low-energy radiation is not possible in high Z layer. When the low Z material is placed before the high Z materials, the radiation buildup from the 1$^{st}$ layer is absorbed while passing through the 2$^{nd}$ one, resulting to small overall buildup through both shields. On another hand, when the layers are interchanged (high Z – low Z), the radiation buildup of low energy photons in 2$^{nd}$ layer (low Z) will reach out of the shield, thus leading to high overall buildup [3].

Using data shown the table below, considering Aluminum and Iron as shielding material, exposure dose rates were calculated using Zapmenot (python-codes which calculate point-source exposure dose rates).

Table 1

Radiactivity source data taken into consideration

| Total Activity (TA), Ci | | | 2.71 | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Isotope composition of radiation source | | | | | |
| Isotope | % of TA | Isotope | % of TA | Isotope | % of TA |
| $^{60}$Co | 28.50 | $^{137}$Cs | 42.00 | $^{134}$Cs | 20.00 |
| $^{54}$Mn | 3.70 | $^{58}$Co | 5.80 | | |
| Shield properties | | | | | |
| Shield thickness, cm | | | Shielding materials | | |
| 16 (each layer) | | | Aluminum (Al) and Iron (Fe) | | |

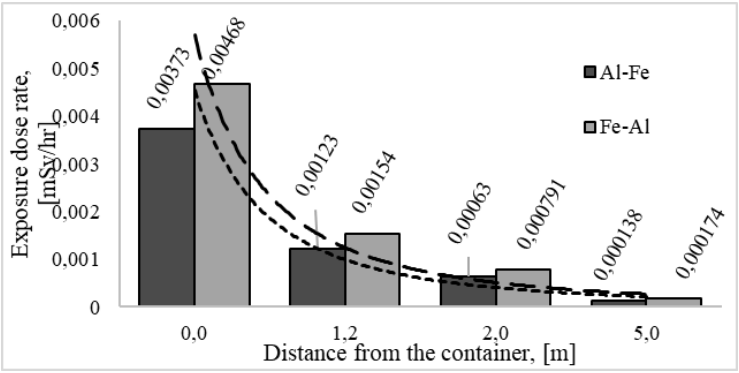



Fig. 1. Exposure dose at different distances using Al and Fe.

It is concluded that the layer set-up Al-Fe is more preferable than Fe-Al according to the graph above (fig. 1).

***References***

1 Waly E.S.A., Bourham M.A. Comparative study of different concrete composition as gamma-ray shielding materials // Annals of Nuclear Energy. 2015. V. 85. P. 306–310.

2 Ken B.S. Safe and Secure Transport and Storage of Radioactive Materials. Woodhead publisher. 2015. 331 p.

3 Lamarsh J.R., Baratta A.J. Introduction to Nuclear Engineering (3rd edition). Prentice-Hall. 2001. 801 p.

# ИЗМЕНЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИЯ КСЕНОНА ПРИ ОТРАВЛЕНИИ РЕАТОРА НА ТЕПЛОВЫХ НЕЙТРОНАХ С УЧЕТОМ ИЗОТОПА ТЕ-135

*Е.А.Баканова, А.В. Воробьев, А.М. Терехова*
*Обнинский институт атомной энергетики – филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», г. Обнинск, Россия*

В процессе работы ядерного реактора на тепловых нейтронах образуется изотоп Хе-135 в результате цепочки последовательных -распадов. Микроскопическое сечение поглощения данного изотопа аномально большое, составляет $2.8 \cdot 10^6$ барн [1]. Данный изотоп является отравителем. Цепочка образования имеет следующий вид:

$$^{135}Te \xrightarrow{\beta^-} {}^{135}I \xrightarrow{\beta^-} {}^{135}Xe \xrightarrow{\beta^-} {}^{135}Cs \text{ (стабилен)}$$

Ксенон появляется непосредственно как осколок деления с долей выхода 0,3%. Но больше ксенона появляется как продуты распада теллур-йод-ксенон с долей выхода 6%. Период полураспада теллура столь мал, что он распадается практически сразу после своего образования, и в большинстве исследований принимается, что ксенон непосредственный продукт реакции деления не теллур, а его дочернего продукта I-135.

В данной работе рассмотрена цепочка деления без упрощения и с упрощением по изотопу Те-135. Проведено сравнение полученных результатов, построены графики зависимостей концентраций ксенона и определена неточность результатов при упрощении моделирования ксенонового отравления.

Для этого были составлены дифференциальные уравнения, описывающие скорость изменения содержания изотопа Те-135, I-135 и Хе-135 в топливе:

$$\frac{dn_{Xe}}{dt} = -\lambda_{Xe} n_{Xe} - \sigma_a^{Xe} \Phi n_{Xe} - \lambda_I n_I + \xi_{Xe} \Sigma_f \Phi,$$
$$\frac{dn_I}{dt} = -\lambda_I n_I - \sigma_a^I \Phi n_I - \lambda_{Te} n_{Te} + \xi_I \Sigma_f \Phi,$$
$$\frac{dn_{Te}}{dt} = -\lambda_{Te} n_{Te} - \sigma_a^{Te} \Phi n_{Te} + \xi_{Te} \Sigma_f \Phi,$$

Где $\lambda_{Xe}$, $\lambda_I$, $\lambda_{Te}$– постоянные $\beta^-$-распада ядер Xe-135, I-135 и Te-135;

$\sigma_a^{Xe}$, $\sigma_a^I$, $\sigma_a^{Te}$– средние сечения поглощения нейтронов ядрами Xe-135, I-135 и Te-135;

$\Sigma_f$–макроскопическое сечение деления топлива;

$n_{Xe}$, $n_I$, $n_{Te}$– концентрации ядер Xe-135, I-135 и Te-135;

$\xi_{Xe}$; $\xi_I$, $\xi_{Te}$– независимый выход на одно деление осколков Xe-135, I-135 и Te-135.

Решая систему уравнений для заданного значения потока Ф и с начальными равновесными концентрациями $n_{Xe}$, $n_I$ и $n_{Te}$, получаем следующую зависимость $n_{Xe}(t)$:

$$n_{Xe}(t) = \frac{\Sigma_f \left(e^{-\lambda_{Xe}t} - e^{-\lambda^1_{\text{эфф}}t}\right)(\Phi_0(\xi_{Te}+\xi_I) - \Phi_1\xi_I)}{\lambda^1_{\text{эфф}} - \lambda_I} + \frac{\Sigma_f\Phi_1(\xi_{Xe}+\xi_I)\left(1 - e^{-\lambda^1_{\text{эфф}}t}\right)}{\lambda^1_{\text{эфф}}} + \frac{\lambda_I\xi_{Te}\Sigma_f(\Phi_0-\Phi_1)\left(e^{-\lambda_I t} - e^{-\lambda^1_{\text{эфф}}t}\right)}{(\lambda_I-\lambda_{Te})\left(\lambda^1_{\text{эфф}}-\lambda_I\right)} + \frac{\lambda_I\xi_{Te}\Sigma_f(\Phi_0-\Phi_1)\left(e^{-\lambda^1_{\text{эфф}}t} - e^{-\lambda_{Te}t}\right)}{(\lambda_I-\lambda_{Te})\left(\lambda^1_{\text{эфф}}-\lambda_{Te}\right)} + \frac{\Sigma_f\Phi_0(\xi_{Te}+\xi_I-\xi_{Xe})e^{-\lambda^1_{\text{эфф}}t}}{\lambda^0_{\text{эфф}}}$$

***Литература***

1 Казанский Ю. А., Слекеничс Я. В. Кинетика ядерных реакторов. Коэффициенты реактивности. Введение в динамику: учеб. пособие для студ. вузов. М.: НИЯУ МИФИ. 2012.

# РАСЧЁТНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ РАДИОНУКЛИДА Lu-177 НА ВОДО-ВОДЯНОМ ЯДЕРНОМ РЕАКТОРЕ БАССЕЙНОВОГО ТИПА

*А.Р. Баранчикова[1], Д.А. Пахолик[2], О.Ю. Кочнов[2]*
*[1] – Обнинский институт атомной энергетики – филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», г. Обнинск, Россия*
*[2] – АО «НИФХИ им. Л.Я. Карпова», г. Обнинск, Россия*

На протяжении длительного времени перед учеными и медицинскими работниками стоит задача изучения и поиска новых лекарств для лечения онкологических заболеваний. Одно из перспективных направлений – β-излучающие радионуклиды для терапии рака. Среди них интерес вызывает $^{177}$Lu. Он характеризуется хорошим набором ядерно-физических характеристик: подходящий период полураспада ($T_{1/2}$=6,71 сут), достаточно хорошая максимальная энергия β-частиц ($E_{макс}$=0,497 МэВ), пригодное для получения изображения сопутствующее γ-излучение [$E_\gamma$ =113 кэВ (6,4 %) и 208 кэВ (11 %)] [1].

$^{177}$Lu хорошо зарекомендовал себя в лечении рака щитовидной железы, нейроэндокринных опухолей, некоторых опухолей мозга и рака предстательной железы. Так как при распаде он одновременно испускает $\beta$ −частицы и $\gamma$ −кванты, $^{177}$Lu может одновременно выполнять функцию лекарства в терапии и инструмента для диагностики, определяющего местоположение злокачественных опухолей и оценивающего эффективность проводимого лечения.

$^{177}$Lu можно получить за счет нейтронной активации $^{176}$Lu или $^{176}$Yb (реакция (n, $\gamma$)):

$$^{176}_{71}Lu + n \rightarrow {}^{177}_{71}Lu + \gamma$$
$$^{176}_{71}Yb(n,\gamma)^{177}_{71}Yb \rightarrow {}^{177}_{71}Lu$$

В Обнинске ведется строительство крупнейшего завода по производству радиофармацевтических препаратов. Этот завод ориентирован на производство более двадцати различных препаратов для диагностики и лечения онкологических заболева-

ний, включая препараты на основе лютеция-177. В настоящее время в России $^{177}$Lu производят на двух исследовательских реакторах. Один из них находится в АО «ИРМ» в г. Заречный Свердловской области, а второй — в АО «ГНЦ НИИАР» в г. Димитровграде Ульяновской области. В условиях постоянно увеличивающегося спроса на радиоактивный лютеций-177 и в свете строительства завода по производству РФП на территории АО «НИФХИ им. Л.Я. Карпова» возникает необходимость изучения возможности получения радионуклида $^{177}$Lu на базе реактора ВВР-ц, что подчеркивает важность темы исследования.

В рамках расчётного исследования проводилось моделирование облучения мишени иттербия-176 нейтронами в экспериментальном канале водоохлаждаемого ядерного реактора бассейного типа. В расчётах использовался программный комплекс SERPENT [2], в рамках которого применяется метод Монте-Карло. Проведённые расчётные исследования подтвердили возможность получения изотопа лютеция-177 в экспериментальном канале реактора путём облучения мишени из иттербия-176.

***Литература***

1 Болдырев П.П., Загрядский В.А., Ерак Д.Ю. и др. Получение радионуклида $^{177}$Lu на исследовательском реакторе ИР-8 // Атомная энергия. 2016. Т. 121 (3). С. 161-164.

2 Каражелевская Ю.Е., Колесов В.В., Терехова А.М. Использование программного комплекса SERPENT для проведения нейтронно-физического расчета реакторов. Учебное пособие по курсу «Физический расчет ядерных реакторов». – Обнинск: ИАТЭ НИЯУ МИФИ, 2016. – 64 с.

# АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ВНЕШНИХ УСЛОВИЙ НА ПРОЦЕССЫ ФАЗОВОГО ПЕРЕХОДА В НАТРИЕВОМ ОБОРУДОВАНИИ АТОМНЫХ СТАНЦИЙ

*И.А. Бессонов, А.Д. Лезов, П.А. Ревякина, Д.И. Завадский, О.Л. Ташлыков.*
*Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия*

С каждым годом компьютерное моделирование приобретает все большее значение в исследованиях процессов, протекающих в оборудовании атомных станций (АС) [1, 2].

В работе представлен анализ компьютерной модели натриевого оборудования и процессов, протекающих в натрии, в том числе фазового перехода, с учетом влияния внешних факторов, и сравнение результатов с экспериментальными данными. В качестве инструмента моделирования фазового перехода выбран вычислительный пакет COMSOL. Multiphysics [3].

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

На предварительном этапе построения модели были определены геометрические характеристики оборудования, экспериментально определена зависимость изменения температуры элементов оборудования от времени после начала расхолаживания. Измерения были проведены в период осенней ремонтной кампании 2023 года.

Для упрощения расчета были исключены тонкостенные металлические элементы трубопровода (стенка трубопровода и металлическая облицовка теплоизоляции), поскольку, как показали оценочные расчеты, перепад температур по толщине металлопокрытия составляет 0,004 $^{o}$C; стенки трубопровода – 0,02 $^{o}$C.

Так как исследуемые элементы оборудования находятся в реальных условиях, на них влияют внешние факторы: температура стен помещения, трубопроводов и дренажей, расположенных рядом с рассматриваемым участком и т.д. На первом этапе мо-

делирования в качестве определяющего фактора была выбрана температура окружающей среды, а расположенные рядом дренажи от других секций исключены. Сравнительный анализ результатов показал, что значения температуры на поверхности теплоизоляции, полученные экспериментальным путем, и полученные при моделировании в вычислительном пакете, имеют отличие менее 5%.

В результате моделирования получена модель, описывающая процессы, протекающие в натриевом оборудовании с учетом зависимости от температуры окружающей среды. Полученные результаты будут использованы для планирования работ с целью снижения продолжительности ремонта, в частности времени на расхолаживание натриевого оборудования второго контура [4].

***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 Ташлыков О.Л., Бессонов И.А., Лезов А.Д., Чалпанов С.В., Смыков М.С., Скворцов Г.И., Климова В.А. Расчетно-экспериментальные исследования гидродинамических условий работы фильтров-контейнеров для ионоселективной очистки // Известия вузов. Ядерная энергетика. – 2022. – №2. – С.62-72.

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

4 Ташлыков О.Л. Ремонт оборудования атомных станций: – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та. – 2018. – 352 с.

# ВАЛИДАЦИЯ МОДЕЛИ АКТИВНОЙ ЗОНЫ РЕАКТОРА ТИПА PWR В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ SERPENT

*М.З. Буркеев, Р.А. Внуков*
*Обнинский институт атомной энергетики – филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», г. Обнинск, Россия*

На основании статьи MIT BEAVERS [1] была проведена валидация трёхмерной модели активной зоны теплового реактора типа PWR в программном комплексе Serpent. Валидация проходит путём сравнения результатов расчёта в ПК Serpent [2] с данными, предоставленными в спецификации MIT BEAVERS. Отслеживались параметры энерговыделения по высоте активной зоны в 58 топливных сборках и сравнивались с данными, представленными в статье MIT BEAVERS.

Цель работы заключается в валидации представленной модели для последующей работы с моделью сегмента активной зоны.

Расчёты проводились в ПК Serpent, позволяющем методом Монте-Карло производить оценку критичности моделей.

В работе представлена трёхмерная модель активной зоны Westinghouse PWR мощностью 1000 МВт (рис. 1). Помимо активной зоны были смоделированы: выгородка, отражатели нейтронов, корпус реактора. Топливо имеет три уровня обогащения: 1.6%, 2.4%, 3.1%. Высота активной зоны 365,76 см.

В активной зоне данной модели расположены 58 ТВС, содержащих детекторы. Детекторы вставляются в измерительный канал и измеряют энерговыделение по всей высоте активной зоны.

Трехмерная модель активной зоны построена в программном комплексе Serpent, в расчёте были задействованы библиотеки jeff-3.1.1 и jeff-3.3.

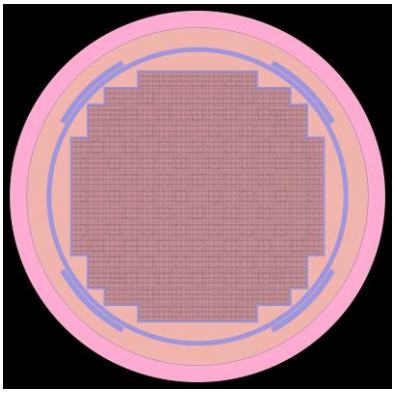


Рис. 1. Активная зона реактора типа PWR, вид сверху

Результаты расчёта энерговыделения схожи с результатами статьи MIT BEAVERS в пределах погрешности.

По итогу проведённой работы можно сделать вывод, что модель, сделанная в программном комплексе Serpent, валидна. Её можно использовать в дальнейших исследовательских работах.

***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., 2013. Sun Valley, Idaho

2 Leppänen J., Isotalo A. Burnup calculation methodology in the Serpent 2 Monte Carlo code. In proc. PHYSOR, 2012.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ШАГОВ ВЫГОРАНИЯ ТОПЛИВА В РЕКАТОРЕ РИТМ-200

*Н.К. Веретельник., Р.А. Внуков*
*Обнинский институт атомной энергетики – филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», г. Обнинск, Россия*

Атомные станции малой мощности – тренд на текущий момент в атомной энергетике. Причем интерес к подобным проек-

там существует по всему миру [1]. В России среди ряда проектов можно выделить РИТМ-200, в частности, по причине его успешной реализации.

Актуальна задача определения состава топлива, загружаемого в активную зону реактора РИТМ-200. Возможны альтернативное использование реактора (наработка нуклидов) в условиях, отдаленных от логистических узлов снабжения и использование уже переработанного ядерного топлива. Размещение реактора РИТМ-200 недалеко от захоронений ядерного топлива, ранее считавшегося непригодным для выработки электроэнергии, может считаться альтернативой ПО «Маяк».

Среди описанного круга задач в исследовании планируется рассмотреть возможность наработки нуклидов, а также особенности эксплуатации отработанного ядерного топлива (ОЯТ).

Модель ТВС и реактора РИТМ-200 [2-3] создана в ПК Serpent [4] использованием библиотечных данных Jeff-3.1.1.

В исследовании использования ОЯТ исходное топливо заменяется на альтернативное, в котором варьируется доля Np/Am. Рассматривается использование оксидного топлива. Диапазон долей NpO2 и AmO2 0-10%, поскольку более существенное увеличение данных материалов в составе потребует уточнений в расчетах теплофизики, поскольку теплопроводность Np и Am значительно ниже U [5].

***Литература***

1 АСММ: новый тренд в атомной энергетике // Информацион-ный бюллетень Госкорпорации «Росатом» [Электронный ресурс] Режим доступа: https://rosatomnewsletter.com/ru/2023/03/02/small-modular-reactor-new-nuclear-trend/ (дата обращения 10.03.2024).

2 Захарычев А.А., Иксанова Г.Ш., Куприянов А.В. и др. Методические вопросы и некоторые результаты экспериментальных и расчетных исследований критических тепловых потоков в ТВС реактора РИТМ-200 для АСММ // Атомная энергия. 2021. Т. 130, вып. 2. С. 63-68.

3 Петрунин В.В., Фадеев Ю.П., Пахомов А.Н. и др. Обликовый проект АСММ с реакторной установкой РИТМ-200 // Атомная энергия. 2018. Т. 125, вып. 6. С. 323-327.

4 Leppänen J. Serpent – a Continuous-energy Monte Carlo Reactor Physics Burnup Calculation Code. User manual, 2015.

5 Lide D.R. (ed), CRC Handbook of Chemistry and Physics, 84th Edition. CRC Press. Boca Raton, Florida, 2003.

## ОСОБЕННОСТИ ОЦЕНКИ НЕЙТРОННО-ФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРИ РАСЧЕТЕ МОДЕЛЕЙ ТВС И АКТИВНЫХ ЗОН

*Р.А. Внуков, Е.И. Фирсов, В.О. Скулкин, Э.А. Гердт*
*Обнинский институт атомной энергетики – филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», г. Обнинск, Россия*

В задачах с изменением геометрии либо материалов в зоне (модели ячейки, ТВС, активной зоны) рассматривается ряд нейтронно-физических характеристик, помимо размножающих свойств: доля запаздывающих нейтронов, неравномерность энерговыделения, эффекты реактивности, эффективность органов СУЗ и другие. Сравнивая показатели, делается вывод о преимуществах либо недостатках того или иного изменения. Как правило, расчеты проводятся на моделях ячеек и ТВС, которые находятся в собственном спектре (при задании граничных условиях отражения либо трансляции). При переходе на модели активных зон потенциальные эффекты, полученные на предыдущей итерации, могут быть не согласованы.

Актуален вопрос и подбора данных при моделировании активных зон. Например, для задания активной зоны ВВЭР-1200 есть ограниченный ряд данных по стартовой [1] и стационарной загрузках [2], при этом составы стационарной загрузки в открытом доступе.

Существует несколько подходов по получению приближенных к реальным данных для активных зон. Наиболее про-

стой вариант – выгорание ТВС в собственном спектре и моделирование стационарной загрузки из данных ТВС (свежих и частично выгоревших). Для компенсации эффектов, связанных с выгоранием ТВС в собственном спектре необходимо рассчитать несколько микрокампаний в реакторном спектре стационарных загрузок. Результаты показали, что через 2 микрокампании стационарной загрузки размножающие свойства модели активной зоны перестают меняться (значения 3-ей итерации имеют отклонения Кэфф не более 0.02%, что меньше статистической погрешности).

***Литература***

1 Hafez N.H., Shahbunder H., Amin E. et al. The effect of burnable absorbers on neutronic parameters of VVER1200 reactor // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2020. V. 956. DOI: 10.1088/1757-899X/956/1/012007.

2 Хашламун Таха Мохд Рабах Солейман. Оптимизация параметров удлиненных топливных загрузок для реакторов ВВЭР-1000(1200) с целью минимизации эксплуатационных затрат на АЭС: автореферат дис. ... кандидата технических наук: 05.14.03 / Хашламун Таха Мохд Рабах Солейман; [Место защиты: Нац. исслед. ядерный ун-т]. - Москва, 2018. - 23 с.

## ЧАСТНЫЕ СЛУЧАИ РЕШЕНИЯ УРАВНЕНИЯ ТОЧЕЧНОЙ КИНЕТИКИ В ПРИБЛИЖЕНИИ ШЕСТИ ГРУПП ЗАПАЗДЫВАЮЩИХ НЕЙТРОНОВ В WOLFRAM MATHEMATICA

*А.В. Воробьев, Е.А. Баканова, А.М. Терехова*
*Обнинский институт атомной энергетики – филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», г. Обнинск, Россия*

Целью работы является исследование поведения мощности ядерного реактора в приближении одной группы запаздывающих нейтронов без учета обратных связей в WOLFRAM MATHEMATICA.

Уравнение точечной кинетики описывает поведение точечного реактора без учета образных связей [1]:

$\frac{dn(t)}{dt} = \frac{\rho(t)-\beta}{\Lambda} n(t) + \sum_{i=1}^{6} \lambda_i c_i(t),$

$\frac{dc_i(t)}{dt} = \frac{\beta_i}{\Lambda} n(t) - \lambda_i c_i(t),$ где $i$ = 1,..,6.

Для упрощения расчеты проводились для параметров реактора типа ВВЭР (обогащения урана по изотопу урана -235 -4%).

Для упрощения расчетов использовались упрощения: реактивность вводится мгновенно.

Входные параметры взяты из работы [2].

Уравнения кинетики решались аналитически, используя преобразования Лапласа.

***Литература***

1 Казанский Ю. А., Слекеничс Я. В. Кинетика ядерных реакторов. Коэффициенты реактивности. Введение в динамику: учеб. пособие для студ. вузов // М.: НИЯУ МИФИ. – 2012.

2 Розова А. С., Воробьев А. В., Терехова А. М. Многогрупповой и одногрупповой подходы при определении реактивности // Современные проблемы физики и технологий: Сборник тезисов докладов X Международной молодежной научной школы-конференции, Москва, 25-27 апреля 2023 года. – М.: НИЯУ МИФИ, 2023.

## ОСОБЕННОСТИ БОРНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ТВС СО СПЕКТРАЛЬНЫМ РЕГУЛИРОВАНИЕМ

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

В настоящей работе сравнивались две модели ТВС ВВЭР с бесконечной геометрией и разным способом размещения вытеснителей. Обогащение топлива и состав теплоносителя приняты одинаковыми для удобства сравнения. Первая модель сделана

на основе решетки ВВЭР-1200 с внесением некоторых изменений в конструкцию: все направляющие и измерительный канал были убраны, в межтвэльное пространство помещены стержни-вытеснители из циркония. Радиус вытеснителей варьировался в диапазоне 0-2.5 мм (рис 1, слева) [1]. Геометрия второй модели повторяет один из возможных вариантов конструкции ТВС ВВЭР-С с вытеснителями: направляющих каналов 19, твэлов – 264 (рис. 1, справа).

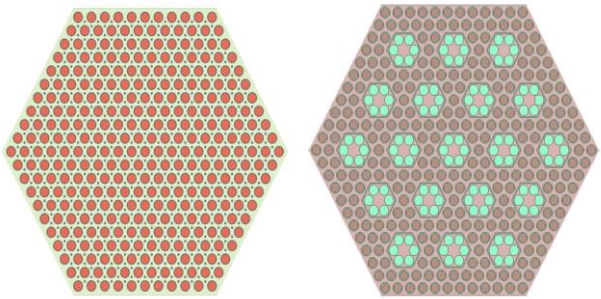


Рис. 1. Поперечный срез моделей

На основе моделей был оценен вклад в продление топливной кампании с реализацией следующего метода спектрального регулирования: в начале кампании все вытеснители погружены в зону, далее они извлекаются дискретно с уменьшением концентрации борной кислоты в теплоносителе до 0 г/кг (рис. 2).

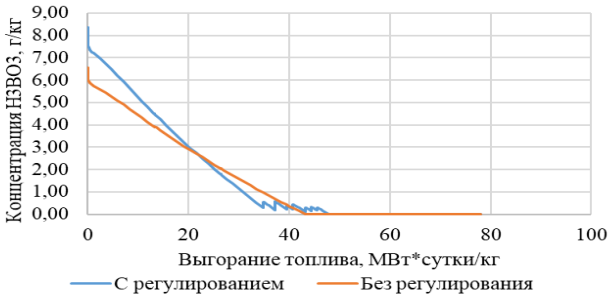



Рис. 2. Изменение концентрации борной кислоты

В результате обе модели показали возможность продления кампании, однако реализация конструкции первой модели неосуществима из-за отсутствия пространства для дистанционирующей решетки.

## ОСОБЕННОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДОЛИ ЗАПАЗДЫВАЮЩИХ НЕЙТРОНОВ В ЖИДКОСОЛЕВОМ ГОМОГЕННОМ РЕАКТОРЕ

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

Вследствие повышения интереса к жидкосолевым ректорам в последние годы возникает потребность в расчётах нейтронно-физических свойств реактора. Внимание в данном типе реакторов необходимо обращать на расчёт количества запаздывающих нейтронов, ведь их выведение из активной зоны снижает эффективную долю запаздывающих нейтронов [1-2].

Целью настоящей работы является исследование возможности расчёта количества запаздывающих нейтронов в гомогенном жидкосолевом ректоре. Анализируются особенности данной задачи. Проводится обзор существующих методов и программных средств для решения рассматриваемой проблемы. Предложен подход к решению данной задачи, основанный на использовании программы Serpent, а также взаимодействующего с ней кода на языке C++.

В модели гомогенная зона состоит из 10 объемных зон и 11 материалов, которые размещаются аксиально друг за другом (11-ый материал в начальный момент не загружен в зону: рисунок 1). Осуществляется расчет выгорания с шагом в 30 секунд. После каждого шага материалы перемещаются по объемным зонам вверх (1-ый материал занимает 2-ю объемную зону, 2-ой материал – 3-ю, …, 10-ый материал не загружен в зону, а 11-ый загружен в 1-ую). Запускается новый расчет, процесс итерационный. В результате моделируется течение топлива по активной

зоне. В результате можно получить скорректированные значения доли запаздывающих нейтронов с учетом наличия части топлива вне активной зоны.

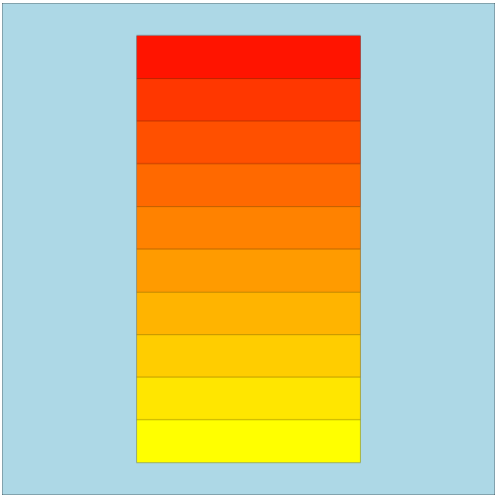


Рис.1. Схема размещения материалов в реакторе

Особенность ПК Serpent заключается в необходимости задать объемную зону материалу, находящемуся вне активной зоны, пока он не занимает объемную зону, он в расчетах не учитывается. С другой стороны, зная постоянные распада и составы материала вне активной зоны можно рассчитать изменение нейтронного поля в рамках задачи по нуклидной кинетике.

***Литература***

1 Блинкин В.Л., Новиков В.Н. Жидкосолевые ядерные реакторы. Атомиздат, 1978. - С. 111.

2 Алексеев П.Н. и др. Каскадный подкритический жидкосолевой реактор как элемент топливного цикла // Атомная энергия. – 1993. – Т.79 - №4. – С. 243-252.

# ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ЛОКАЛЬНЫХ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ СПЕКТРА В РЕАКТОРЕ ВВЭР-С С УЧЕТОМ ВЫГОРАНИЯ

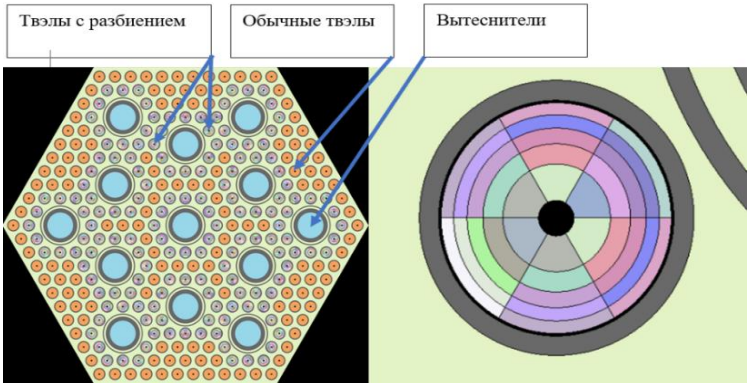
*Н.А. Закиров[1], Я.А. Котов[2]*
*[1] – Обнинский институт атомной энергетики – филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», г. Обнинск, Россия*
*[2] – НИЦ «Курчатовский институт», г. Москва, Россия*

Водо-водяные реакторы стоят в основе мировой атомной энергетики. Существует способ повышения эффективности работы реактора посредством внедрения спектрального регулирования, который позволит устранить существующие проблемы, связанные с пониженным топливо использованием, путем полной загрузки МОХ-топлива в активную зону, продлением топливной компании и также позволяющее отказаться от борного регулирования в ядерно-энергетической установке [1].

Целью работы является рассмотрение эффектов, влияющих на работоспособность установки. Их возникновение связанно с наличием прозрачных для нейтронов вытеснителей в активной зоне. Изменение спектра механическим способом, введение и извлечение стержня в специальном направляющем канале, вызовет азимутальные неоднородности в твэлах, расположенных вблизи.

Для рассмотрения этих эффектов была смоделирована кассета ТВС ВВЭР-С (рис. 1а). Расчет проводился в программном комплексе, реализующем метод Монте-Карло, с радиальным и азимутальным разбиением твэл вблизи канала вытеснителя (рис. 1б) [3].

Оценка проводилась для следующих нейтронно-физических характеристик: жесткость спектра, скорости реакций, так же был проанализирована нуклидная динамика.




а) б)

Рис. 1 - ТВС ВВЭР-С (а) и твэл с выделенными зонами по радиусу и азимуту (б)

Данные явления важны с точки зрения методик расчета ВВЭР-С, а возникающие эффекты имеют большое влияние на работоспособность ТВС реакторной установки ВВЭР.

***Литература***

1 Новостной сайт: сайт // Сайт Отраслевое издание госкорпорации «Росатом [Электронный ресурс] Режим доступа: https://strana-rosatom.ru/2019/06/05/vladimir-piminov-reaktor (дата обращения: 24.03.2024).

2 Leppänen J. Serpent – a Continuous-energy Monte Carlo Reactor Physics Burnup Calculation Code. User manual. – Helsinki: VTT Technical Research Centre of Finland, 2015.

## ОБЗОР МИКРОРЕАКТОРОВ

*В.П. Земляных, Д.А. Базин*
*ФГБОУ ВО «Казанский Государственный Энергетический Университет», г. Казань, Россия*

Микрореакторы представляют собой микрофлюидные устройства с размерами активной зоны в субмиллиметровом

диапазоне, т.е. ширина-высота – диаметр-длина, находятся в диапазоне 10-1000 мкм. Как правило, микрореакторы, также известные как микроструктурированные реакторы, имеют отличия от традиционных реакторов и изготавливаются разными методами с использованием кремниевых, стеклянных или металлических материалов. Они предназначены для обработки веществ объемом от микролитров до нанолитров [1].

Микрореакторы обладают следующими особенностями [2]:

– отличаются большой величиной отношения поверхности к объему (удельной поверхностью),

– короткими временами контакта и малым перепадом давления,

– высокой эффективностью теплообмена,

– возможностью пренебречь массообменом,

– процессы в слое катализатора протекают изотермически.

Микрореакторы обеспечивают быстрое смешивание, равномерное нагревание и высокое давление, что значительно сокращает время проведения реакции. Например, исследования показывают, что получение амидов в микрореакторе занимает всего две минуты, в то время как при использовании традиционных методов этот процесс занимает от 4 до 16 часов [1].

Благодаря этим преимуществам, размер реактора можно уменьшить в 5-10 раз, а количество используемого катализатора сократить в 1000 раз по сравнению с традиционными химическими реакторами [2].

Микрореакторы обладают большим потенциалом в области химических процессов благодаря своей компактности и эффективности. Использование нанотехнологий позволяет создавать оптимальные структурные и размерные характеристики катализаторов для улучшения производительности микрореакторов [1].

Среди проблем микрореакторов можно выделить низкую теплопроводность катализатора, что мешает эффективному переносу или подведению тепла к месту реакции, а также неэффективное использование тепла. Преимущества использования микрореакторов приводят к существенному увеличению их производительности, а в определенных случаях – к повышению

выборочности проходящих в них реакций. Эти преимущества особенно заметны при проведении быстрых реакций с небольшим временем контакта и высокими тепловыми эффектами, например, в процессе полного или частичного окисления углеводородов [2].

Микрореакторы становятся многообещающим решением для малой атомной энергетики, сочетающим в себе высокую эффективность, низкую стоимость и меньший риск по сравнению с традиционными атомными электростанциями [3]. Благодаря модульным и масштабируемым конфигурациям микрореакторы идеально подходят для удовлетворения энергетических потребностей удаленных мест, таких как острова, горнодобывающие предприятия и военные базы, а также для поддержки критически важных инфраструктурных систем, больниц и основных служб.

***Литература***

1 Долуда В.Ю., Быков А.В., Григорьев М.Е. Химические реакторы: учебное пособие. Тверь: ТвГТУ, 2019. 160 с.

2 Де В.А., Рощин В.И. Оборудование предприятий по производству лесохимических продуктов и биологически активных веществ. Теория выбора реакционных аппаратов. Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2017. 100 с.

3 Talabi S., Bilbao y Leon S., Wang J. Nuclear Power Reactor Designs. 2023. – Chapter 15. Microreactors

## МОДЕЛИРОВАНИЕ УСЛОВИЙ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО ИСПЫТАНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ ПРОЧНОСТИ ОБОРУДОВАНИЯ АЭС

*Д.В. Иванов, А.С. Зевякин, И.А. Ахцигер, В.В. Ахцигер*
*Обнинский институт атомной энергетики – филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», г. Обнинск, Россия*

При проектировании оборудования АЭС предварительно проводятся расчеты на прочность с помощью поверочного рас-

чета на статическую прочность для определения напряжений при всех значениях нагрузок и температур в регламентированных проектом режимах работы установки и сопоставления полученных значений с допускаемыми, определенными по предельным состояниям [1].

В связи с чем целью данной работы является проведение поверочного расчета с использованием программного комплекса ANSYS и нормативной документации [2].

Для проведения качественных и правильных расчетов в работе использовался метод конечных элементов (МКЭ) в программном комплексе ANSYS.

В качестве примера для расчета был выбран водоструйный насос, который является элементом системы аварийного и планового расхолаживания АЭС.

С помощью МКЭ была построена сетка для проведения расчета на прочность в режиме работы в условиях гидравлического испытания оборудования (Ги).

Номинальное допускаемое напряжение для элементов оборудования, нагруженных давлением, принимают минимальным из следующих значений:

$$(\sigma) = \min\left(\frac{R_M^T}{n_m}, \frac{R_{p0,2}^T}{n_{0,2}}\right); \quad (1)$$

Полученные результаты представлены на рис. 1:

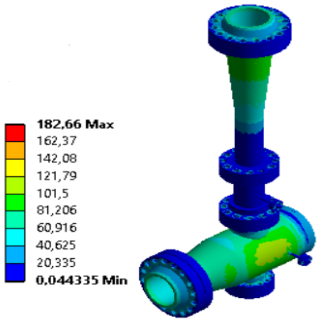



Рис. 1. Распределение напряжений на корпусе водоструйного насоса в режиме ГИ в ПК «ANSYS»

На основании аналитического расчета для нахождения допускаемых напряжений:

$$(\sigma) = \frac{R_M^T}{n_m} = \frac{436}{2{,}6} = 167{,}7 \text{ МПа}, \quad (2)$$

$$\frac{R_{p0,2}^T}{n_{0,2}} = \frac{186}{1{,}5} = 124 \text{ МПа}, \quad (3)$$

$$(\sigma)_2 = 1{,}7 * (\sigma) = 285 \text{ МПа}, \quad (4)$$

$$182{,}66 \text{ МПа} < 285 \text{ МПа}, \quad (5)$$

и сравнения этого расчета с полученными результатами в ПК Ansys (5), можно сделать вывод, что построенная модель водоструйного насоса не превышает допускаемые напряжения в режиме работы в условиях гидравлического испытания оборудования.

***Литература***

1 Зенкевич О.С. Метод конечных элементов в технике. – М.: Издательство «Мир», 1975. – 541 с.

2 Нормы расчета на прочность оборудования и трубопроводов Атомных энергетических установок: ПНАЭ Г-7-002-86. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 524 с.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ОБЛАГОРАЖИВАНИЯ ПЛУТОНИЯ РАЗЛИЧНОГО КАЧЕСТВА ПОСРЕДСТВОМ ОДНОКРАТНОГО РЕЦИКЛА В РЕАКТОРЕ ТИПА БН-1200

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

Все более актуальной становится проблема истощения природных запасов урана, а также увеличение стоимости урана. В связи с этим, в ближайшей перспективе все более целесообразным становится переход к замкнутому топливному циклу. Замкнутый топливный цикл может быть реализован, как только посредством быстрых реакторов средней и большой мощности,

так и в рамках двухкомпонентного цикла, на базе тепловых и быстрых реакторов. Учитывая, освоенность и распространенность технологий легководных реакторов в промышленных масштабах, по крайней мере промежуточным этапом перехода к замкнутому топливному циклу будет двухкомпонентная ядерная энергетика [1]. Таким образом, все более актуальным аспектом при переходе к двухкомпонентному топливному циклу, становится вопрос эффективности облагораживания плутония [2-4].

В основе двухкомпонентного топливного цикла лежат спектральные эффекты облагораживания плутония. Облагораживание плутония – улучшение качества плутония, а также увеличение его количества. В работе рассматривались плутонии различного качества и их эффективность облагораживания посредством однократного рецикла в реакторе типа БН-1200 [5].

На основе полученных данных, были сделаны выводы об эффективности облагораживания плутониев различного качества и как следствие, о целесообразности облагораживания различных видов плутония. Также были сделаны оценки об увеличение ценности плутония относительно теплового спектра, после однократного облагораживания.

***Литература***

1 Пономарев-Степной Н.Н. Двухкомпонентная ядерная энергетическая система с замкнутым ядерным топливным циклом на основе БН и ВВЭР // Атомная энергия. – 2016. – Т. 120. – №. 4. – С. 183-190.

2 Ковалёв Н.В., Прокошин А.М., Кудинов А.С., Невиница В.А. Использование плутония из отработавшего смешанного топлива РЕМИКС в реакторе БН-1200 // Известия вузов. Ядерная энергетика. – 2023. – № 1. – С. 70-81. DOI: https://doi.org/10.26583/npe.2023.1.06

3 Клинов Д.А. и др. Возможность облагораживания плутония в БН-800 // Вопросы атомной науки и техники. Серия: Ядерно-реакторные константы. – 2020. – №. 2. – С. 15-21.

4 Косякин Д.А., Стогов В.Ю., Коробейников В.В. Исследование изменения нуклидного состава плутония при многократном рециклировании мокс-топлива в двухкомпонентной системе

ядерной энергетики. – Физика. Технологии. Инновации. Тезисы докладов (ФТИ-2021), 2021. – С. 95-97.

5 Исанов К.А., Колесов В.В., Кушнир Н.О. Однокомпонентный замкнутый топливный цикл реактора типа ВВЭР-1200 на энергетическом плутонии из ОЯТ. – Будущее атомной энергетики–AtomFuture 2023: Тезисы, 2023. – С. 36.

## ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМА РАБОТЫ СРЕДНЕТЕМПЕРАТУРНОГО ЭЛЕКТРОЛИЗЕРА

*Е.В. Кропочев, В.Н. Брендаков*
*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*

Тенденция к увеличению мирового спроса на фтор связана с экономическим ростом, потреблением энергии и обусловлена развитием различных отраслей промышленности. Фтор является одним из важных агентов и широко применяется в современной химической и ядерной технологии [1].

Промышленное получение фтора в электролизере – физически энергоемкий и дорогостоящий процесс, который представляет собой сложную электро-гидро-тепло-химическую реакцию. Фтор получают электролизом расплава дигидрофторида калия, который образуется при насыщении расплава KF·2HF фтороводородом до содержания 37,5-40,06% мас. HF.

Электролизеры на суммарную силу тока 10 кА и 20 кА представляют собой ванны ящичного типа с вертикальными плоскопараллельными электродами, а также включают угольные аноды, жалюзийные катоды, газоразделительный колокол.

В связи с увеличением спроса на фтор остро стоит вопрос о совершенствовании технологии и оборудования, а также о снижении себестоимости. Важной задачей является повышение срока службы коксовых пластин, а также колокола электролизера, что позволит увеличить выход фтора по току.

Из экспериментальных данных известно, что при плотности тока на анодах 0,2 А/см$^2$ с увеличением содержания HF в электролите от 37,3 до 40 % мас. в интервале температуры электро-

лита 94–120 °С выход фтора по току может варьироваться в пределах от 86 до 99 %. При увеличении содержания фтороводорода в электролите до 45 % мас. происходит значительное уменьшение рабочего напряжения и температуры электролита, при этом предъявляются более строгие требования к коррозионной стойкости конструкционных материалов [2].

В связи с этим, в условиях недоступности экспериментальных данных, растет спрос на разработку новых математических моделей в области совершенствования конструкции и технологии электролизеров, позволяющих решать задачи при прогнозировании и управлении технологическим процессом.

Предложена математическая модель процесса электролиза, которая описывается системой дифференциальных уравнений второго порядка в частных производных. Для моделирования двухфазного течения расплава трифторида калия с выделяющимися в процессе электролиза пузырьками фтора и водорода была использована алгебраическая модель проскальзывания [3].

Созданная математическая модель решается численно методом установления, на основе конечно-разностных аналогов, с использованием метода прогонки.

Проведенные численные исследования показали, что при производстве фтора электролизным методом наибольшее влияние на эффективность процесса оказывает плотность тока на аноде. На рост количества производимого фтора с одной стороны влияет повышение плотности тока, с другой стороны, это ведет к повышению температуры электролита и сопровождается разогревом и прогаром элементов конструкции аппарата, что отрицательно влияет на стабильность работы электролизера.

Предложенная физико-математическая модель и проведенные исследования позволяют определить влияние на эффективность производства различных факторов: свойств материалов, геометрических параметров, различных конструктивных решений с целью прогнозирования процесса фторного электролиза и перейти к динамической оптимизации, то есть к автоматическому поддержанию процесса в оптимальном режиме.

***Литература***

1 Беляев В.М. Исследование процесса получения фтора электролизом системы KF-HF в электролизерах с принудительной циркуляцией электролита: дисс. канд. техн. наук; ТПУ. – Томск, 1974. – 190 с.

2 Зусайлов Ю.Н. Контроль качества продукции в производствах угольных анодов, фтора и гексафторида урана. – Ангарск: Ангарский государственный технический университет, 2017. – 267 с.

3 Manninen M., Tavassalo V. On the mixture models for multiphase flow. VTT Publications 288. – Finland, 1996.

## ВЛИЯНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МАЛЫХ КОМПОНЕНТОВ ПРИРОДНОГО ГАЗА НА КАТАЛИТИЧЕСКУЮ АКТИВНОСТЬ И СТАБИЛЬНОСТЬ ВМЕСТО МЕТАНА КАК ОДНОГО КОМПОНЕНТА

*Н.А. Мезаал, А.А. Калютик, К.А. Али, Б.Х. Расоол*
*Санкт-петербургский политехнический университет Петра Великого «СПБГПУ», г. Санкт-Петербург, Россия*

Исследования обычно ограничиваются использованием метана в качестве одного компонента, пренебрегая проблемами, связанными с природным газом. Поэтому первоочередной вопрос, который требует разъяснения, заключается в том, какие незначительные компоненты природного газа могут оказывать влияние на активность и стабильность катализаторов. В случае негативного воздействия потребуется предварительная очистка газа. Природный газ, в зависимости от его происхождения, содержит различные вторичные соединения и их концентрации могут варьироваться. Некоторые из этих примесей включают этан, пропан, этилен, сероводород, диоксид углерода и азот. В табл. 1 представлен состав природного газа [1].

Некоторые эксперименты были проведены смесями, имитирующими состав природного газа (85 % метана, 10 % этана, 5 % пропана) при температуре 900 °С с использованием углеродных

катализаторов [2]. Продукт природного газа состоит из непревращенного метана и водорода, что указывает на полную конверсию этана и пропана и предотвращение образования газообразных побочных продуктов. В сравнении с экспериментами со смесью метана/азота (85/15), концентрация водорода на выходе улучшается при использовании искусственного природного газа за счет дополнительного водорода, образующегося в результате разложения этана и пропана [3]. Одним из важных выводов этого исследования является то, что углеродный продукт этих алканов не инактивирует углеродный катализатор и не оказывает негативного воздействия на пиролиз метана. Устойчивость к дезактивации сероводорода является важным преимуществом углеродных материалов по сравнению с металлическими катализаторами. Металлические катализаторы подвергаются серьезной дезактивации в присутствии соединений серы, и перед реакцией требуется очистка природного газа [4].

Таблица 1

Состав природного газа

| Компонент | Типичный анализ (моль%) | Диапазон (моль%) |
|---|---|---|
| Метан | 87.76 | 70-95 |
| Этан | 5.00 | 1.8-5.1 |
| Пропан | 1.00 | 0.1-1.5 |
| II-Бутан | 0.50 | 0.01-0.50 |
| Водород | Мало | 0 до 0.02 |
| $CO_2$ | 2.85 | 0.1-1 |
| Азот | 1.4 | 1.3-5.6 |
| $H_2S$ | 0.28 | 0.20 до 0.5 |

***Литература***

1 Мезаал Н.А., Калютик А.А., Салман А.С., Абдали Л.М. Сравнение различных технологий производства водорода из природного газа // Интеллектуальные системы в производстве. 2024. Т. 21(4). 2023-4-101-108.

2 Sánchez-Bastardo N., Schlögl R., Ruland H. Methane Pyrolysis for Zero-Emission Hydrogen Production: A Potential Bridge Technology from Fossil Fuels to a Renewable and Sustainable Hydrogen

Economy // Industrial & Engineering Chemistry Research. 2021. V. 60 (32). P. 11855-11881.

3 Pinilla J.L., Suelves I., Lázaro M.J., Moliner R. Influence on hydrogen production of the minor components of natural gas during its decomposition using carbonaceous catalysts // J. Power Sources. 2009. V. 192 (1). P. 100−106.

4 Мезаал Н.А., Калютик А.А., Али К.А., Расоол Б.Х. Паровая Конверсия Метана И Пиролиз Метана С Захоронением И Улавливанием $CO_2$ На Энергетическом Объекте // Международный научно-исследовательский журнал. 2024. №2 (140). С. 1-10.

## ВТОРИЧНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПЛУТОНИЯ И ОТВАЛЬНОГО УРАНА В РЕАКТОРАХ НА БЫСТРЫХ НЕЙТРОНАХ ПРИ ГЕТЕРОГЕННОМ РАЗМЕЩЕНИИ

*В.А. Моренко, Н.О. Сентебов, А.М. Терехова*
*Обнинский институт атомной энергетики – филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», г. Обнинск, Россия*

Обедненный уран является основным побочным продукт обогащения урана и ценным сырьем. Его использование в составе МОХ-топлива в реакторах на быстрых нейтронах позволит существенно расширить ресурсную базу и сократить объемы нуждающегося в особом обращении и хранении на обогатительных комбинатах сырья [1].

Цель работы – сравнить эффективность гетерогенного и гомогенного размещения Pu в МОХ-топливе на примере ТВС БН-600. Гетерогенное размещение Pu в уран-плутониевом топливе дает возможность «удержания» в пределах плутониевой вставки минорных актинидов и четных изотопов плутония.

Для модели твэла с гетерогенным размещением оксидного уран-плутониевого топлива был подобран радиус плутониевой вставки с учетом необходимости равного количества плутония в гомогенном и гетерогенном твэле. Необходимый радиус плутониевой вставки составил 1,23 мм. Расчет проводился с использованием пакета программ UNK [2].

Значение эффективного коэффициента размножения на начало и конец кампании продолжительностью полгода приведены в табл. 1 и на рис. 2.

Таблица 1

Эффективный коэффициент размножения

| Размещение Pu | Начало кампании | Конец кампании |
|---|---|---|
| Гомогенное | 1,198 | 1,134 |
| Гетерогенное | 1,221 | 1,157 |

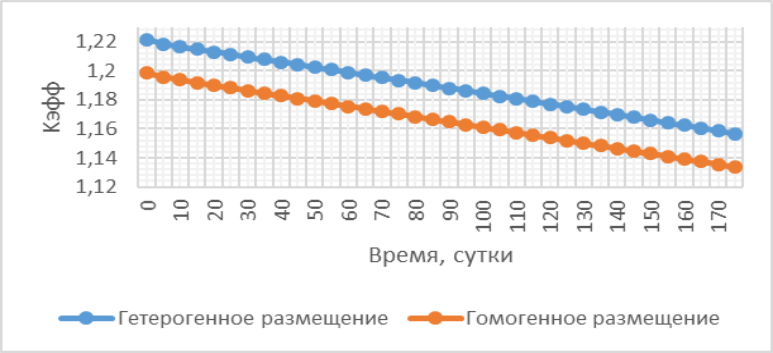



Рис. 1. Зависимость эффективного коэффициента размножения от времени выгорания

В ходе работы было проведено сравнение эффективности использования гомогенного и гетерогенного МОХ-топлива в быстром реакторе. Коэффициент размножение при гетерогенном размещении Pu выше Кэфф на 2% на протяжении всей топливной кампании. Это позволяет увеличить длину топливной кампании.

***Литература***

1 Бойко В.И., Шидловский В.В., Мещеряков И.В. и др. Перспективные ядерные топливные циклы и реакторы нового поколения: учебное пособие – Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2009. – 518 с.

2 Белоусов Н.И., Давыденко В.Д., Цибульский В.Ф. Программа UNK для детального расчёта спектра нейтронов в ячейке ядерного реактора – Препринт. РНЦ «Курчатовский институт» ИАЭ – 6083/4. – М., 1998.

## ТЕСТИРОВАНИЕ ПК “ЛОГОС” ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ЗАДАЧЕ РАСЧЕТА ПЕРЕПАДА ДАВЛЕНИЯ В ЗАДВИЖКЕ

*Д.А.Никитин*
*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Москва, Россия*

Российский программный комплекс “ЛОГОС” позволяет проводить решение задач расчета теплогидравлических параметров энергетического оборудования, в том числе в сложных геометриях. Для более широкого внедрения данного продукта необходима проведение валидации, которая включает в себя не только сравнение с расчетами по другим кодам, а также проверку отклонения от экспериментальных данных.

В работе [1] описан теплогидравлический стенд, разработанный в НИЯУ МИФИ для проведения тестовых экспериментов, сравнение с которыми может стать основой для валидации и верификации программных комплексов. Здесь же представлены результаты сравнения экспериментов с расчетами ряда теплогидравлических характеристик в комплексах STAR-CCM+ и SOLIDWORKS Flow Simulation.

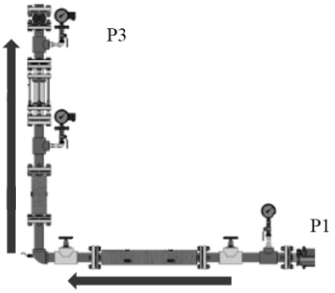



Рис. 1. Схема экспериментального участка

В настоящей работе был проведен расчет в ПП «ЛОГОС» перепада давления в задвижке, расположенной на одном из участков теплогидравлического стенда. Полное описание геометрии и результаты аналогичного расчета в

пакете STAR-CCM+ представлены в работе [2].

Для моделирования была построена сетка методом отсечения, состоящая из 6300000 ячеек. В качестве физической модели была использована несжимаемая жидкость с постоянными свойствами, отсутствие уравнения по энергии и для моделирования турбулентности использовалась модель K-ε. Расчеты были проведены для трех разных массовых расходов воды при температуре 25 °C.

В эксперименте измерялось значение перепада давления между манометрами P1 и P3 (обозначения согласно [1] и рис. 1), а полученные численные значения гидравлического сопровотивления задвижки учитывались в качестве коррекции к инженерной методике определения перепадов давления.

Сравнение результатов моделирования в ПП «ЛОГОС» и STAR-CCM+ с экспериментальным данными представлены на рис. 2. Обнаружено хорошее согласование между расчета в различных CFD пакетах и удовлитворительное согласование с экспериментом.

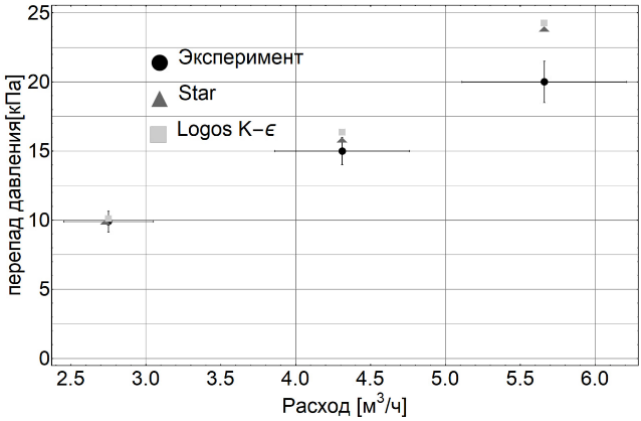



Рис. 2. Сравнение результатов численного моделирования с экспериментом

***Литература***

1 Лауар С., Делов М.И., Литвинцова Ю.Е. и др. Теплогидравлический стенд для разработки новых решений в области использования цифровых двойников объектов атомной энергетики // Ядерная энергетика. – 2020. – № 2. – С. 122-134.

2. Laouar S., Sakib M.N., Muqit Al S. et al. Pressure drop in valve for different open flow areas // Journal of Physics: Conference Series. 2020. V. 1439, no.012009. P. 1-4.

## ИЗМЕНЕНИЕ НУКЛИДНОГО СОСТАВА ТОПЛИВА С КЮРИЕВЫМИ ФРАКЦИЯМИ

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

В работе рассмотрены аналитическое решение дифференциальных уравнений, описывающих изменение изотопного состава кюрия в процессе выгорания в ядерном топливе, в частности в реакторах на тепловых нейтронах [1].

Кюрий может стать нейтронным источником высокой мощности для специальных реакторов. Изотоп $^{244}$Cm является чистым альфа-излучателем. При распаде $^{244}$Cm возможно накопление изотопа $^{245}$Cm, который потенциально можно использовать для создания компактных ядерных реакторов со сверхвысоким энерговыделением. Размножающие свойства изотопа $^{245}$Cm значительно лучше свойств $^{235}$U и $^{239}$Pu.

На рис. 1 показаны цепочки превращения америция, плутония и кюрия.

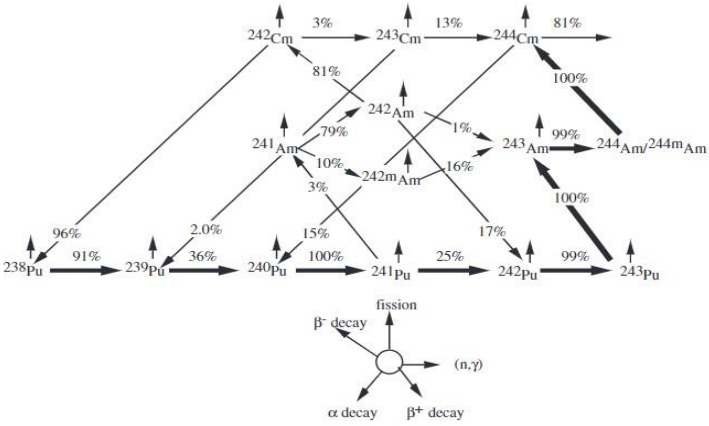



Рис.1.Цепочки превращения минорных актинидов [2]

Изотоп $Am^{241}$ является дочерним ядром при накоплении кюрия. Накопление $Cm^{244}$ и более тяжелых изотопов кюрия происходит по трем путям:

$$Am^{241}(n,\gamma)Am^{242} \xrightarrow{\beta} Cm^{242}(n,\gamma)Cm^{243}(n,\gamma)Cm^{244} \cdots$$

1. $Am^{241}(n,\gamma)Am^{242m}(n,\gamma)Am^{243}(n,\gamma)Am^{244} \xrightarrow{\beta} Cm^{244} \cdots$
2. $Am^{241}(n,\gamma)Am^{242} \xrightarrow{\varepsilon} Pu^{242}(n,\gamma)Pu^{243} \xrightarrow{\beta} Am^{243}(n,\gamma)Am^{244} \xrightarrow{\beta} Cm^{244}$

Изотоп $^{242}$Cm имеет малый период полураспада ~165 суток, и поэтому он не учитывался. Наибольший интерес представляют изотопы $^{243}$Cm и $^{244}$Cm, периоды полураспада которых составляют соответственно 29 и 18 лет.

***Литература***

1 Данилюк Ю.С., Орешенкова Е.К., Терехова А.М. Целесообразность трансмутации изотопов кюрия на тепловых нейтронах. – Будущее атомной энергетики – ATOMFUTURE 2023. Тезисы докладов XIX Международной научно-практической конференции. 2023. – С. 21-22.

2 Sasahara A. et al. Neutron and gamma ray source evaluation of LWR high burn-up UO2 and MOX spent fuels // Journal of Nuclear Science and Technology. – 2004. – V. 41. – №. 4. – P. 448-456.

# ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОГРАММНОГО КОДА OPENMC ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ АКТИВНОЙ ЗОНЫ РЕАКТОРА ВВЭР-1000

*А.И. Патракеева, Н.П. Шлапак*
*Обнинский институт атомной энергетики – филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», г. Обнинск, Россия*

В современных исследованиях в области ядерной энергетики реакторы ВВЭР-1000 имеют ключевое значение для производства электроэнергии. Для улучшения безопасности и оптимизации работы этих реакторов необходимо проводить детальное моделирование и анализ их активных зон.

В данном исследовании используется программный код OpenMC для моделирования активной зоны реактора ВВЭР-1000. OpenMC — это эффективный инструмент, основанный на методе Монте-Карло, который обеспечивает возможность проведения подробного численного моделирования нейтронно-физических процессов в реакторе.

Для проверки применимости расчетного кода OpenMC к нейтронно-физическим расчетам был проведен верификационный расчет одной топливной элементной сборки (ТВС) реактора ВВЭР-1000. Результаты расчетов, полученные с помощью OpenMC, демонстрируют согласованность с аналогичными решениями, полученными при использовании других расчетных кодов. [2].

Целью данной работы является создание модели активной зоны реактора типа ВВЭР-1000, получение нейтронно-физических параметров и сравнение их с результатами, полученными при использовании других расчетных кодов. Для этого был выбран бенчмарк “X2” [1], основанный на эксплуатационных данных, который включает подробное описание топливной элементной сборки, результаты измерений и описание переходных процессов. Геометрия модели представлена на рис. 1.

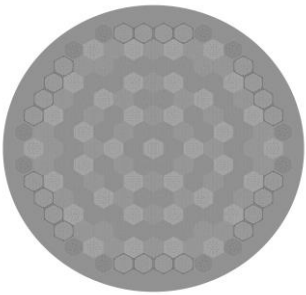


Рис. 1. Активная зона второго блока Хмельницкой АЭС

В ходе работы были смоделированы все типы ТВС, получена геометрия активной зоны реактора ВВЭР-1000. Также, были получены значения эффективного коэффициента размножения нейтронов и температурного эффекта реактивности.

***Литература***

1 Bilodid Y., Fridman E., Lötsch T. X2 VVER-1000 benchmark revision: Fresh HZP core state and the reference Monte Carlo solution, 2020.

2 OECD NEA (2002) A VVER-1000 LEU and MOX Assembly Computational Benchmark, NEA/NSC/DOC(2002)10.

## КРОСС-ВЕРИФИКАЦИЯ МОДЕЛИ SNAP-10A ПРИ РАСЧЕТЕ ВЫГОРАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПК SERPENT

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

В работе [1] проведена верификация кода модели SNAP-10A при расчете нейтронно-физических характеристик без учета выгорания топлива, т.е. рассмотрены были только размножающие свойства, эффективность органов регулирования в начальный момент времени.

В настоящем исследовании приводится продолжение работы с позиции оценки нейтронно-физических характеристик реактора в динамике (с использованием модуля depletion в программном комплексе Serpent [2]).

Оценены распределения плотности потока нейтронов, энерговыделения, зависимость эффективного коэффициента размножения от времени.

Поперечный срез модели представлен на рис.1.

Результаты показали хорошее согласие в распределении плотности потока нейтронов. Энерговыделения показали отличные значения от исходной модели [3] в углах ТВС. Выгорание топлива имеет ту же линейную зависимость, что и в референтной модели.

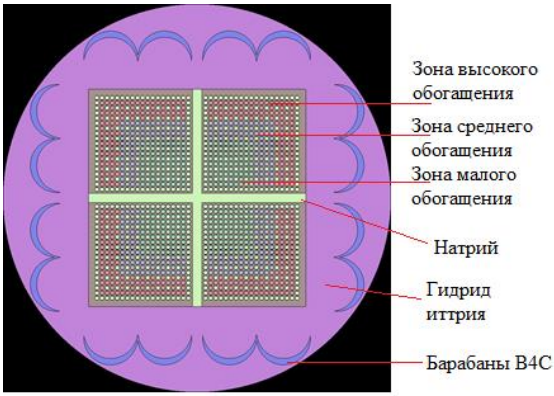



Рис.1. Поперечный срез модели SNAP-10A

***Литература***

1 Шапошникова М.В., Внуков Р.А. Кросс-верификация нейтронно-физических характеристик реактора SNAP-10A. – Будущее атомной энергетики – AtomFuture 2023. С. 198-199.

2 Leppänen J., Isotalo A. Burnup calculation methodology in the Serpent 2 Monte Carlo code // In proc. PHYSOR 2012. Knoxville, TN. 2012.

3 Sung Hoon Choi, Sung Nam Lee, Chang Keun Jo, Chan Soo Kim. Conceptual core design and neutronics analysis for a space heat pipe reactor using a low enriched uranium fuel // Nuclear Engineering and Design. – 2022. – V. 387. https://doi.org/10.1016/j.nucengdes.2021.111603

## ИЗОТОП CM-244 В ТОПЛИВНЫХ ФРАКЦИЯХ БЫСТРЫХ РЕАКТОРОВ

*Д.Е. Ширкова, А.М. Терехова*
*Обнинский институт атомной энергетики – филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», г. Обнинск, Россия*

Накопление МА к концу на 2100 года в сценарии ВВЭР+БН будет иметь существенное количество, причем кюрия почти 2 т. Кюрий будет представлен в основном изотопами Cm-244 (88 %) [1].

В данной работе рассматривается использование топлива с большим содержанием кюрия-244, в качестве топлива для ядерного реактора на быстрых нейтронах. Микроскопические сечения деления и радиационного захвата достаточно велики (рис. 1). Отсюда можно сделать вывод, что кюрий-244 может быть сам в качестве топлива, но и он является воспроизводящим материалом (как, например, уран-238) кюрия-245, а кюрий-245 является делящимся материалом; его размножающие свойства значительно лучше, чем у делящихся изотопов урана и плутония [2-4].

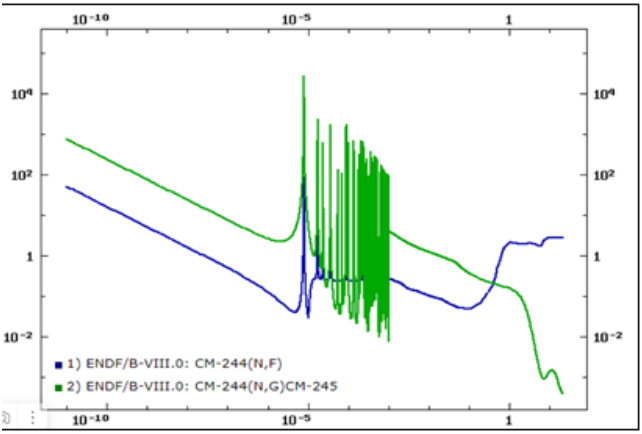



Рис. 1. Зависимость микроскопического сечения радиационного захвата (зеленый) и сечения деления (синий) от энергии нейтрона

Анализ показывает возможность использования кюрия-244 в топливных фракциях быстрых реакторах как замену уранового топлива с точки зрения нейтронно-физических свойств.

***Литература***

1 Прогноз наработки минорных актинидов в 21-м столетии / В.М. Декусар, А.Л. Мосеев, О.С. Гурская. – Обнинск: ГНЦ РФ ФЭИ, 2023 - (Препринт / Государственная корпорация по атомной энергии "Росатом", Государственный научный центр Российской Федерации-Физико-энергетический институт имени А. И. Лейпунского; ФЭИ-3304).

2 Синцов А.Е., Апсэ В.А., Шмелев А.Н. Некоторые особенности сжигания кюриевой фракции младших актинидов в нейтронном поле // Известия высших учебных заведений. Ядерная энергетика. – 2004. – №. 1. – С. 98-106.

3 Дикова Т.С., Цветкова Д.Д., Терехова А.М. Исследование топлива с кюриевой фракцией в реакторе РБЕЦ // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – 2023. – № 3(142). – С. 63-70. – DOI 10.46960/1816-210X_2023_3_63. – EDN QEALGK.

4 Коробейников В.В., Колесов В.В., Игнатьев И.А. Расчётное моделирование выжигания минорных актинидов в реакторе типа БН-600 с топливом без урана и плутония // Известия вузов.

Ядерная энергетика. – 2022. – № 3. – С. 134-145. DOI: https://doi.org/10.26583/npe.2022.3.12

# ПРЕИМУЩЕСТВА И РИСКИ ЖИДКОСОЛЕВЫХ ЯДЕРНЫХ РЕАКТОРОВ

*И.Б. Шомахмадов*
*ФГБОУ ВО «Казанский Государственный Энергетический Университет», г. Казань, Россия*

В жидкосолевых реакторах (ЖСР) вместо твердого топлива используется смесь из расплавленных фторидов лёгких металлов, таких как бериллий, калий и натрий, а также фторида делящегося материала. Делящимся веществом могут служить такие элементы, как уран, плутоний или торий [1].

Главная задача ЖСР – дожигание продуктов деления урана, использовавшегося в качестве топлива в реакторах типа ВВЭР [2]. Это решение позволит уменьшить количество радиоактивных отходов

Основное преимущество ЖСР – это отсутствие нужды в производстве тепловыделяющих элементов и последующей их переработке. Но подобное конструкционное решение имеет недостатки, ввиду отсутствия таких базовых барьеров безопасности как матрица топливных элементов и оболочка топливных элементов.

Данные реакторы имеют отрицательные паровой и температурный коэффициенты. Это означает, что при увеличении количества пара в активной зоне или при увеличении температуры реактивность будет падать.

Также подобный тип ядерных энергетических установок безопаснее реакторов с натриевым теплоносителем, таких как реакторы типа БН, зачёт использования расплава солей, т.к они практически не взаимодействуют с водой. Следовательно, риск возникновения аварийных ситуаций, связанных с контактом с воды и теплоносителя, сводится к минимуму. Однако использование расплава фторидов будет приводить к увеличению коррозии конструкционных материалов.

***Литература***

1 Все, что вы хотели знать о жидкосолевом реакторе [Электронный ресурс] / Режим доступа: https://strana-rosatom.ru/2020/09/21/vse-chto-vy-hoteli-znat-o-zhidkosolevom/, (дата посещения 20.02.2023)

2 Жидкосолевой реактор: от «бумаги» к «железу» [Электронный ресурс] / Режим доступа: https://atomicexpert.com/zhidkosolevoy_reaktor, (дата посещения 20.02.2023)

## РАСЧЁТ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОРГАНОВ СУЗ В РАМКАХ ЗАДАЧИ РАСЧЁТНОГО СОПРОВОЖДЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ РЕАКТОРА БН-600

*В.В. Яковлева, Э.М. Зарапина*
*ГНЦ РФ – ФЭИ им. А.И. Лейпунского, г. Обнинск, Россия*

Безопасная эксплуатация ядерного реактора достигается путём поддержания заданного уровня реактивности [1]. Практически во всех реакторах основным средством компенсации изменений реактивности является система управления и защиты (СУЗ), исполнительными механизмами которой являются подвижные поглощающие стержни, размещаемые в активной зоне реактора.

В реакторе БН-600 [2] СУЗ состоит из 27 стержней, 19 из которых компенсирующие стержни (КС), 2 – регулирующие (РС), а оставшиеся 6 – стержни аварийной защиты (5 АЗ и 1 АЗ-П).

Расчёт эффективности органов СУЗ для реактора БН-600 в АО «ГНЦ РФ – ФЭИ» является одним из этапов расчётного сопровождения, которое выполняется в первую очередь для обоснования безопасной работы реактора, а именно для контроля непревышения проектных характеристик [3].

Измерения эффективности органов СУЗ являются штатной операцией для реактора БН-600. Они проводятся с целью обоснования ядерной безопасности при эксплуатации РУ в начале и

конце каждой микрокампании, включая плановые ремонтные работы и работы по перегрузке топлива.

В настоящее время проводятся работы по увеличению длительности кампании СУЗ, в связи с чем возникает необходимость проведения расчётного исследования эффективности стержней СУЗ РУ БН-600 и изучение влияния увеличения длительности кампании на нейтронно-физические характеристики активной зоны РУ БН-600.

Целью данной работы является подробное изучение методик расчёта нейтронно-физических характеристик и вводимых поправок в рамках расчётного исследования эффективности органов СУЗ РУ БН-600, провидимого в АО «ГНЦ РФ – ФЭИ», а также непосредственно сам расчёт эффективности органов СУЗ.

В соответствии с методикой и с учётом поправок был проведён расчёт эффективности стержней СУЗ. Результаты расчёта хорошо согласуются с экспериментом и все нейтронно-физические характеристики не выходят за рамки эксплуатационных пределов. При этом описание методики расчёта нейтронно-физических характеристик и вводимых поправок будут использованы в процессе обучения молодых специалистов в качестве руководства по проведению расчётного сопровождения.

***Литература***

1 Дементьев Б.А. Кинетика и регулирование ядерных реакторов. Учеб. пособие для вузов. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 272 с.

2 Багдасаров Ю.Е. Краткая история развития проблемы быстрых натриевых реакторов и посильный вклад автора в разработку и освоение. – Обнинск: ГНЦ РФ-ФЭИ, 2014. – 440 с.

3 Зарапина Э.М., Стогов В.Ю., Мишин В.А., Хныкина Е.С. Расчётные инструменты, применяемые в сопровождении действующих быстрых реакторов // Известия вузов. Ядерная энергетика. – 2023. – №2. – С. 121-131.

# ОСОБЕННОСТИ НАРАБОТКИ ИЗОТОПА Pu-238 ДЛЯ РИТЭГ

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

В настоящее время мощности наработки $^{238}Pu$ в России и мире недостаточны и не покрывают растущие годовые потребности. При этом реализованные технологии его получения не имеют перспектив по наращиванию объемов производства [1].

Потенциально масштабная наработка изотопов возможна в промышленных энергетических реакторах. Реакторы БН, благодаря высокому значению плотности потока нейтронов могут обеспечить эффективную наработку [2], а наличие боковых зон воспроизводства позволяет нивелировать изменение нейтронно-физических характеристик в связи с наработкой. Активное развитие технологии БН в сочетании с подходящими для наработки характеристиками создают хорошие перспективы для реализации крупномасштабной наработки $^{238}Pu$.

В свою очередь, наиболее подходящим проектом БН для реализации наработки является БН-1200, на базе которого планируется создание двухкомпонентной системы ядерной энергетики с совместным с реакторами ВВЭР замкнутым топливным циклом [3].

Проводится оценка возможности наработки $^{238}Pu$ в модели реактора БН-1200 [4].

***Литература***

1 Куликов Г.Г., Шмелёв А.Н., Глебов В.Б., Апсэ В.А., Куликов Е.Г. Нейтронно-физические основы масштабной наработки 238Pu для автономных источников энергии. // Известия вузов. Ядерная энергетика. – 2023. – № 2. – С. 162-168.

2 Мальцев В.В. и др. Опыт наработки 60Co в БН-600 // Атомная энергия. –1999. –Т. 86. –№ 3. С. 216–219.

3 Поплавский В.М. и др. Активная зона и топливный цикл для перспективного быстрого натриевого реактора // Атомная энергия. – 2010. – Т. 108. – №. 4. – С. 206-211.

4 Рачков В.И. и др. Концепция перспективного энергоблока с быстрым натриевым реактором БН-1200 // Атомная энергия. – 2010. – Т. 108. – №. 4. – С. 201-205.

## СЕКЦИЯ 2. ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

# АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ КОЛЛИМАЦИЯ ЛАЗЕРНОГО МОДУЛЯ ПРИ ПОМОЩИ МАШИННОГО ЗРЕНИЯ

*В.В. Ахцигер, И.А. Ахцигер, Д.В. Иванов, М.А. Трофимов*
*Обнинский институт атомной энергетики – филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», г. Обнинск, Россия*

Стремительное развитие полупроводниковых лазерных технологий и снижение их стоимости в последнее десятилетие сделали внедрение мощных лазерных диодов и устройств на их основе более доступными. Главной тенденцией по-прежнему остается увеличение выходной оптической мощности и эффективности устройств за счет лучшей температурной и спектральной стабилизации, улучшения качества лазерного излучения.

Цель данной работы – изучить материалы по теме коллимации лазерного модуля и ввода лазерного излучения в оптическое волокно для дальнейшей разработки автоматизированной системы коллимации, основанной на принципе машинного зрения с дальнейшим точным позиционированием оптических компонентов лазерного диодного модуля.

Одним из форматов исполнения полупроводниковых лазеров является их изготовление в виде линейного массива отдельных излучателей, выполненных на одной подложке, называемого диодной линейкой [1]. Излучение диодной линейки является сильно расходящимся и астигматичным. Дальнейшее использование, например, ввод излучения в волокно, требует коллимации излучения микрооптикой [2].

Коллимация излучения диодной линейки по быстрой оси осуществляется с помощью линзы Fast Axis Collimation lens. Для коллимации множества излучателей диодной линейки по медленной оси посредством одной линзы (Slow Axis Collimation, SAC lens) линзу соединяют в единый узел с массивом цилин-

дрических линз, повернутых на 45° относительно оптической оси. Такая система называется модулем поворота пучка и осуществляет смену местами быстрой и медленной оси в пространстве.

Качество коллимации определяется величиной остаточной расходимости. И, в целом, она складывается из таких факторов как: остаточная расходимость оптики, геометрия излучателей и качество монтажа.

Для реализации монтажа в данной работе предлагается алгоритм, включающий в себя этапы программирования установки монтажа микрооптики: распознавание модуля поворота пучка на изображении, захвата, выравнивания, позиционирования и приклеивания. Монтаж проводится на автоматизируемой системе монтажа микрооптики. Она позволяет совершать операции перемещения по 3-м линейным координатам с разрешением порядка 0.1 мкм, и поворота по 3-м угловым с разрешением 1".

Подъём и выравнивание элементов предлагается реализовать с помощью встроенных в ПО установки монтажа алгоритмов машинного зрения по определению границ. Определение границ всегда проводится по двум точкам выделенной стороны элемента относительно центра камеры. Положение по высоте рассчитывается методами автофокусировки, например, по максимуму контраста или градиенту фокуса. Для выполнения активной настройки, основываясь на результатах моделирования предлагается реализовать алгоритм выравнивания модуля поворота пучка. В ходе выполнения настройки последовательно выполняются различные одномерные и двумерные сканирования модуля поворота пучка относительно диодной линейки с сопутствующей регистрацией требуемой характеристики излучения. Последовательность выполнения сканирований предлагается подбирать таким образом, чтобы из полученного распределения выбранной характеристики излучения определить явную зависимость параметра излучения от наличия одних отклонений при отсутствии значительного влияния остальных, не исправленных до настоящего этапа алгоритма, отклонений.

***Литература***

1 Никулин Е.А. Компьютерная геометрия и алгоритмы машинной графики. – СПб.: БХВ-Петербург, 2003. 560 с.

2 Pruss C. et al. // Optics & Photonics News. 2008. V. 19. P. 26.

## СПОСОБЫ ВНЕДРЕНИЯ ФИЗИЧЕСКИ ОБУСЛОВЛЕННЫХ НЕЙРОСЕТЕЙ В НЕЙТРОННО-ФИЗИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ

*А.А. Болотникова, А.И. Патракеева, Н.П. Шлапак*
*Обнинский институт атомной энергетики – филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», г. Обнинск, Россия*

В последние годы при применении нейронных сетей в моделировании физических процессов распространяется подход, заключающийся в учете физических принципов и законов моделируемой системы при построении нейросетевого алгоритма. Данный подход получил название физически обусловленных нейронных сетей. По сравнению с традиционными моделями они имеют ряд преимуществ: они позволяют получить научно обоснованные прогностические модели, требуют меньшего количества обучающих данных, быстрее обучаются, лучше обобщают тренировочные данные [1].

Основными подходами к построению физически обусловленных нейронных сетей являются разработка специальных функций потерь и создание архитектур нейронных сетей для соблюдения конечной моделью физических ограничений рассматриваемого процесса [1].

В настоящей работе рассматривается применение физически обусловленных нейронных сетей к нейтронно-физическому расчету. Моделируется изменение нуклидного состава ядерного топлива в кассете ТВС реактора ВВЭР-1000. Допускается ряд упрощений: поток нейтронов в ТВС и сечения изотопов считаются неизменными во времени и не зависят от координаты, ма-

териалы в объеме ТВС гомогенизированы, рассматривается одна энергетическая группа нейтронов.

В общем виде уравнение выгорания можно записать следующим образом:

$$\begin{cases} \frac{dN}{dt} = A(t)N \\ N(t=0) = N_0 \end{cases}, \quad (1)$$

где $N$ – вектор концентраций n изотопов, $A(t)$ – матрица nxn, описывающая изменение концентраций изотопов в результате их радиоактивного распада и реакций с нейтронами, $N_0$ – вектор начальных концентраций.

Формально решением (1) будет являться выражение:

$$N(t + \Delta t) = \exp(A\Delta t)\, N(t)\,, \quad (2)$$

в котором матрицу $A$ можно считать постоянной на промежутке времени $\Delta t$.

В работе рассматривается применение в нейронной сети функций потерь как напрямую описывающих выражения (1) и (2), так и их численные аналоги на основе методов Эйлера и матричной экспоненты.

Для генерации данных о сечениях изотопов и потоке нейтронов и тестовых данных об изменении концентраций была создана модель ТВС в коде моделирования процессов переноса нейтронов методом Монте-Карло OpenMC [2]. Обучающие данные были получены в результате численного решения (1) методом матричной экспоненты.

***Литература***

1 Kashinath K., et al. Physics-informed machine learning: Case studies for weather and climate modelling // Philosophical Transactions of The Royal Society A Mathematical Physical and Engineering Sciences. – 2021. – A. 379.

2 Romano P.K., Horelik N.E., Herman B.R. et al. Openmc: A state-of-the-art Monte Carlo code for research and development // Annals of Nuclear Energy. 2015. V. 82. P. 90–97.

# ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ПРОЦЕССОВ, ПРОТЕКАЮЩИХ В ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЕ

*Л.Г. Бондарева, Н.Е. Федорова*
*ФБУН «Федеральный научный центр гигиены им. Ф.Ф. Эрисмана» Роспотребнадзора, г. Мытищи, Россия*

При выполнении отраслевой программы Роспотребнадзора в 2023 г. (фундаментальные исследования), нами были применены нейросетевые технологии в обработке хроматограмм, полученных при анализе объектов окружающей среды. Этот выбор был рискованным для нас, так как это было первое применение искусственного интеллекта. С учетом того, что эти технологии обладают способностью к обобщению как полезной информации, так и шума и искажений [1], все это позволило нам получить устойчивое решение обратной задачи в присутствии мешающих факторов.

Одной из решенной нами проблем была следующая. При применении цифровых моделей, зарегистрированных хроматограмм, полученных при количественном анализе сложных веществ, и при сопоставлении эффективности различных методов хроматографирования, удалось рассчитать погрешность получаемых результатов.

В качестве объекта исследования рассматривались фрагменты хроматограмм, с практически неразделенными пиками, а также алгоритмы восстановления сигналов, которые поступают с хроматографа.

На рис. 1 представлена модель, используемая для реализации наших задач.

На рис. 1 представлен результат нейросетевого восстановления одной из хроматограмм.




Рис. 1. Реализуемая модель

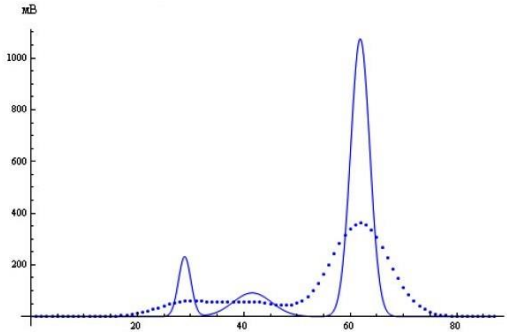



Рис. 2. Фрагмент восстановленной хроматограммы

Если проводить расчет площадей общепринятым стандартным методом, получаем некорректную оценку соотношения концентраций этих компонентов с погрешностью, достигавшей 32%. Если же мы используем предложенным нами алгоритм, то погрешность значительно уменьшается до 5%. При этом, отклонения площадей пиков и концентраций компонентов вычисляются относительно интерполирующих хроматограмм.

***Литература***

1 Остроух А.В. Интеллектуальные системы. – Красноярск: Научно-инновационный центр, 2020. – 316 с.

# РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ СПЕЦИАЛИСТОВ В ОБЛАСТИ БЕЗОПАСНОСТИ

*А.Г. Горюнов, Е.А. Суханов, А.Ю. Сапцына*
*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*

В современном обществе подготовка специалистов играет важную роль, поскольку на них возложена ответственность за принятие комплексных решений, которые могут иметь множество различных последствий, как в штатных, так и в чрезвычайных ситуациях. В особенности неправильные действия сотрудников, обеспечивающих ядерную и радиационную безопасность, могут привести к неблагоприятным исходам, таким как загрязнение окружающей среды.

Поэтому существует необходимость оценивания предпринятых действий сотрудником в различных ситуациях. Такой анализ осуществляется с помощью использования различных тренажеров, которые в настоящий момент времени имеют существенный недостаток – проблема оценки объективности результатов. То есть, итоговая информация о предпринятых действиях сотрудником представляется в виде численного значения без какого-либо обоснования. По сути, встает проблема создания цифрового портрета работника, представленного набором индивидуальных характеристик специалиста.

Для формирования цифрового портрета сотрудника предлагается использовать математическую модель, описывающую вероятность безошибочных действий работника, где основными учитываемыми параметрами являются знания специалиста и скорость его реакции на различные ситуации [1]. Поскольку данные характеристики в основном характеризуют некоторое идеальное психологическое состояние человека, то существует возможность расширения математической модели, которая бы также учитывала влияние личностных факторов при принятии решений в стрессовых ситуациях. Создания цифрового портрета оператора предполагается под собой математическую модель,

описывающую набор индивидуальных характеристик таких как, скорость, работу и накопленный опыт в штатных и внештатных ситуациях. Предлагается внедрения нейросетевой модели, имитирующей действия второго оператора, который выполняет вспомогательную роль [2]. Такой подход позволяет подготовить к взаимодействию оператора с другими сотрудниками, участвующих в управлении технологическом процессе. Важно отметить, что нейросети позволяют моделировать действия оператора с различным уровнем подготовки. Это дает возможность тренировки командной работы операторов в различных условиях.

Цифровой портрет сотрудника позволяет расширить возможность оценки правильности действий персонала, обеспечивающего безопасность в различных ситуациях, а также подготовить его в случае необходимости путем формирования индивидуального плана обучения с различными вариантами корректировки знаний и умений специалиста.

***Литература***

1 Горюнов А.Г., Суханов Е.А. Применение нейросетевых технологий в вопросах моделирования работы систем безопасности объекта // Научно-технический вестник Поволжья. – 2023. – № 10. – С. 191-194.

2 Дмитриев В. М., Ганджа Т. В., Долганов И. М., Писарев М. О. Структура сетевого тренажера для обучения и переподготовки операторов управляемых технологических объектов нефтегазовой промышленности. – Электронные средства и системы управления. Материалы докладов Международной научно-практической конференции. – 2015. – № 1-2. – С. 279-284. – EDN VDDWXR.

# РАЗРАБОТКА ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОСЕТИ

*С.В. Дворецкий, Д.А.Распопов, П.А. Белоусов*
*Обнинский институт атомной энергетики – филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», г. Обнинск, Россия*

В сети электроснабжения потребителей собственных нужд промышленных предприятий, в том числе и атомных станций (АЭС), подключено большое количество оборудования. Его нормальное функционирование зависит, в первую очередь, от качества поставляемой электроэнергии.

Качество электроэнергии в соответствии с ГОСТ оценивается по десяти показателям [1]. Их контроль является важной задачей. Для нормального функционирования потребляющего оборудования показатели не должны выходить за пределы нормальных значений на протяжении более 95% времени суток. Изменение частоты до 5 Гц от нормальных значений и снижение напряжения до нулевых значений в электросетях общего назначения допускается только кратковременно в аварийных режимах. Для многих типов потребителей АЭС такие аномалии недопустимы. При отклонении показателей качества от установленных величин может выходить из строя электрооборудование, подключенное к сети и повышаться его энергопотребление [2].

В исследовательской работе создано программное обеспечение (ПО), необходимое для поиска отклонения параметров напряжения от установленных в ГОСТ (рис. 1). Разработанная программа позволяет записывать и обрабатывать данные с помощью экспериментального лабораторного стенда “Исследования параметров электросети”. Применение стенда совместно с ПО позволит оперативно проводить диагностику сети. Помимо этого, преимуществом разработанного комплекса является отсутствие высоких требований к квалификации оператора, а также не требуется наличие сложного диагностического оборудования. Отчет, отражающий основные параметры электросети, формируется в автоматическом режиме.

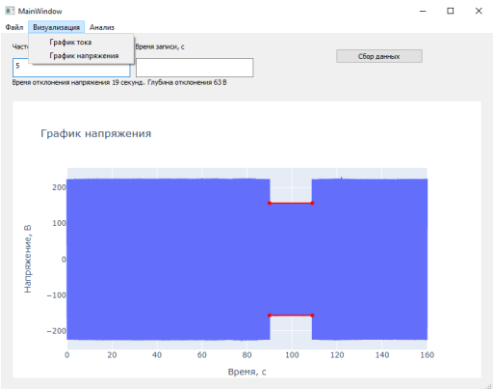



Рис. 1 Интерфейс разрабатываемого приложения

***Литература***

1 ГОСТ 32144-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. – Введ. 2014.07.01. – М.: Стандартинформ, 2013. – 10 с.

2 Ананичева С.С., Алексеев А.А., Мызин А.Л. Качество электроэнергии. Регулирование напряжения и частоты в энергосистемах: учебное пособие. – Екатеринбург: Уральский федеральный университет, 2012. – 94 с.

## АНАЛИЗ ИЗНОСА СИСТЕМЫ АВАРИЙНОГО ВВОДА БОРА В АКТИВНУЮ ЗОНУ РЕАКТОРНОЙ УСТАНОВКИ ТИПА ВВЭР-1000

*А.А. Степанов, Н.П. Шлапак, Д.А. Минченков*
*Обнинский институт атомной энергетики – филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», г. Обнинск, Россия*

Система аварийного ввода бора предназначена для обеспечения аварийной подачи высококонцентрированного раствора бора в первый контур реактора ВВЭР-1000 при чрезвычайных ситуациях, связанных с возникновением положительной реактив-

ности в активной зоне реактора при сохранении высокого давления в первом контуре. Эта система также используется в режимах, связанных с разрежением первого контура. Система аварийного ввода бора состоит из трех одинаковых каналов, каждый из которых включает две группы: аварийного ввода и аварийного впрыска бора [1]. Анализ износа системы подачи раствора борной кислоты является важным по ряду причин:

-Безопасность: износ данной системы может привести к потере возможности экстренной приостановки работы реактора за счет снижения реактивности.

-Эффективность работы реактора: система необходима для регулирования нейтронно-физических характеристик реактора, и ее ненадлежащее функционирование может негативно отразиться на эффективности работы реакторной установки

-Продление срока службы оборудования: раннее выявление и устранение износа позволяет предотвратить более серьёзные повреждения оборудования, что способствует продлению срока его службы.

-Соблюдение нормативных требований: регулярный анализ износа системы подачи раствора борной кислоты необходим для обеспечения соответствия реакторной установки нормативным требованиям безопасности и эксплуатации.

-Предотвращение потенциальных аварий: своевременное выявление и устранение износа помогает предотвратить возможные аварийные ситуации.

Для проведения анализа износа используются данные, полученные в ходе испытаний в разные временные отрезки: расход, давление, температура [2]. Анализ будет проводиться с помощью методов машинного обучения.

Возможные методы их плюсы и недостатки:

1. Деревья решений. Преимущества: простая интерпретируемость и визуализация, высокая точность на нелинейных данных, устойчивость к выбросам. Недостатки: могут быть подвержены переобучению, могут иметь высокую вариативность в зависимости от параметров модели.

2. Машины опорных векторов (SVM). Преимущества: высокая точность на линейно разделимых данных, устойчивость к

выбросам. Недостатки: интерпретируемость может быть сложной, может плохо работать на нелинейных данных.

3. Нейронные сети. Преимущества: высокая точность на сложных данных, возможность извлечения скрытых закономерностей. Недостатки: требуется большое количество данных для обучения, может быть подвержен переобучению.

4. Методы ансамбля. Преимущества: объединяют несколько моделей для улучшения точности и надежности, могут сочетать различные типы моделей. Недостатки: может быть вычислительно сложнее, чем отдельные модели.

Выбор подходящего метода зависит от типа и размера набора данных, сложности задачи, вычислительных ограничений.

***Литература***

1 Шелегов А.С., Лескин С.Т., Слободчук В.И. Насосное оборудование АЭС: Учебное пособие. М.: НИЯУ МИФИ, 2011. – 348 с.

2 Лескин С.Т., Кашин Д.Ю. Разработка программного комплекса диагностики насосов систем безопасности / XIII международная конференция «Безопасность АЭС и подготовка кадров». Сборник трудов. Обнинск: ИАТЭ, 2013. – 222 с.

## ЦИФРОВОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПРОМЫШЛЕННОЙ ТОМОГРАФИИ ОБЪЕКТОВ

*С.С. Шарипбаев, П.А. Белоусов, С.В. Легконогих*
*Обнинский институт атомной энергетики – филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», г. Обнинск, Россия*

Цифровое моделирование процесса промышленной томографии в настоящее время представляет собой важную и актуальную тему по нескольким причинам. Во-первых, использование промышленной томографии в промышленности и научных исследованиях становится все более распространенным. Этот метод обеспечивает недеструктивный способ исследования внутренней структуры объектов, что позволяет получать точные

трехмерные изображения и данные о объектах без их повреждения. Во-вторых, цифровое моделирование процесса промышленной томографии позволяет оптимизировать параметры самого процесса, улучшая качество получаемых данных, сокращая время измерений и повышая точность реконструкции изображений. Это имеет большое значение во многих отраслях, таких как машиностроение, медицина, геология, аэрокосмическая промышленность и другие.

Таким образом, развитие методов цифрового моделирования для промышленной томографии является важным направлением, которое способствует совершенствованию технологий контроля качества, исследования новых материалов, а также повышению эффективности производства в различных отраслях промышленности.

Данная работа посвящена поиску и разработке методики, позволяющей с использованием программных инструментов для 3D моделирования Blender и языка программирования Python реконструировать процесс проведения радиографии и затем уже промышленной томографии.

В работе демонстрируется как можно моделировать различные медицинские результаты контроля, изменять состояния и внедрять различные аномалии, что дает возможность применять как для научных исследований, так и для обучения студентов-медиков. Особое внимание уделяется точности имитации рентгеновских снимков, включая правильное отображение анатомических структур и характерных теней.

В заключение обсуждается потенциальное применение разработанной методики в промышленной визуализации, преимущества и ограничения подхода, а также перспективы дальнейших исследований в данной области. Работа предлагает важный вклад в развитие методов визуализации в промышленности, медицине, через инновационное сочетание 3D моделирования и программирования.

Основные этапы работы:

Создание 3D модели объекта→ Настройка источника света→ Настройка материалов и текстур→Рендеринг изображения → Обработка изображения.

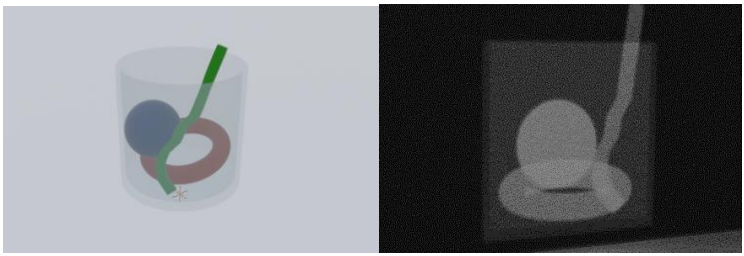


Рис. 1. 3D модель образца (слева) и изображение после обработки (справа)

В заключении можно отметить, что томография представляет собой мощный инструмент для диагностики заболеваний для живых и неразрушающего контроля технологических объектов. Ее математическое обеспечение и программные алгоритмы играют ключевую роль в точном восстановлении изображений из проекций, обеспечивая высокую информативность и надежность данных. Тенденции развития включают увеличение разрешения, интеграцию с другими технологиями и применение методов машинного обучения, что делает промышленную томографию важным инструментом для контроля качества и научных исследований в будущем.

***Литература***

1 Алимасова Д.П. Моделирование объектов 3D-моделей в программе Blender / Д. П. Алимасова, Е. Н. Кибанова // Молодой ученый. – 2021. – № 43(385). – С. 6-11.

2 Homemade X-Ray Computer Tomograph [Electronic resource] Access mode: https://habr.com/ru/articles/165519/ (date of visit – 20.01.2024).

# РАЗРАБОТКА МУЛЬТИМОДАЛЬНОЙ НЕЙРОСЕТЕВОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ ОЦИФРОВКИ ТЕКСТОВЫХ ДОКУМЕНТОВ

*Н.П. Шлапак[1,2], С.П. Батурин[2]*
*[1]– Обнинский институт атомной энергетики – филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», г. Обнинск, Россия*
*[2] – ООО «МЕН ИН ДЕВ», г. Обнинск, Россия*

В настоящее время стремительно набирают популярность сервисы, основанные на больших языковых моделях. Такие модели способны решать самые разные задачи [1]. Однако, если требуется применять такие модели в специализированных областях, возможности доступных для использования предобученных моделей ограничены. Для этого проводится их дообучение.

В основе всех подобных моделей лежит архитектура трансформера [2]. Характерным для неё недостатком является потребность в огромном количестве данных для обучения. В некоторых специализированных областях, зародившихся в прошлом веке (таких как, например, ядерная энергетика) эти данные хранятся в «бумажном» виде. Зачастую в форме документов, частично или полностью заполненных рукописным текстом. Автоматизация процесса оцифровки таких архивов существенно упрощает и ускоряет этап сбора обучающих данных, что в свою очередь позитивно сказывается на цикле разработки продукта.

При условии наличия отсканированного документа, задача получения его текстового содержимого сводится к оптическому распознаванию символов (optical character recognition, далее — OCR). На данный момент для решения этой задачи существует открытый инструмент tesseract-ocr [3]. Однако он обладает двумя существенными недостатками:

1. Распознаются исключительно печатные чёрные символы на белом фоне. Любые изменения цветов, зашумление или искажения изображения делают текст нераспознаваемым.

2. Библиотека использует нейросеть, основанную на рекуррентной архитектуре. Такие архитектуры в силу своей специфи-

ки (из-за рекурсии невозможно проводить параллельные вычисления) сильно замедляют как обучение, так и использование модели.

Использование подхода, основанного на применении ранее упомянутого трансформера вместо рекуррентной сети способно решить вторую проблему, а дообучение на заранее подготовленном наборе данных — первую.

В качестве базовой модели предлагается использовать разработку [4]. Эта модель способна распознавать как печатный, так и рукописный текст и не так чувствительна к качеству фона.

***Литература***

1 Reid M. et al. Gemini 1.5: Unlocking multimodal understanding across millions of tokens of context // Arxiv [Электронный ресурс] Режим доступа: https://arxiv.org/abs/2403.05530 (дата посещения 12.03.2024)

2 Vaswani A. et al. Attention Is All You Need // GitHub [Электронный ресурс] Режим доступа: https://arxiv.org/abs/1706.03762 (дата посещения 14.03.2024)

3 Tesseract documentation // Arxiv [Электронный ресурс] Режим доступа: https://tesseract-ocr.github.io/ (дата посещения 14.03.2024)

4 Li M. et al. TrOCR: Transformer-based Optical Character Recognition with Pre-trained Models\ // Arxiv [Электронный ресурс] Режим доступа: https://arxiv.org/abs/2109.10282/ (дата посещения 14.03.2024)

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

### RADIOLOGICAL EXPOSURE FROM SOILS AT GOLD MINING SITES AND ITS POSSIBILITY OF AFFECTING WORKERS AND NEARBY RESIDENTS: A SYSTEMATIC REVIEW AND META-ANALYSIS

*C. Awuah, G. Ini*
*School of Nuclear Technology Engineering;*
*Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia*

Common in ore-rich soils have significant levels of natural radioactivity [1]. These soils are frequently extracted and processed as part of gold mining operations, which puts nearby residents and employees at risk for radioactive exposure [2].

The purpose of this study is to assess the level of radioactive exposure from the soils at gold mining sites and any potential health effects on nearby residents.

A thorough search was carried out on electronic databases in order to find pertinent research that had been published from 2013-2022 on the subject with respect to the natural radionuclides: $^{232}$Th, $^{40}$K, and $^{226}$Ra or 238U. Included in these studies were radiological parameters such as activity concentrations, Average Dose Rates (ADR), Annual Effective Dose (AED), Radon Equivalent Activity (RaEq Activity), Hazard Indices [internal (Hin) and external (Hex)] sites on workers and nearby residents using gamma spectrometry.

The combined impact magnitude of radiation exposure was assessed from the studies [1-10] according to Table 1. The data indicate that the overall radiological measurements were within safe ranges; below global averages. Nevertheless, it's important for stakeholders to ensure adequate protection, particularly of the mines workers, for their long-term public health safety.

Table 1

Radiological parameters from studies [1-10]

| Study | Activity Concentration (Bq/Kg) | | | ADR nGy/h | AED mSv/y | $Ra_{eq}$ Activity | $H_{in}$ | $H_{ex}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $^{238}U$ | $^{232}Th$ | $^{40}K$ | | | | | |
| [1] | 55.3 | 26.4 | 505.1 | 66.3 | 81.30 | 132.14 | 0.51 | 0.36 |
| [2] | 24.6 | 17.9 | 362.4 | 36.88 | 0.18 | 75.94 | 0.21 | 0.21 |
| [3] | 74.3 | 110.3 | 974.7 | 146.90 | 0.30 | 307.20 | 1.00 | 0.90 |
| [4] | 34.6 | 28.79 | 28.79 | 43.04 | 0.21 | 93.47 | 0.35 | 0.25 |
| [5] | 11.8 | 4.8 | 1985.0 | 69.8 | 0.17 | 140.68 | 0.48 | 0.38 |
| | $^{226}Ra$ | $^{232}Th$ | $^{40}K$ | | | | | |
| [6] | 108.6 | 59.2 | 284.3 | 97.74 | 0.12 | 216.79 | 0.87 | 0.58 |
| [7] | 32.5 | 56.23 | 404.0 | 67.35 | 0.04 | 141.56 | 0.50 | 0.41 |
| [8] | 46.6 | 71.2 | 574.6 | 88.20 | 0.10 | 192.64 | - | 0.52 |
| [9] | 42.5 | 35.5 | 652.4 | 34.73 | 85.50 | 69.73 | 0.25 | 0.5 |
| | $^{238}U$ | $^{232}Th$ | $^{226}Ra$ | | | | | |
| [10] | 3127.0 | 2142.0 | 2710.0 | 638.00 | 1.00 | 1450 | 6.00 | 4.00 |

### *References*


1 Ademola A.K. et al. Determination of natural radioactivity and hazard in soil samples in and around gold mining area in Itagunmodi, South-Western Nigeria // Journal of Radiation Research and Applied Sciences. 2014. V.7.(3). P.249 – 255.

2 Oketayo O.O. et al. Radionuclide content and risk assessment of some environmental samples from gold mines at Mokuro-Ile-Ife, Osun State, Nigeria // Asian Journal of Applied Sciences. 2019. V. 07(03).

3 Yinusa S.T. et al. Radiological assay of technologically enhanced naturally occurring radionuclides and hazard assessment in soil samples from selected towns in Kogi State, Nigeria // Journal of Physical Science and Innovation. 2013. V. 5 (1). P. 17-21.

4 Ladan S.C. et al. Assessment of radioactivity concentration level in soil samples of some gold mining areas of Shiroro, Niger State, Nigeria // Journal of Radiation and Nuclear Applications. 2022. V. 7 (2). P. 1-6.

5 Aguko W.O. et al. Radiation exposure levels associated with gold mining in Sakwa Wagusu area, Bondo District, Kenya // EPJ Web of Conferences. 2021. V. 253. 09006.

6 Ibrahim S., Lawan M.A. Determination of radioactivity concentration in soil samples of some potash mining areas in Yunusari local government area, Yobe State, Nigeria // International Journal of Analytical Chemistry. 2013. V. 2013. 501856.

7 Ibrahim U. et al. Assessment of radioactivity concentration in soil of some mining areas in Central Nasarawa State, Nigeria // Science World Journal. 2013. V. 8 (2).

8 Leuangtakoun S. et al. Determination of natural radioactivity in soil samples around gold mining area in Khamkeut District, Bolikhamxay Province, Laos using gamma ray spectrometer with NaI (Tl) Detector // VNU Journal of Science: Mathematics – Physics. 2018. V. 34 (3). P. 12-21.

9 Focus E. et al. The influence of gold mining on radioactivity of mining site soil in Tanzania // Asian Journal of EQA - International Journal of Environmental Quality. 2021. V. 46. P. 46-59.

10 Atibu E.K. et al. High environmental radioactivity in artisanal and small-scale gold mining in Eastern Democratic Republic of the Congo // Minerals. 2022. V. 12. P. 1278.

## MONTE CARLO SIMULATION OF NEUTRON POROSITY FOR BOREHOLE LOGGING APPLICATIONS

*E. Simpunga, V.A.Roshchenko*
*Obninsk Institute for Nuclear Power Engineering, Obninsk, Russia*

Mining, oil and gas industries use nuclear logging techniques to explore the presence of natural resources within Earth's crust.

Borehole logging is one of techniques which are being used in mineral exploration where radiation is used to gather information about the geology and content of rock formations deep underground [1]. This system consists of sensors and instrumentation that help in measurements of porosity and density inside the rock formation.

Neutron porosity tool which is a type of borehole probe is used for the porosity measurement inside the rock formation by using neutron radiation. The tool typically is composed of neutron source and two detectors. For this task high-energy AmBe neutron source is used and $^{6}$Li detector, this detector provides reliable and accurate

measurement in wide range make it better choice for thermal neutron detection. These fast neutrons interact with formation, and by measuring scattered or absorbed neutrons into the matrix, the tool can provide estimate porosity.

Geant4 which is Monte Carlo modelling provided a powerful mathematical simulation of neutron interactions with various materials encountered in boreholes, enabling comprehensive analysis of neutron porosity logging processes [2].

Scattered neutron of different thermal energies was recorded from formation using enriched $^{6}$Li detector. Figure 1 show energy deposition from different formation into the detector.

The use of Geant4 Monte Carlo simulation for neutron porosity probe enhances the accuracy and reliability of porosity measurements, contributing to exploration and assessment of natural resources.

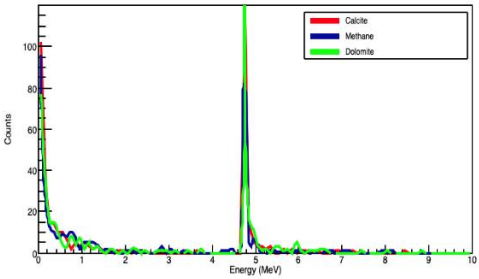



Fig. 1. Energy spectra from different formations.

### *References*

1 Nuclear techniques in mineral exploration, extraction, and processing. IAEA. International Atomic Energy Agency. URL: https://www.iaea.org/sites/default/files/29205082832.pdf (Access date: 4/17/2023).

2 Yi G., Jingang L., Qiong Z., et al. A comparison study of GEANT4 and MCNP6 on neutron-induced gamma simulation: Prospects // Applied Radiation and Isotopes. – 2022. – V. 190. https://doi.org/10.1016/j.apradiso.2022.110514

# PLASMA RECYCLING OF COMBUSTIBLE WASTE PROCESSING SPENT NUCLEAR FUEL OF A CLOSED NFC

*A.E. Tikhonov, V.I. Rastorguev, I.Yu. Novoselov*
*National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia*

The State Corporation "Rosatom" is the first in the world to start developing a closed nuclear fuel cycle (NFC), which involves the transfer of spent nuclear fuel (SNF) from nuclear power plants (NPP) for temporary storage in reactor pools, subsequent reprocessing with extraction of Pu-239 and U-238 to produce MOX fuel, which will then be supplied back to nuclear power plants.

The PUREX process (plutonium and uranium extraction process) is one of the main methods of reprocessing nuclear fuel. This process uses organic extractants (tributyl phosphate), mixed with various diluents (e.g. kerosene or other hydrocarbons). Tributyl phosphate has the ability to extract uranium and plutonium from the solution, precipitating them in the organic phase. This method allows for the efficient extraction of uranium and plutonium from spent nuclear fuel, which is an important step for the subsequent use of these materials in the production of new MOX fuel for nuclear reactors [1].

Due to the accumulation of a large amount of spent extractants, it is necessary to develop effective methods for processing and utilizing the combustible waste of processing (CWP), in order to prevent their negative impact on the environment and human health. The use of low-temperature plasma for the disposal of combustible waste, including nuclear energy waste, is of significant scientific and practical interest. This method of disposal allows for the efficient processing of various types of waste, including complex water-organic compositions, and turning them into safer materials.

Plasma waste disposal in optimal fuel compositions with an adiabatic combustion temperature of about 1200 °C is an effective way of waste disposal with minimal impact on the environment. Plasma processes can provide high rates of decomposition of organic compounds, as well as transforming toxic elements into less harmful compounds.

Research in this study has shown that plasma recycling of hazardous industrial waste can be an effective method of processing them. Optimal fuel compositions of water-organic mixtures and process conditions for their plasma disposal have been calculated. Experiments have confirmed that the method is energy-efficient and environmentally friendly.

***References***

1 Скачек М.А. Обращение с отработавшим ядерным топливом и радиоактивными отходами АЭС: учебное пособие для вузов / М.А. Скачек.– М. : Издательский дом МЭИ, 2007. — 448 с.

## ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ ТОКСИЧНЫХ ВЕЩЕСТВ

*З.Р. Агаева, Э.Э. Джабаров, С.С. Байрамова, Л.А. Абдуллаева*
*Институт Катализа и Неорганической химии им. академика М.Нагиева, г. Баку, Азербайджан*

Как известно, состояние окружающей среды, загрязненность атмосферы, воды, почвы, качество продуктов, употребляемых населением, – это основные экологические факторы, влияющие на здоровье населения. Возникновение токсических загрязнений окружающей среды связано как с накоплением природных токсичных веществ: свинца, хрома, кадмия и др. и с производством новых веществ, так и с содержанием радиоактивных элементов в природных ресурсах. Учитывая факт широкого использования алюмосиликатов, в частности бентонитовых глин, в промышленности и быту, изучение распределения в них радиоактивных элементов представляло научный и практический интерес. Проанализирован ряд бентонитовых глин, отобранных из различных месторождений Азербайджанской Республики.

За последние десятилетия выявлено, что природные вещества оказывают на биосферу такое же, а иногда и большее воздействие, чем антропогенные, что не всегда экологически безопасно [1]. Особенность антропогенного воздействия на природу состоит в том, что при этом образуются высокотоксичные для

всего живого продукты. Возникновение токсичных загрязнений может быть связано как с накоплением природных веществ (например, тяжелых металлов – свинца, хрома, кадмия и др.), так и с получением новых веществ (пестицидов и др.), а также с содержанием в них радиоактивных элементов. Поэтому очень важно раннее распознавание токсичного влияния химических продуктов, содержащихся в тех или иных природных материалах, на окружающую среду. При этом должно учитываться соблюдение трех основных задач экологии, от решения которых зависят сохранение среды обитания, оценка воздействия на окружающую среду токсичных веществ и прогнозирование их дальнейшего поведения, распространения и превращения в другие вещества под влиянием факторов среды. Повышение уровня ионизирующей радиации, источником которой являются радиоактивные вещества, такие как $^{235}U$, $^{232}Th$, $^{90}Sr$, $^{137}Cs$, в результате самопроизвольного превращения которых могут возникать $\alpha$ и $\beta$ частицы, $\gamma$-лучи, оказывает токсичное воздействие на человека, вызывая при этом генетические изменения [2]. Соблюдение основных принципов обуславливает сохранность окружающей среды в ее первозданном виде. Учитывая факт широкого использования природных алюмосиликатов, в частности бентонитовых глин, в промышленности и быту, представляло научно-практический интерес изучение распределения радиоактивных элементов в них. Проанализирован ряд бентонитовых глин, отобранных из различных месторождений Азербайджанской Республики. Объемная активность изотопа $^{226}Ra$ измерялась на гамма-спектрометре с HPGe-детектором (Канберра), активность изотопов урана ($^{234}U$, $^{235}U$ и $^{238}U$) измерялась на приборе Alpha Analyst Alpha Spectrometer (Canberra), а активность изотопов в растворе при совместной сорбции изотопов урана и радия TriCarb 3100 определяли в жидкостном сцинтилляционном счетчике марки TR (Perkin Elmer). В результате исследований установлено, что все они в той или иной степени радиоактивны (70,0-140 Бк/кг) и содержат в своем составе радиоактивные элементы $^{235}U$, $^{232}Th$, $^{226}Ra$ и другие. Установлено, что радиоактивность бентонитовых разработок тесно связано с геотерриториальным расположением местности.

***Литература***

1 Agayeva Z.R., Jabarov E.E., Imanova N.A. et al. Study of radioactivity degree of natural alumosilicates / Abstracts of Republican scientific conference dedicated to 80th anniversary of M. Nagiyev Institute of Catalysis and inorganic chemistry, 2016. P. 402.

2 Garibov A.A., Mehdiyeva R.N., Naghiyev J.A. Separation of radio-active elements (226Ra, 228Ra) from the radioactive coal in the territories of iodine factories / The Fifth Eurasian Conference Nuclear Sciences and its Application. Ankara, 2008. P. 153.

## ВЛИЯНИЕ УРАНОВЫХ ЗАХОРОНЕНИЙ НА ЗДОРОВЬЕ НАСЕЛЕНИЯ

*Б.Р. Айдаралиев, Э.К. Алиева, А.Т. Шералиева*
*Кыргызско-Российский Славянский университет,*
*г. Бишкек, Кыргызстан*

Правительство Кыргызстана понимает всю опасность уранового наследия страны. Но собственных средств, чтобы решить проблему, у нас просто нет. Остается единственный вариант — просить помощи международного сообщества. Причем именно Кыргызстан активно продвигает тему на мировой арене.

С подачи Кыргызстана в 2013 г. принята резолюция ООН о роли международного сообщества в предотвращении радиационной угрозы в Центральной Азии. В 2013 г. в СНГ начата реализация межгосударственной целевой программы «Рекультивация территорий государств, подвергшихся воздействию уранодобывающих производств» на 2013-2023 годы. В ее рамках предусматривалась рекультивация хвостохранилищ населенных пунктов Мин-Куш и Каджи-Сай в Кыргызстане. Работы на объектах ведет российская корпорация «Росатом».

Согласно Государственному Кадастру отходов горнорудной промышленности КР на территории страны расположено 92 хвостохранилища и горных отвалов, из них в ведении МЧС КР находятся 33 хвостохранилища и 25 горных отвалов с общим объемом отходов 11,9 млн. м$^3$, в том числе из 33 хвостохранилищ – 28 радиоактивные (объемом 4,3 млн. м/куб), 5 – токсич-

ные (объемом 5,7 млн. м/куб). 25 радиоактивных горных отвалов (объемом 1,9 млн. м/куб). Согласно полученным данным, большинство объектов находятся в плачевном состоянии, им требуется немедленная рекультивация, проведение укрепительных и восстановительных работ. Спасти от радиационной «чумы» страну могут лишь международные доноры. Страна с низким уровнем развития, безусловно, самостоятельно решить проблему урановых хвостохранилищ не может. Полностью избавиться от могильников не получится. Но для того, чтобы обезопасить людей, живущих рядом с хвостохранилищами, принято решение их рекультивировать.

В Кыргызстане есть два крупных проекта по рекультивации хвостохранилищ. Первый – Межгосударственная Целевая программа «Рекультивация территории государств, подвергшихся воздействию уранодобывающих производств». Срок реализации - до 2023 года. Заказчиком проекта является российская госкорпорация «Росатом». Финансирование выделяется исполкомом СНГ.

Всего ЕС намерен рекультивировать 7 хвостохранилищ в ЦА, из них три — в Кыргызстане (Майлуу-Суу, Мин-Куш, Шекафтар). Стоимость проекта — 85 млн. евро.

Кыргызстан старается изучать опыт многих стран. В частности, большое внимание уделяется ситуации в Германии, где урановых хвостохранилищ намного больше, чем в Кыргызстане. Мы обучаем своих специалистов, в том числе из Минздрава. Для этого нужна и техническая оснащенность. Проведя анализ онкологических заболеваний в разрезе регионов размещения хвостохранилищ, отмечается рост по республиканскому показателю, влияние на среднюю продолжительности жизни населения республики.

Систематическая проверка продукции местного производства позволит обеспечить безопасность и качество продукции, а также защитить интересы граждан.

***Литература***

1 Государственный кадастр отходов горной промышленности Кыргызской Республики (хвостохранилища и горные отвалы). 92 паспорта. Бишкек, 2006.

2 Радиационная защита и безопасность источников излучения: Международные основные нормы безопасности, Вена, МАГАТЭ (2014г.) https://www-pub.iaea.org/MTCD/ publications /PDF/Pub1578_R_web.pdf

3 Радиационная безопасность населения и территории Кыргызской Республики / Сост. Б.Р. Айдаралиев, Е.А. Тойчубеков, Б.С. Ордобаев, Н.Дж. Садабаева. Бишкек: Изд-во КРСУ, 2016. 192 с.

4 Методические рекомендации по защите населения в зонах возможных чрезвычайных ситуаций радиационного характера / Министерство Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий.

## ОЦЕНКА ДОЗ ВНЕШНЕГО ТЕХНОГЕННОГО ОБЛУЧЕНИЯ НА ТЕРРИТОРИИ РАДИАЦИОННО ОПАСНОГО ОБЪЕКТА

*Дм.М. Алексеев, Т.Н. Лащенова, Дан.М. Алексеев*
*Российский Университет Дружбы Народов имени Патриса Лумумбы, г. Москва, Россия*

При эксплуатации и выводе из эксплуатации радиационно опасных объектов (РОО), на объекте и территории проводится радиоэкологический мониторинг (РЭМ), по результатам которого осуществляется контроль состояния радиационной безопасности путем оценки среднегодовой эффективной дозы (СГЭД) облучения. Защита персонала, населения и окружающей среды (ОС) осуществляется контролем СГЭД, которая складывается из дозы внутреннего и внешнего облучения. В рамках РЭМ осуществляют предварительное радиационное обследование территории методом пешеходной гамма-съемки по показателю мощность амбиентного эквивалента дозы гамма-излучения (МАЭД

ГИ), выявляют участки с превышениями, на которых проводится углубленное исследование для выяснения причин. С помощью метода термолюминесцентной дозиметрии, позволяющего учитывать все дозовые колебания в течение периода экспонирования, проводят оценку доз внешнего облучения $D_{внеш}$, которые потенциально может получить персонал или население при нахождении на локальных участках радиоактивного загрязнения (УРЗ), по консервативному сценарию.

Цель работы – оценить вклад техногенного облучения в среднегодовую эффективную дозу облучения за счет внешнего облучения на территориях в районе расположения РОО.

Методы и методики. Интегральные дозы облучения измерялись на дозиметрическом термолюминесцентном комплексе «ДОЗА-ТЛД» по методике радиационного контроля № 40121.2М330. Объём исследования составил: мониторинг МАЭД ГИ – более 1100 изм., интегральные дозы – 60 изм.

Расчёт СГЭД внешнего облучения за счет только техногенного облучения ($Д_{внешТех}$) проводится по формуле, предложенной авторами, которая учитывает все особенности измерения доз облучения на территориях:

$$D_{внешТех} = D_{внеш} - D_{фон}$$

где $D_{фон}$ – потенциальная доза внешнего облучения на фоновой территории, мЗв. Если измерения $D_{внеш}$ проводятся интегральным способом:

$$D_{внеш} = [\![(D)]\!]_{int} - D_т) \times К_ф$$

где $D_{int}$ – измеренная интегральная доза, мЗв/год; $D_т$, – поправка на изменение дозы при транспортировке детекторов, мЗв/год; $К_ф$ – коэффициент федингa, рассчитывается с помощью дозиметров для учета федингa, который формируется разными флуктуациями в окружающей природной среде за время экспонирования.

Авторы работы проводили РЭМ на территории зоны наблюдения (ЗН) РОО, находящегося на стадии вывода из эксплуатации. В качестве фоновой выбрали территорию с подветренной стороны от РОО со сходными геологическими характеристиками и в ЗН. Получили значения МАЭД ГИ в интервале от 0,10 до 0,15 мкЗв/ч при среднем арифметическом (СА), равном 0,13 мкЗв/ч, $D_{фон}$ составляет 1,2 мЗв/год. По результатам обследова-

ния территории ЗН РОО показатель МАЭД ГИ находился в интервале от 0,20 до 0,28 мкЗв/ч при СА равном 0,24 мкЗв/ч, что составляет 2,1 мЗв/год, и сопоставимо с естественным фоном земли, которое находится в интервале от 0,10 до 0,30 мкЗв/час [1].

Выявили превышения МАЭД ГИ на небольшой по площади территории. После тщательного обследования этой территории получили, что МАЭД ГИ находится в интервале от 0,34 до 1,28 мкЗв/ч при СА равном 0,42 мкЗв/ч, который является локальным участком радиоактивного загрязнения. СА $D_{int}$ на территории УРЗ = 3,7 (2,8–4,9) мЗв/год. Измерения фединговых дозиметров показали, что $К_ф$ получился равным 1,2. Результаты расчетов $D_{внешТех}$ = 2,7 мЗв/год показали, что дозовый предел выше 1 мЗв в год для населения (НРБ-99/2009). Следовательно, необходимо провести дальнейшие исследования для выявления источника и для принятия управленческих решений по изменению ситуации.

***Литература***

1 Единая государственная автоматизированная система мониторинга радиационной обстановки на территории Российской Федерации. [Электронный ресурс]. ЕГАСМРО. Сайт. – Режим доступа: https://egasmro.ru/ru/

## ОСОБЕННОСТИ УЧЕТА ИНТЕГРАЛЬНЫХ ДОЗ ВНЕШНЕГО ОБЛУЧЕНИЯ

*Д.М. Алексеев, Д.М. Алексеев, Т.Н. Лащенова*
*Российский Университет Дружбы Народов имени Патриса Лумумбы, г. Москва, Россия*

В районах расположения радиационно опасных объектов (РОО), обслуживаемых ФМБА России, проводится радиационно-гигиенический мониторинг (РГМ), основной задачей которого является оценка доз внешнего и внутреннего облучения населения за счет техногенных и природных источников. Данный вид исследования входит в полномочия ФМБА России и осуществляется на постоянной основе на контролируемых террито-

риях РОО при нормальной эксплуатации и в случае возникновения аварийной ситуации.

Актуальность работы состоит в оценке отклонений измеренной величины от величины интегральной дозы фотонного излучения при природном и техногенном облучении, которое может воздействовать на население и персонал в районе расположения РОО.

Целью данной работы является выявление и учет особенностей измерения интегральных доз внешнего облучения в районе расположения радиационно опасных объектов.

При проведении РГМ в районе расположения РОО для оценки внешних доз облучения интегральным методом используют метод термолюминесцентной дозиметрии (ТЛД). ТЛД дозиметры на основе фтористого лития и корунда наиболее подходят для оценки доз внешнего облучения ввиду их тканеэквивалентности и высокой чувствительности к фотонному излучению. Все ТЛД дозиметры подготавливаются к экспонированию в одинаковых условиях и распределяются на комплекты в зависимости от цели их использования. Это позволяет повысить точность регистрации доз внешнего облучения.

При расчете интегральной дозы в районе расположения РОО необходимо учитывать следующее: коэффициент фединга, который приводит к занижению реальной величины интегральной дозы ($К_{фед}$, отн. ед.) [2]; дозу природного облучения, сформированную естественным радиационным фоном Земли, уникальную для каждой территории и вносящую значительный вклад в величину интегральной дозы при нормальных условиях эксплуатации РОО ($D_{фон}$, мЗв); транспортную дозу, которая дополнительно накапливается при транспортировке детекторов из организации, обеспечивающей проведение РГМ, в ПК ($D_{тр}$, мЗв); контрольную дозу, которая накапливается на детекторах, расположенных в организации, обеспечивающей проведение РГМ и позволяет рассчитать транспортную дозу ($D_к$, мЗв).

Для решения проблем, связанных с особенностями учета интегральных доз, подготавливаются разные комплекты ТЛД. Федингового комплект ТЛД измеряется через период экспонирования рабочего комплекта в ПК. Фоновый комплект ТЛД разме-

щается на фоновой территории, где МАЭД ГИ соответствуют средним значения для региона. Рабочий комплект ТЛД размещается в ПК на территории в районе расположения РОО.

Транспортная доза определяется как разница между дозой на транспортном комплект ТЛД ($D_т$, мЗв) и контрольном комплект ТЛД ($D_к$, мЗв) и имеет следующий вид:

$$D_{тр} = D_т – D_к$$

Интегральную дозу внешнего облучения ($D_{инт}$, мЗв) рассчитывают по формуле:

$$D_{инт} = (D_{изм} – D_{тр} – D_{фон}) * K_{фед}$$

Таким образом, интегральным методом с помощью ТЛД можно определить точные дозы внешнего облучения на территориях расположения РОО, что позволяет оптимизировать задачу РГМ по оценке доз внешнего облучения за счет техногенных и природных источников.

***Литература***

1 Коренков И.П., Шандала Н.К., Лащенова Т.Н. и др. Защита окружающей среды при эксплуатации и выводе из эксплуатации радиационно опасных объектов // – М.: Издательство БИНОМ, 2014. – 448 с.

2 Кортов В.С., Мильман И.И., Никифоров С.В. Твердотельная дозиметрия // Известия ТПУ. – 2000. – №2. – С. 35-45.

## РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ И ТЕХНОГЕННЫЕ РИСКИ

*Э.К. Алиева, Б.Р. Айдаралиев, Н.Т. Асанбеков*
*Кыргызско-Российский Славянский университет,*
*г. Бишкек, Кыргызстан*

Современное общество сталкивается с рядом техногенных и экологических рисков, которые могут нанести значительный вред как окружающей среде, так и здоровью человека. Одним из самых опасных из них является радиационный риск.

Радиация – это процесс излучения энергии в виде частиц или волн. Существует несколько источников радиации, включая

гамма-излучение, рентгеновские лучи, альфа и бета-излучение. Радиация может быть как естественного происхождения (например, излучение от Солнца), так и техногенного (выбросы радиоактивных веществ из атомных электростанций, ядерные испытания и прочее).

Основными источниками радиации, представляющими угрозу для человека и окружающей среды, являются ядерные энергетические установки. Аварии на таких объектах, как, например, Чернобыльская катастрофа 1986 г. или Фукусимская авария 2011 г., дали нам понять, какие последствия может иметь несоблюдение правил радиационной безопасности. Высвобождение радиоактивных веществ в окружающую среду приводит к загрязнению почвы, воды и воздуха, что повышает риск развития рака и других заболеваний у людей и животных. Для предотвращения радиационных аварий и минимизации их последствий необходимо строгое соблюдение норм радиационной безопасности. Это включает в себя контроль за радиационными источниками, обеспечение безопасности ядерных объектов, разработку и внедрение эффективных систем раннего предупреждения и мониторинга радиации. Кроме того, важно проводить образовательную работу среди населения о том, как защитить себя от радиации, что делать в случае аварии и как рационально использовать ядерные технологии. Только совместными усилиями государств, научных организаций и общественности мы сможем обеспечить безопасное использование атомной энергии и минимизировать радиационные риски для будущих поколений.

Жизнь современного человека невозможно представить без использования технологий. Однако за всеми удобствами и преимуществами, которые они приносят, скрываются также техногенные и экологические риски, которые могут негативно повлиять на окружающую среду и здоровье людей.

Техногенные риски возникают в результате использования различных технологий и процессов в производстве, транспорте, строительстве и других сферах деятельности. Примером техногенных рисков может служить авария на ядерной электростанции, промышленное загрязнение воды или воздуха, автомобильные аварии и так далее. Такие происшествия могут привести к

гибели людей, серьезным повреждениям окружающей среды и значительным экономическим убыткам.

Экологические риски, в свою очередь, связаны с нарушением природных балансов и ухудшением состояния окружающей среды. Вырубка лесов, загрязнение воды и почвы химическими веществами, выбросы парниковых газов и другие воздействия человека могут привести к изменению климата, уменьшению биоразнообразия и ухудшению условий жизни животных и растений.

Для минимизации техногенных и экологических рисков необходимо принимать срочные меры по обеспечению безопасности и устойчивости используемых технологий и производственных процессов. Важно также развивать и внедрять новые технологии, которые будут более экологически безопасными и устойчивыми. Кроме того, необходимо проводить мониторинг и оценку воздействия технологий и производственных процессов на окружающую среду, а также обучать население мерам безопасности и защите окружающей среды. Техногенные и экологические риски являются серьезной угрозой для нашего мира и требуют внимания и действий со стороны общества, правительства и бизнеса. Поддержка экологически чистых технологий и ответственное поведение каждого из нас поможет сохранить природные ресурсы и обеспечить благополучие будущим поколениям.

***Литература***

1 Закон Кыргызской Республики от 17 июня 1999 года № 58 «О радиационной безопасности населения Кыргызской Республики» (В редакции Законов КР от 28 февраля 2003 года № 48, 1 августа 2003 года № 168, 28 марта 2014 года № 53, 18 июня 2021 года № 72)

2 Радиационная защита и безопасность источников излучения: Международные основные нормы безопасности, Вена, МАГАТЭ (2014г.) https://www-pub.iaea.org/MTCD/ publications /PDF/Pub1578_R_web.pdf

3 Разработка геоинформационной системы для анализа экологических рисков и оценки радиационной безопасности на тер-

риториях с радиоактивными загрязнениями / И. А. Козырев, А. В. Яковлев, Д. С. Баландина // Экология и промышленность России. – 2018. - № 4.

4 Радиационная безопасность населения и территории Кыргызской Республики / Сост. Б.Р. Айдаралиев, Е.А. Тойчубеков, Б.С. Ордобаев, Н.Дж. Садабаева. Бишкек: Изд-во КРСУ, 2016. 192 с.

## СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПОВЕРХНОСТНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РАДИОНУКЛИДОВ В ЗОНЕ ЧЕРНОЗЁМНЫХ ПОЧВ ПРИРОДНЫХ, ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННЫХ И УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ

*Е.Ю. Антонова, Е.Ю. Антонова, В.А. Бобылев, Е.А. Бураева*
*Южный федеральный университет, г. Ростов-на-Дону, Россия*

Географически Ростовская область расположена на юге Европейской России в зоне Южно-Русской равнины, сливающейся своей южной частью с Предкавказскими равнинными степями. Преобладающими почвами Ростовской области являются черноземы (62%) и каштановые почвы (23%) [1]. В отличие от каштановых почв черноземы имеют более мощный гумусовый горизонт и содержат больший процент гумуса. В чернозёмной почвенной зоне Ростовской области находятся следующие особо охраняемые природные территории: Персиановская заповедная степь, Приазовская степь (хут. Недвиговка), Ботанический сад, Черная балка. Эти территории были выбраны для описания естественных почв, поскольку эти природные комплексы наименее подвержены антропогенному воздействию. В качестве природно-техногенных территорий Ростовской области были выбраны: Новочеркасская ГРЭС и предприятие по обращению с радиоактивными отходами ФГУП «РосРАО». Радиационная обстановка данных территорий обусловлена не только естественной радиоактивностью окружающей среды, но постоянным воз-

действием промышленных предприятий. Для изучения урбанизированных территорий были выбраны почвы г. Ростов-на-Дону, который является административным центром Ростовской области и Южного федерального округа России. Имеет статус города-миллионника и является крупным административным, экономическим, культурным, научным, образовательным, промышленным центром и важнейшим транспортным узлом на юге России.

Целью данной работы является анализ и сравнение поверхностного распределения естественных и искусственных радионуклидов в черноземных почвах урбанизированных, природных и природно-техногенных территорий Ростовской области. При анализе проб почвы на различные гамма-излучатели естественного происхождения ($^{40}$K, $^{226}$Ra и $^{232}$Th) и на $^{137}$Cs, имеющий антропогенное происхождение, была проведена сравнительная характеристика распределения радионуклидов по поверхности почвы. Наибольший разброс значений удельной активности $^{137}$Cs наблюдается в почвах природно-техногенных территорий, а наименьший – урбанизированных. Значения медианы указаны по возрастанию: урбанизированные (12,60 Бк/кг), природные (15,67 Бк/кг), природно-техногенные (22,29 Бк/кг).

При изучении естественных радионуклидов можно заметить, что наименьшие значения удельной активности относятся к урбанизированным территориям. Для $^{226}$Ra средние значения, указанные по возрастанию: урбанизированные (18,80 Бк/кг), природно-техногенные (22,91 Бк/кг), природные (25,35 Бк/кг). Для $^{232}$Th средние значения, указанные по возрастанию: урбанизированные (21,75 Бк/кг), природные (30,35 Бк/кг), природно-техногенные (31,02 Бк/кг). Для $^{40}$K средние значения, указанные по возрастанию: урбанизированные (342,25 Бк/кг), природные (423 Бк/кг), природно-техногенные (475 Бк/кг). В ходе изучения характера распределения естественных $^{40}$K, $^{226}$Ra и $^{232}$Th и $^{137}$Cs, имеющего техногенное происхождение, в верхнем слое почвы исследуемых территорий установлено, что удельная активность радионуклидов в почвенных образцах в основном соответствует среднемировым значениям и характерна для Ростовской области и г. Ростов-на-Дону.

*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 Национальный атлас почв Российской Федерации. – М. Астрель: АСТ, 2011. – 632 с.

## РИСК ВОЗДЕЙСТВИЯ НА РАБОТАЮЩИХ ПЕСТИЦИДА НА ОСНОВЕ ЛЯМБДА-ЦИГАЛОТРИНА

*О.В. Артемова, Л.С. Тарасова*
*ФБУН «Федеральный научный центр гигиены им. Ф.Ф. Эрисмана» Роспотребнадзора, г. Мытищи, Россия*

Для предупреждения и снижения риска неблагоприятного воздействия пестицидов на работающих и население ФБУН «ФНЦГ им. Ф.Ф. Эрисмана» в рамках регистрационных испытаний новых препаратов проводит гигиенические исследования по оценке условий их применения при различных технологиях. По результатам испытаний принимается решение о возможности государственной регистрации пестицидных препаратов на территории России, устанавливаются оптимальные регламенты применения, техника и технологии [1].

В сельском и личном подсобном хозяйствах (ЛПХ) широко применяются инсектициды на основе лямбда-цигалотрина, относящиеся к 3 классу опасности (умеренно опасные) для человека и ко 2 классу опасности (высоко опасные) по стойкости в почве [2].

Лямбда-цигалотрин относится к пиретроидам второго типа, представляет собой бесцветное твердое вещество без запаха, является смесью изомеров (1:1) цигалотрина — (S)-α-циано-3-феноксибензилового эфира (Z)-(1R)-цис−3-(2-хлор-3,3,3-трифторпропенил)-2,2-метилциклопропанкарбоновой кислоты и (R)-α-циано-3-феноксибензилового эфира (Z)-(1S)-цис−3-(2-

хлор-3,3,3-трифторпропенил)-2,2-диметилциклопропанкарбоновой кислоты [3].

ФНЦГ Ф.Ф. Эрисмана в экспериментальных исследованиях в натурных условиях были изучен пестицид на основе лямбда-цигалотрина при обработке полевых и садовых культур наземным способом, при обработке полевых культур авиаспособом, садовых культур в условиях ЛПХ.

Для расчета коэффициентов безопасности при комплексном (ингаляционном и дермальном) воздействии лямбда-цигалотрина по экспозиционным уровням (КБсумм) использована величина ОБУВ в воздухе рабочей зоны – 0.1 мг/м$^3$ и ОДУзкп (ориентировочно допустимый уровень загрязнения кожных покровов), равный 0.000069 мг/см$^2$, рассчитанный с учетом острой кожной токсичности ($LD_{50}$>632мг/кг) и коэффициента запаса 20, исходя из 3 класса по острой кожной токсичности и 3-4 класса по отдаленным эффектам [4].

Для расчета риска по поглощенной дозе (КБп) установлен ДСУЭО (допустимый суточный уровень экспозиции для работающих). При оценке риска пестицидов в ЛПХ для пользователей ДСУЭО равен ДСД (допустимая суточная доза), которая составляет для лямбда-цигалотрина 0,002 мг/кг.

При оценке экспозиционных уровней и поглощенной дозы для работающих при применении наземным способом на полевых и садовых культурах препарата на основе лямбда-цигалотрина установлен допустимый риск: КБсумм – 0.046 – 0.0603, КБп – 0.0225-0.0269, при применении авиаспособом для заправщика, пилота и сигнальщика КБсумм составил 0.0558, КБп – 0.0333, при применении в условиях ЛПХ КБсумм для пользователя составил 0.0414, КБп – 0.0456. Риск для работающих считается допустимым при КБсумм и КБп ≤1.

Сделан вывод, что условия применения пестицида на основе лямбда-цигалотрина при наземном штанговом и вентиляторном опрыскивании полевых и садовых культур, при обработке авиаметодом полевых культур, при обработке садовых культур в ЛПХ, соблюдении регламентов и мер безопасности соответствуют гигиеническим требованиям.

***Литература***

1 Тарасова Л.С., Артемова О.В. Гигиеническая оценка загрязнения воздуха при применении пестицидов авиаметодом // Здоровье населения и среда обитания. 2018. № 11 (308). С. 40-45.

2 https://www.agroxxi.ru/goshandbook/wiki/pesticides.

3 Мельников Н.Н., Новожилов К.В., Белан С.Р. Пестициды и регуляторы роста растений: справочник. – М.: Химия, 1995. – 575 с.

4 МУ 1.2.3017-12. Оценка риска воздействия пестицидов на работающих. Методические указания. – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2012.

## ОЦЕНКА ГАММА-ФОНА В ЗОНЕ НАБЛЮДЕНИЯ НОВОВОРОНЕЖСКОЙ АЭС

*С.С. Белицкая, Е.А. Бураева*
*Южный федеральный университет, г. Ростов-на-Дону, Россия*

Данное исследование посвящено оценке распределения гамма-фона (мощности эквивалентной дозы гамма-излучения, МЭД) в приземном слое воздуха города Нововоронеж и зоны наблюдения Нововоронежской АЭС, включая поселения: с. Аношкино, х. Осинки, х. Михайловка, п. Колодезный, с. Архангельское, х. Пашенково. Измерения проводились на открытых территориях методом пешеходной гамма-съёмки при помощи дозиметра-радиометра ДКГ-РМ1621А. Данные по гамма-фону были обработаны и проанализированы с применением программных средств MsOffice, Origin и Statistica.

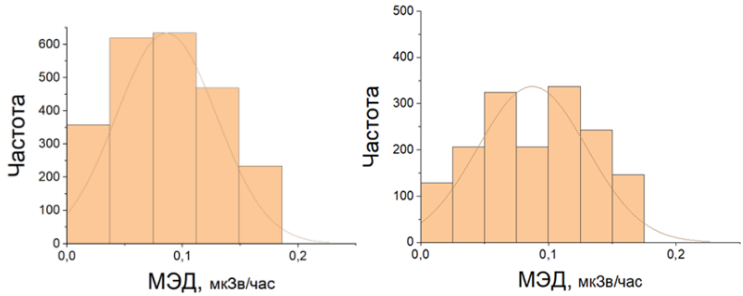



Рис. 1. Распределение МЭД на открытой территории. а) г. Нововоронеж; б) в зоне наблюдения Нововоронежской АЭС

Гамма-фон в г. Нововоронеж и в зоне наблюдения Нововоронежской АЭС распределен достаточно равномерно (рис. 1). Среднее арифметическое, среднее геометрическое, модальное, медианное значения МЭД совпадают в пределах стандартного отклонения – 0,04 мкЗв/ч. Подобные значения МЭД на открытых участках города Нововоронеж и зоны наблюдения Нововоронежской АЭС не нарушают требований, установленных НРБ-99/2009, и соответствуют среднемировым значениям для урбанизированных территорий.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ (Государственное задание в сфере научной деятельности 2023 г.). Проект № FENW-2024–0010/(ГЗ0110/23-11-ИФ).*

## РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ЗОНЫ НАБЛЮДЕНИЯ ВОЛГОДОНСКОЙ (РОСТОВСКОЙ) АЭС

*В.А. Бобылев, Е.А. Бураева*
*Южный федеральный университет, г. Ростов-на-Дону, Россия*

В настоящее время многие предприятия ядерной топливной энергетики могут быть потенциальными источниками поступления в окружающую среду искусственных радионуклидов (ИРН). В Ростовской области таким предприятием является Ростовская (Волгодонская) АЭС (РоАЭС).

Целью данной работы является изучение распределения искусственного радионуклида $^{137}Cs$ в почвах тридцатикилометровой зоны наблюдения Ростовской АЭС. Объектами исследования настоящей работы являются почвы степной зоны данного региона, находящиеся в 30-километровой зоне наблюдения Ростовской АЭС. Пробы почв отбирались каждый год на протяжении более 20 лет с 1999 г. в летний сухой период. На всех контрольных участках зоны наблюдения РоАЭС выполнялась гамма-дозиметрия с использованием дозиметров-радиометров типа ДРБП-03, СРП-88н, ДКС-96.

Мощность эквивалентной дозы гамма-излучения (МЭД, гамма-фон) на территории РоАЭС с 2000 по 2024 гг. не изменяется и в среднем составляет 0,13-0,14 мкЗв/ч, с максимальным значением в 0,24 мкЗв/ч. Полученные значения совпадают с данными [1] и не превышают результаты предпускового радиоэкологического мониторинга («нулевого фона») зоны наблюдения РоАЭС, проводимого в 1999-2000 гг.

*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***

2. Шершаков В.М., Булгаков В.Г., Крышев И.И. и др. Радиационная обстановка на территории России и сопредельных государств в 2023 году. – Обнинск,2019. – С. 228-234.

## АНАЛИЗ СЛУЧАЕВ ОБНАРУЖЕНИЯ КРАТКОВРЕМЕННОГО ПОВЫШЕНИЯ СУММАРНОЙ БЕТА-АКТИВНОСТИ НА СЕТИ РАДИАЦИОННОГО МОНИТОРИНГА РОСГИДРОМЕТА

*Е.Г. Богачева, О.Н. Полянская, А.А. Зубачева*
*ФГБУ «НПО «Тайфун», г. Обнинск, Россия*

В докладе представлены результаты анализа накопленных за период 2016-2023 гг. случаев, соответствующих критериям по-

вышенных уровней радиоактивного загрязнения воздуха в соответствии с [1,2]. Данные критерии изменения радиационной обстановки используются в подразделениях Росгидромета для принятия решения о степени детальности мониторинга и изменения регламента работы сети (например, перехода на учащенный режим наблюдений).

Пробы атмосферных аэрозолей приземного слоя воздуха и радиоактивных выпадений, относящиеся к случаям обнаружения кратковременного повышения суммарной бета-активности, подвергаются γ-спектрометрическому и радиохимическому анализу с целью определения причин повышений фона.

На рис.1 представлено общее количество случаев регистрации повышенных уровней радиоактивного загрязнения воздуха на пунктах сети радиационного мониторинга Росгидромета за последние восемь лет.

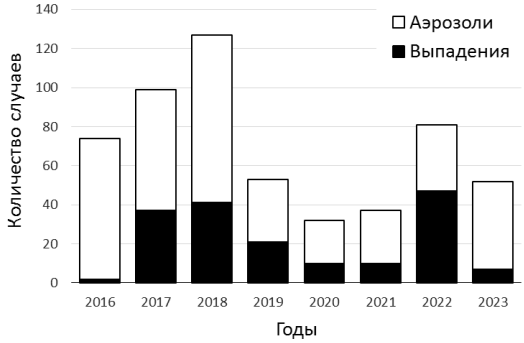



Рис. 1. Количество случаев регистрации повышенных уровней радиоактивного загрязнения воздуха

В преобладающем количестве случаев техногенные радионуклиды в пробах отсутствуют. Наиболее возможными причинами возникновения повышений фона могут являться увеличение концентрации радионуклидов естественного происхождения в приземной атмосфере вследствие сжигания углеводородного топлива при работе теплоэлектроценталей (ТЭЦ), ветрового подъема пыли, попадания аэрозолей от промышленных предприятий и автотранспорта, а также различных метеорологических процессов.

***Литература***

1 Приказ Росгидромета от 31.10.2000 № 156 «О введении в действие порядка подготовки и представления информации общего назначения о загрязнении окружающей природной среды».

2 РД 52.18.826-2015 «Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Выпуск 12. Наблюдения за радиоактивным загрязнением компонентов природной среды». – 2015. – 96 с.

## АЛГОРИТМ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТРИТИЯ В БИОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТАХ ЖИВОТНОГО И РАСТИТЕЛЬНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ С ПОСЛЕДУЮЩИМ ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ В ОЦЕНКЕ РИСКА ЗДОРОВЬЯ НАСЕЛЕНИЯ

*Л.Г. Бондарева*
*ФБУН «Федеральный научный центр гигиены им. Ф.Ф. Эрисмана» Роспотребнадзора, г. Мытищи, Россия*

В связи с современными требованиями по контролю состояния наземной и водной экосистем остро возникает проблема определения содержания низкофонового радионуклида – трития. Активно включается в круговорот воды в природе, способен накапливаться в биологических объектах, превращаясь в более токсичный, а значит приносящий больший вред здоровью человека – органически связанный тритий. Основной сложностью при определении содержания трития в биологических матрицах является выделение и очистка соединений трития от компонентов матрицы. Поэтому научное обоснование целенаправленных гигиенических и медико-профилактических мероприятий по сохранению здоровья населения, создание новых подходов и методов для количественного определения химических, в том числе и радиоактивных, загрязняющих веществ компонентов окружающей среды для обеспечения безопасности и здоровья людей, с последующей оценкой риска, являются актуальными.

Цель алгоритма определения трития в биологических объектах животного и растительного происхождения заключается в потенциальной оценке радиационного риска населения, проживающего в пойме водоема, а также использующего воду, рыбу в процессе жизнедеятельности в общем, в том числе и в процессе профессиональной деятельности, связанной с разведением, добычей и переработки рыбной продукции, с точки зрения сохранения общественного здоровья населения.Схема алгоритма приведена на рис. 1.

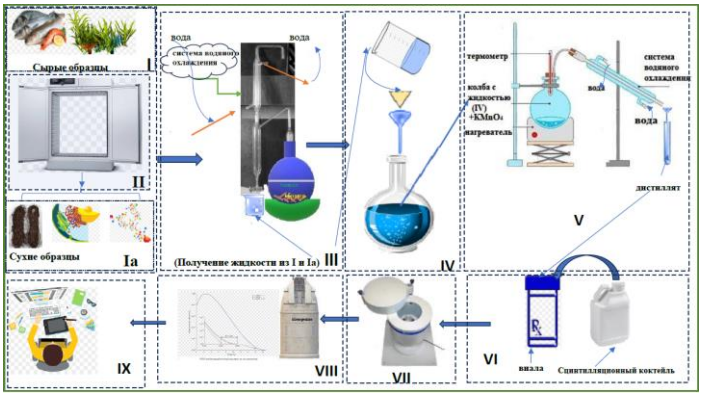



Рис. 1. Схема: «Алгоритм определения трития в биологических объектах растительного и животного происхождения с последующим использованием в оценке риска здоровья населения» [1]

Задачи, которые решаются с помощью алгоритма определения трития, это:

- проведение постоянного контроля содержания трития в образцах животного и растительного происхождения, в том числе в рыбной продукции коммерческих торговых предприятиях, изучение воздействия комплекса различных факторов, представляющих угрозу здоровью населения;

- усовершенствование существующих и разработка нового более эффективного алгоритма определения содержания трития в объектах животного и растительного происхождения для оценки эколого-гигиенического риска населения, а также в продуктах питания состоящих из рыбы, морепродуктов и продук-

ции их них, в целях обеспечения их безопасности и сохранения здоровья человека.

***Литература***

1 Кузьмин С.В., Федорова Н.Е., Бондарева Л.Г. Схема: «Алгоритм определения трития в биологических объектах растительного и животного происхождения с последующим использованием в оценке риска здоровья населения». Патент (Промышленный образец) № 140597. 15.02.2024 г.

## РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЕСТЕСТВЕННЫХ РАДИОНУКЛИДОВ В КОМПОНЕНТАХ ЭКОСИСТЕМ НА ПРИМЕРЕ ГОРНОЙ АДЫГЕИ

*У.А. Величко, Е.А. Бураева*
*Южный федеральный университет, г. Ростов-на-Дону, Россия*

Анализ данных по содержанию естественных радионуклидов (ЕРН) $^{40}$K, $^{226}$Ra и $^{232}$Th в различных объектах экосферы является одним из основных способов контроля радиационной обстановки отдельных участков местности, так как данные радионуклиды являются дозообразующими и на природных территориях, наряду с радоном, формируют гамма-фон на открытой местности.

Республика Адыгея – район с большим разнообразием почв, пород, растительного покрова, в том числе и с повышенным содержанием $^{40}$K, $^{226}$Ra, $^{232}$Th. Работа посвящена изучению распределения ЕРН в различных компонентах экосистем на территории Майкопского района, отобранных в экспедициях 2017-2018 гг. Образцы пород и растений отбирались на участках вдоль трассы Майкоп-Гузерипль на выходах (обнажениях) различных пород. Удельную активность радионуклидов в образцах пород и растений определяли гамма-спектрометрическим методом на сцинтилляционном спектрометре «Прогресс-Гамма». Методики отбора и подготовки проб использовались стандартные. Перед отбором проб измеряли мощность эквивалентной дозы гамма-

излучения (МЭД, мкЗв/ч) дозиметрами-радиометрами ДРБП-03 и СРП-88н.

Фоновая МЭД вдоль трассы Майкоп-Гузерипль составляет 0,10-0,17 мкЗв/ч, вариации МЭД от выходов горных пород (преимущественно граниты, гранодиориты) на расстоянии 2-3 см значительно шире – 0,10-0,40 мкЗв/ч. Содержание ЕРН в образцах гранитоидов довольно высокое, эффективная активность изменяется в пределах 250-370 Бк/кг, за исключением выветрелых пород.

В Камнеломке (лат. Saxifraga) $^{226}$Ra фиксируется только в корнях, а $^{232}$Th и $^{40}$K еще и в стеблях и соцветиях. Можно предположить, что это связано с тем, что слабоподвижный радий неравномерно распределен в различных участках биосферы. Накопление радия в органах и тканях растений зависит от вида растения и условий его произрастания. Как правило, в корнях и листьях травянистых растений радия больше, чем в стеблях и органах размножения. В растительном организме калий находится преимущественно в виде ионов, рыхло связанных с протоплазмой. Главная физиологическая функция калия заключается в способности повышать обводненность протоплазмы и увеличивать ее водоудерживающую силу. Торий – достаточно слабоподвижен и его накопление растительностью может быть обусловлено механическим загрязнением органов растений.

Исследования по оценке накопления и переноса радионуклидов в различных компонентах экосистем необходимы и для расчетов дозовых нагрузок на территориях с природными и искусственными источниками ионизирующих излучений, а также для выявления растений-индикаторов, характерных для данной местности.

*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).*

# РАСЧЕТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ АКТИВАЦИИ БОРИРОВАННОГО И СИЛИКАТНОГО СТЕКЛА ПРИ ОБЛУЧЕНИИ ПОТОКОМ ТЕПЛОВЫХ НЕЙТРОНОВ

*Т.П. Воложенинов, Д.О. Касков, О.Л. Ташлыков*
*Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия*

Особенностью проектирования защиты от нейтронного излучения является необходимость учета генерации (возникновения) вторичного гамма-излучения в результате взаимодействия нейтронов с атомами защитного материала, а также возникновение наведенной гамма-активности в результате активации элементов защитного материала проходящим нейтронным излучением.

Целью работы является исследование активации потоком тепловых нейтронов легированных радиационно-защитных стекол и анализ динамики изменения вторичного гамма-излучения во времени.

Для проведения облучения были подготовлены три партии образцов стекол, каждая из которых облучалась в сухом канале реактора ИВВ-2М в течение определенного времени (от 1 до 7 сут) [1]. Для определения активности и нуклидного состава стекол после облучения образцы исследовались на гамма-спектрометре ORTEC DPSEC jr 2.0 с детектором GEM40P4- 83-SMP [2].

Для сравнения и оценки потенциальной опасности для человека гамма-излучения активированных стекол, используя результаты нейтронно-активационного анализа, были рассчитаны мощности дозы при помощи компьютерного моделирования методом Монте-Карло. В качестве примера на рис. 1 представлены результаты моделирования мощности дозы образцов стекол партии №3 (флюенс – $15{,}86 \cdot 10^{17}$ нейтр/см$^2$, поглощенная доза – 12,10 МГр).

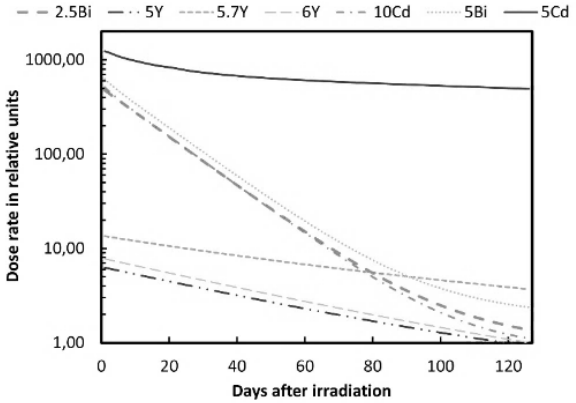



Рис. 1. Зависимость мощности дозы облученных стекол от времени

Как показывают результаты исследования, образцы стекол, легированных иттрием, имеют наименьшие значения мощности дозы.

Образцы стекол, содержащие кадмий, имеют высокую наведенную гамма-активность в течение длительного времени. Это связано с образованием долгоживущего изотопа $^{65}$Zn.

***Литература***

1 Ташлыков О.Л., Щеклеин С.Е., Русских И.М. и др. Оптимизация состава гомогенных радиационно-защитных материалов применительно к планируемым условиям облучения // Атомная энергия. 2016. Т. 121. № 4. С. 233-236.

2 Tashlykov O.L., Litovchenko V. Yu., Aristov N.M., Mahmoud K.A. Analysis for the secondary gamma-ray emission for glasses irradiated with various doses of fast neutron: Case study borate and silicate glasses // Nuclear Engineering and Technology. 2023. V. 55. P. 2366-2372.

# ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ СОДЕРЖАНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ОТХОДОВ НА РАДИАЦИОННО-ЗАЩИТНЫЕ СВОЙСТВА ГАЛЛУАЗИТА

*И.П. Воронин, А.М. Широнина, В.Ю. Ярков, О.Л. Ташлыков*
*Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия*

Оптимизация эффективных составов радиационно-защитных материалов может быть использована для применения принципа оптимизации радиационной защиты персонала [1]. В настоящее время особое внимание уделяется композитным материалам, где в качестве матрицы могут быть использованы полимеры, цемент или глина. Композитные материалы широко применяются в качестве радиационной защиты благодаря возможности изменять состав наполнителя, их весу, механическим свойствам и хорошей способности ослаблять излучение.

Галлуазит – уникальный слоистый материал, который представляет собой свернутые в нанотрубки слои алюмосиликатной глины. Данный материал имеет плотность в пределах 2–2,2 г/см$^3$, поэтому его способность ослаблять фотоны высоких энергий невелика. Целью данной работы является повышение экранирующей способности галлуазита по отношению к гамма-излучению за счет добавления металлических отходов и увеличения плотности образцов с помощью прессования.

Были исследованы 4 образца из галлуазита с добавлением 10% эпоксидной смолы и 0%, 10%, 20%, 40% металлических отходов (рис. 1). Образцы подвергали прессованию под давлением 114,24 МПа для повышения их плотности. Исследование микроструктуры галлуазита и отходов было проведено с помощью микроскопа Tescan MIRA3 LMU, который позволяет получить изображения объёмных электронно-плотных образцов путём сканирования тонко сфокусированным пучком электронов (рис. 2). По пяти полученным спектрам были определены усредненные значения элементов, входящих в состав образцов.

Для теоретической оценки значений линейного коэффициента ослабления использован программный пакет PHY-X.



Рис. 1. Образцы из галлуазита с различным содержанием металлических отходов

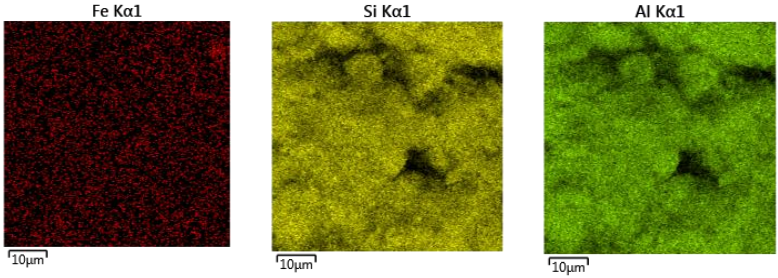



Рис. 2. Изображения с электронного микроскопа

Результаты расчета показали, что с увеличением концентрации металлических отходов, линейный коэффициент ослабления изменяется от 0,1327 до 0,1674 $см^{-1}$, что составляет 26,1%.

***Литература***

1 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.

# ОЦЕНКА РАДИАЦИОННОЙ ОБСТАНОВКИ В НАСЕЛЁННЫХ ПУНКТАХ ОКТЯБРЬСКОГО РАЙОНА РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ

*Н.И. Дубров, Е.А. Бураева*
*Научно-исследовательский институт физики ЮФУ,*
*Ростов-на-Дону, Россия*

В пределах природно-техногенной зоны Новочеркасской ГРЭС расположены различные населенные пункты и сельскохозяйственные поля. Новочеркасская ГРЭС, работающая на угле и газе, является потенциальным источником естественных радионуклидов в окружающей среде.

Работа посвящена оценке дозовых нагрузок на население от природных источников ионизирующих излучений на открытых территориях и в жилых помещениях в пределах населенных пунктов вокруг Новочеркасской ГРЭС.

Использовался метод пешеходной гамма-съемки с применением стандартных приемов дозиметрического контроля и дозиметров-радиометров для измерения мощности эквивалентной дозы гамма-излучения. Удельная активность радионуклидов в почвах была определена гамма-спектрометрическим методом, а объемная активность радона измерялась методом пассивной сорбции [1-4]. Средние годовые эффективные дозы от природных источников ионизирующего излучения на открытых территориях и в зданиях Октябрьского района Ростовской области приведены в табл. 1.

Таблица 1

Годовая эффективная доза на открытых территориях и в помещениях Октябрьского района

| Доза, мЗв/г | Открытые территории | Помещения |
|---|---|---|
| $H_\gamma$ | 0,17 | 0,90 |
| $H_{NR}$ | 0,06 | -//- |
| $H_{Cs}$ | 0,01 | -//- |
| $H_{Rn}$ | -//- | 0,04 |
| $\Sigma$ | 0,24 | 0,94 |

$H_\gamma$ – годовая эффективная доза гамма-излучения;
$H_{NR}$ – годовая эффективная доза естественных радионуклидов;
$H_{Cs}$ – годовая эффективная доза искусственных радионуклидов;
$H_{Rn}$ – годовая эффективная доза $^{222}Rn$ в помещениях;
Σ – годовая эффективная доза на открытых территориях и в помещениях.

Полученные в данной работе результаты оценки дозовых нагрузок на население Октябрьского района Ростовской области показывают, что годовые эффективные дозы от природных источников ионизирующих излучений не нарушают требований НРБ-99/2009 и обусловлены инфраструктурой, крупными предприятиями, сельским хозяйством.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ (Государственное задание в сфере научной деятельности 2023 г.). Проект № FENW-2024–0010/(ГЗ0110/23-11-ИФ).*

***Литература***

1 ГКПС 14. 00.00.000 ПС. Дозиметр-радиометр ДРБП-03 с блоками детектирования БДГ-01 и БДБА-02. Паспорт (Техническое описание, инструкция по эксплуатации, формуляр).

2 ЖШ1.289.386 ПС Прибор геологоразведочный сцинтилляционный СРП-88Н. Паспорт.

3 ТУ 9442-003-13286222-03."Комплекс измерительный для мониторинга радона «КАМЕРА-01». Технические условия."

4 ФВКМ.412131.002-03РЭ Гамма-спектрометр сцинтилляционный «Прогресс-гамма».

## ВОПРОСЫ ГИГИЕНИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ УЛЬТРАФИОЛЕТОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

*А.М.Егорова*
*ФБУН «Федеральный научный центр гигиены им. Ф.Ф. Эрисмана» Роспотребнадзора, г. Мытищи, Россия*

Высокая биологическая активность УФИ требует объективного контроля уровней облученности на рабочих местах и необ-

ходимости своевременно корректировать существующие методики измерения интенсивности УФИ с учетом новых научных данных. Это обеспечит проведение надежного контроля вредного воздействия данного физического фактора на работающих и население.

УФИ излучение создается источниками, имеющими температуру выше 2000° С (электрические дуги, плазма, расплавленный металл, кварцевое стекло и т.п.), а также люминесцентными источниками, используемыми в полиграфии, химическом и деревообрабатывающем производстве, сельском хозяйстве, при кино- и телесъемках, дефектоскопии и других отраслях производства; в здравоохранении (медицинских организациях) [1].

Искусственные источники УФИ разделяются на 3 группы: открытые, закрытые и комбинированные. К открытым источникам относятся электро, газосварочные и плазменные технологии; медицинские источники (бактерицидные облучатели, средства коллективной физиотерапии и др.); различные виды ламп и облучателей, применяемых в полиграфии, дефектоскопии и др. отраслях промышленности. Функционирование открытых источников сопровождается прямым выходом УФ - излучения в рабочую зону, является наиболее опасным в условиях производства, требует специальных средств защиты, особых условий и дополнительных мер безопасности при организации работ по их обслуживанию.

Воздействие оптического излучения ультрафиолетового диапазона на организм человека является важным фактором риска нарушений здоровья. Наибольшая интенсивность УФИ в искусственных источниках света приходится на длины волн от 400 до 200 нм. Механизм возникновения биологических реакций в ответ на воздействие УФИ включает биофизические, гуморальные и нервно - рефлекторные процессы. При воздействии УФИ на организм человека возникают различные реакции со стороны отдельных органов и систем, которые зависят от дозы и длины волны УФИ. Чувствительность различных участков кожных покровов к воздействию УФИ неодинакова: наиболее чувствительна кожа живота, лица, менее чувствительна кожа конечностей. Органами – мишенями для ультрафиолетового излучения

являются кожа и глаза, а последствия его негативного воздействия на работника с точки зрения профессиональных рисков достаточно серьезны, которые могут привести к возникновению производственно- обусловленной и профессиональной патологии: фотоофтальмии, конъюнктивиты, катаракта, эритемы, ожоги кожи, онкологические заболевания – увеальная меланома, меланома кожи и др. [2].

В соответствии с санитарно-эпидемиологическими правилами и нормативами СанПиН 1.2.3685-21 "Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания" установлены гигиенические нормативы допустимых уровней ультрафиолетового излучения с учетом спектрального состава излучения. Подготовлен проект методических рекомендаций по инструментальному контролю ультрафиолетового излучения на рабочих местах в производственных помещениях при эксплуатации источников УФИ.

***Литература***

1."Санитарные нормы ультрафиолетового излучения в производственных помещениях"(утв. Главным государственным санитарным врачом СССР 23.02.1988 № 4557-88). Информационно-справочная система «Консультант-Плюс».

2. Увеальная меланома: особенности диагностики и лечения (литературный обзор). Попова М.Ю., Танцурова К.С. Вестник Совета молодых учёных и специалистов Челябинской области. 2016. Т. 1. № 4 (15). С. 61-63.

# МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ РИСКОВ НИЗКОЧАСТОТНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ И МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

*В.В. Журов*
*Российский государственный социальный университет, г. Москва, Россия*
*ФГБНУ «Научно-исследовательский институт медицины труда имени академика Н.Ф. Измерова», г. Москва, Россия*

В условиях современной индустриализации и активного развития электроэнергетики проблема воздействия низкочастотных электрических и магнитных полей воздушных линий электропередачи на окружающую среду становится всё более значимой. Рост электромагнитного загрязнения влечёт за собой необходимость научного изучения его влияния на компоненты экосистем, включая растения, животных и человека. Особенно актуальной задачей является разработка современных методов математического моделирования, которые позволят предварительно оценить экологические риски, связанные с эксплуатацией и расширением электро-энергетической инфраструктуры.

Целью работы являлась разработка математической модели низкочастотных электрических и магнитных полей, создаваемых воздушными линиями электропередачи, для оценки возможных экологических рисков.

Разработанные математические модели воздушных линий электропередачи различных классов напряжений представляют собой важный инструмент для оценки экологических рисков от воздействия электрических и магнитных полей промышленной частоты. Модель позволяет осуществлять предварительный анализ и оценку влияния электромагнитного загрязнения на различные компоненты экосистемы, что способствует своевременному выявлению и минимизации потенциальных угроз, для здоровья человека и состояния окружающей среды. Применение данной модели в экологическом мониторинге и при разработке стратегий управления электроэнергетическими объектами от-

крывает новые перспективы для повышения экологической безопасности и устойчивого развития территорий, подверженных воздействию низкочастотных электрических и магнитных полей.

Результатом работы явилась разработанная математическая модель воздушных линий электропередачи, основанная на данных, полученных при оценке уровней электрических и магнитных полей воздушных линий электропередачи напряжением 500 кВ. Данную модель можно использовать для анализа электромагнитной обстановки и оценки влияния электрических и магнитных полей промышленной частоты на различные биотические компоненты экосистемы.

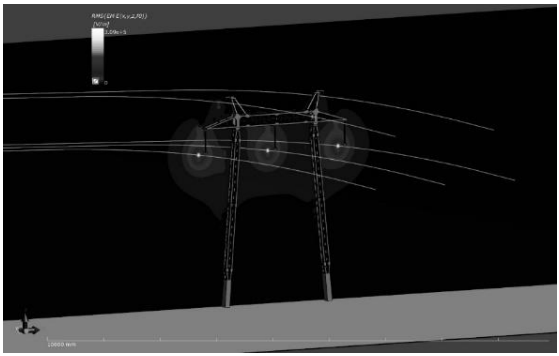


Рис. 1. Модель электромагнитной обстановки вблизи воздушных линий электропередачи 500 кВ

***Литература***

1 Абдурахманов А.М., Зимин К.А., Рубцова Н.Б. и др. Магнитные поля воздушных и кабельных линий электропередачи // Безопасность в техносфере. – 2014. – Т.3. – №2. – С. 52-63.

# ОЦЕНКА РИСКА ВОЗДЕЙСТВИЯ НА РАБОТАЮЩИХ ГЕРБИЦИДОВ НА ОСНОВЕ ПРОПИЗОХЛОРА

*Н.Г. Заволокина*
*ФБУН «Федеральный научный центр гигиены им. Ф.Ф. Эрисмана» Роспотребнадзора, г. Мытищи, Россия*

За последние годы на территории Российской Федерации увеличилось количество посевов рапса, подсолнечника и сои, что стимулирует спрос на средства защиты этих растений. В частности, широко используются гербициды на основе пропизохлора.

Пропизохлор (2-хлор-6'-этил-N-изопропоксиметилацетат-орто-толуидид, ИЮПАК) – системный гербицид избирательного действия из класса хлорацетанилидов. Ингибирует синтез белков и нуклеиновых кислот, подавляя рост корней сорных растений.

Препараты на основе пропизохлора отнесены ко 2 классу опасности (высоко опасные) из-за наличия эмбриотоксического и аллергенного действия. По стойкости в почве действующее вещество относится к 3 классу опасности, а его метаболиты – к 1 классу [1]. Токсичен для печени млекопитающих и подавляет иммунитет человека и животных [2]. Применение препаратов на основе пропизохлора запрещено в личном подсобном хозяйстве, а в сельском хозяйстве – авиационным способом.

Для предупреждения неблагоприятных последствий для работающих с пестицидом ФНЦГ им. Ф.Ф. Эрисмана проведены гигиенические исследования по определению экспозиционных уровней пропизохлора при штанговом опрыскивании полевых культур препаратами на его основе, а также оценка риска [3].

Изучены условия труда при опрыскивании посевов рапса и кукурузы шестью различными гербицидами с содержанием пропизохлора 720 г/л и нормой расхода 2-3 л/га.

В результате расчетов, риск ингаляционного воздействия пропизохлора на работающих, определяемый величиной коэффициента безопасности КБинг, для всех препаратов был в диа-

пазоне 0,03 – 0,13 (ориентировочный безопасный уровень воздействия пропизохлора составляет 0,8 мг/м$^3$).

Риск дермального воздействия, определяемый величиной коэффициента безопасности КБд, варьировался в диапазоне от 0,01 – 0,1. Ориентировочно допустимый уровень загрязнения кожных покровов, ОДУзкп, пропизохлора, равный 0,000543 мг/см$^2$, установлен исходя из данных по острой кожной токсичности: ЛД50 > 5000 мг/кг и коэффициента запаса 20, обусловленным аллергенным и эмбриотоксическим действием.

Риск комплексного (ингаляционного и дермального) воздействия, характеризующийся величиной КБсумм, для работающих составил 0,005 – 0,13, при допустимом ≤ 1.

Допустимый суточный уровень экспозиции для операторов (ДСУЭО) рассчитан исходя из недействующей дозы пестицида, установленной в хроническом эксперименте на животных (NOELch) и коэффициента запаса, определяемого в зависимости от класса опасности вещества. ДСУЭО пропизохлора, с учетом NOELch, равного 5,0 мг/кг и коэффициента запаса 40, равен 0,125 мг/кг.

Рассчитанный для работающих риск воздействия по поглощенной дозе, КБп, составил 0,012 – 0,11, при допустимом ≤ 1.

Установленный допустимый риск позволяет сделать вывод, что условия труда при применении препаратов на основе пропизохлора при соблюдении регламентов и мер безопасности соответствуют гигиеническим требованиям.

***Литература***

1 Методические рекомендации МР 1.2.0235-21. Гигиеническая классификация пестицидов и агрохимикатов по степени опасности. Утверждены Постановлением Главного государственного санитарного врача РФ от 15 февраля 2021 г.

2 Liu Y., Ye L., Chen H. et al. Herbicide propisochlor exposure induces intestinal barrier impairment, microbiota dysbiosis and gut pyroptosis // Ecotoxicol. Environ. Saf. 2023. V. 262. 115154. doi: 10.1016/j.ecoenv.2023.115154.

3 Оценка риска воздействия пестицидов на работающих / Методические указания. МУ 1.2.3017-12. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2012. – 15 с.

## МОДЕРНИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДАННЫМИ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ В ЧАСТИ РАДИАЦИОННОГО МОНИТОРИНГА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

*М.Н. Каткова, И.А. Куприянова*
*ФГБУ «НПО «Тайфун», г. Обнинск, Россия*

Проведена 5-летняя работа по модернизации технологии обеспечения данными пользователей путем создания электронного архива данных о радиационном загрязнении компонентов природной среды. Актуальной является целевая постановка задачи, которая основана на анализе массива часто повторяющихся профессиональных запросов о среднегодовых и месячных значениях содержания отдельных радионуклидов в компонентах природной среды.

Модернизация технологии обеспечения пользователей данными велась в рамках одной из тем научно-исследовательских и технологических работ (НИТР), касающейся разработки цифровизированного архива данных о содержании радиоактивных веществ в объектах окружающей среды, её загрязнении, с акцентом на технологию обеспечения пользователей в Институте Проблем Мониторинга НПО «Тайфун».

Разработан пользовательский интерфейс, ядром которого является информационно-справочная база данных Сети радиационного мониторинга (СРМ). База данных включает Справочник пунктов наблюдений на территории России с обозначением субъектов РФ, объекты анализа, концентрации радионуклидов в природных средах (воздух, вода, осадки), единицы измерения и другую справочную информацию, требующуюся для различных отчётов, справок и запросов.

Цель разработки модуля пользовательского интерфейса электронного архива состоит в сохранении первичных и обобщен-

ных данных о содержании радионуклидов в компонентах природной среды, полученных на СРМ, а также в существенном сокращении времени поиска данных для подготовки основных отчетных документов по работе СРМ и подготовки Ежегодника «Радиационная обстановка на территории России и сопредельных государств».

Такой подход к технологии обеспечения профессиональных пользователей даёт возможность пользователям разных групп получить быстрый доступ к данным и сопутствующей информации, необходимым для принятия согласованных решений (особенно это важно, если над задачей работает команда участников).

## ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МОЩНОСТИ АМБИЕНТНОГО ЭКВИВАЛЕНТА ДОЗЫ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ НА ТЕРРИТОРИИ НЕКЛИНОВСКОГО РАЙОНА РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ

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

Исследование мощности амбиентного эквивалента дозы (МАЭД) гамма-излучения является важной частью обеспечения радиационной безопасности. Объектом для исследования стала юго-западная часть Неклиновского района Ростовской области. В данном районе располагается множество детских оздоровительных центров и различных баз отдыха.

Целью исследования является анализ уровня МАЭД в населенных пунктах Неклиновского района Ростовской области в сравнении с Нормами радиационной безопасности Российской Федерации (НРБ-99/2009).

Для исследования распределения МАЭД на территории Неклиновского района был использован поисковый дозиметр-радиометр ДКС-96 с блоком детектирования БДКС-96с [1], а также стандартные методики дозиметрического контроля [1].

В ходе исследования радиационной обстановки на территории Неклиновского района и анализа полученных данных из

пешеходной гамма-съемки можно сделать следующие выводы: МАЭД гамма-излучения на территории варьирует от 0,02 мкЗв/ч до 0,23 мкЗв/ч, среднее значение МАЭД по всей территории не превышает 0,11 мкЗв/ч (рис. 1).

Все полученные значения МАЭД не превышают требований НРБ-99/2009 и характерны для Ростовской области.

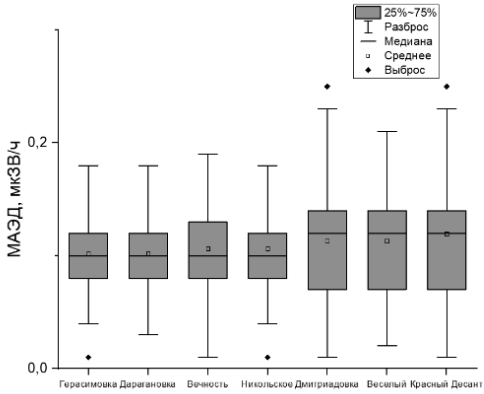



Рис. 1. Данные полученные в ходе исследования

*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 ТЕ1.415313.003РЭ Дозиметры-радиометры ДКС-96. Паспорт. Руководство по эксплуатации.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ЭРОА РАДОНА В ВОЗДУХЕ ДЕТСКИХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ УЧРЕЖДЕНИЙ Г. СНЕЖИНСК

*С.М. Киселёв[1], В.В. Шлыгин[1], Ю.Н. Зозуль[1], С.В. Ахромеев[1], А.Н.Малахова[1], Ф.Ф. Файзрахманов[2]*
*[1] – ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им.А.И.Бурназяна ФМБА России, г. Москва, Россия*
*[2] – ФГБУЗ ЦГиЭ № 15 ФМБА, г. Снежинск России*

Мониторинг радона и его дочерних продуктов распада в воздухе детских образовательных учреждений осуществляется на систематической основе учреждениями санитарно-эпидемиологического надзора на предмет соответствия эксплуатируемых помещений требованиям нормативных документов. Вместе с тем, как показывает практика, охват детских образовательных учреждений радоновыми обследованиями сильно варьирует от региона к региону, составляя в некоторых регионах менее 1% зданий данной категории [1]. Для повышения эффективности мониторинга с целью выявления зданий, требующих проведения радонозащитных мероприятий, важным является накопление и систематизация научных данных о характеристиках эксплуатируемых зданий, их конструкционных особенностях, определяющих повышенные уровни накопления радона в воздухе эксплуатируемых помещений. Целью работы являлось исследование радоновой обстановки в детских садах и школах ЗАТО г. Снежинск Челябинской области и определение «критической группы» зданий дошкольных и образовательных учреждений, характеризующихся повышенным содержанием радона в воздухе помещений. Измерения объемной активности радона проводили с использованием камер РЭИ-4 с пленочными трековыми детекторами комплекта ТРЕК-РЭИ 1М в помещениях пребывания детей на первых этажах зданий. Для сопоставления с нормируемой величиной расчет $ЭРОА_{Rn}$ проводили с учетом фактора равновесия F=0,5. Основная часть детских учреждений относится к периоду постройки 1950-1970 гг., больше половины из них – кирпичные. В большинстве зданий этого периода постройки установлены пластиковые стеклопакеты. $ЭРОА_{Rn}$ более

100 Бк/м$^3$ обнаружены в 10 из 114 обследованных помещений. В четырех помещениях ЭРОА$_{Rn}$ превышает установленный норматив 200 Бк/м$^3$ [2]. Средние значения среднегодовой ЭРОА$_{Rn}$ составляют 31 Бк/м$^3$ и определяют радиационную обстановку в детских учреждениях г. Снежинска в целом как благополучную. Отмечено, что более высокие уровни радона регистрируются в кирпичных зданиях, построенных в период 1950-1970 гг., по сравнению с железобетонными, аналогичного периода. При этом наиболее выраженное накопление радона выявлено в помещениях, остекленных пластиковыми стеклопакетами. Обнаруженные тенденции более четко проявляются в зданиях с наличием невентилируемых подвалов. Так, различия в среднегодовых уровнях ЭРОА$_{Rn}$ в помещениях с пластиковым остеклением в зданиях из кирпича и железобетона составляют 81 Бк/м$^3$ и 19 Бк/м$^3$ соответственно. Выявлены достоверные различия в накоплении радона в помещениях кирпичных зданий с разным типом остекления: в помещениях с деревянными рамами – 33 Бк/м$^3$, с пластиковыми стеклопакетами – 85 Бк/м$^3$. В результате проведенного исследования определены характеристики зданий детских учреждений (кирпичные здания с невентилируемыми подвалами 1950-1970 гг. постройки, остекленные пластиковыми окнами), которые нуждаются в первоочередном углубленном радоновом обследовании с целью выявления путей и механизмов поступления радона в воздух помещений и, при необходимости, реализации радонозащитных мероприятий.

***Литература***

1 Кормановская Т.А., Историк О.А., Романович И.К., Еремина Л.А., Королева Н.А., Балабина Т.А., Кононенко Д.В., Кокоулина Е.С., Васильев А.С. Исследование уровней содержания радона в воздухе помещений зданий детских учреждений // Радиационная гигиена. 2021. Т. 14, № 2. С. 6–20. DOI: 10.21514/1998-426X-2021-14-2-6-20.

2 СанПиН 2.6.1.2523-09 «Нормы радиационной безопасности НРБ-99/2009» [Электронный ресурс] // Электронная система информационно-правового обеспечения «Гарант» URL: https://base.garant.ru/4188851/ (дата обращения: 21.03.2024)

# ВИЗУАЛИЗАЦИЯ СОВРЕМЕННОЙ РАДИАЦИОННОЙ ОБСТАНОВКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДАННЫХ ВОЗДУШНОЙ ФОТОГРАММЕТРИИ ВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ

*Е.В. Копыльцова, Н.В. Шамаль, В.Н. Сеглин, Н.В. Тимохина*
*ГНУ «Институт радиобиологии Национальной академии наук Беларуси», г. Гомель, Республика Беларусь*

Для оценки радиационно-экологических последствий, обусловленных лесными пожарами на радиоактивно загрязненных территориях, важно располагать достоверными данными по содержанию радионуклидов в компонентах лесных экосистем. Объектом исследования стал биогеоценоз возле бывшего населенного пункта Ясная Поляна, расположенного в Чечерском районе Гомельской области. На экспериментальной площадке площадью ~0,42 км$^2$ проведены: обследование почвенно-растительного покрова, отбор проб лесной подстилки с площади 0,04 м$^2$ и послойный (толщина слоя 5 см) отбор образцов грунта на глубину 20 см в 26 точках. Во всех образцах выполнялись измерения удельной активности $^{137}$Cs и $^{90}$Sr. Кроме того, выполнялось *in situ* измерение мощности амбиентной дозы методом мобильной гамма-спектрометрии. Все данные, полученные на экспериментальной площадке, имеют пространственную привязку, и это обстоятельство делает географические информационные системы не просто удобными, но и наиболее предпочтительными инструментами для их анализа и визуального представления.

Для создания цифровой картосновы местности высокого разрешения выполнялась аэрофотосъемка с помощью беспилотного летательного аппарата DJI MAVIC 2 Enterprise Dual в светлое время суток в двух режимах с помощью оптической камеры с разрешающей способностью 12 MP и длинноволновой инфракрасной тепловизионной камерой FLIR. Используя данные аэрофотосъемки, были созданы цифровая модель поверхности и ортофотоплан исследуемой территории.

Экспериментальные данные, полученные на площадке, визуализированы в виде векторных слоев цифровых карт в QGIS, отображающих:

– цифровую модель местности и ортофотоплан;

– данные радиоэкологического обследования:

а) плотность радиоактивного загрязнения;

б) послойное распределение содержания радионуклидов в образцах грунта;

в) влажность почвы;

г) мощность лесной подстилки и удельная активность радионуклидов в ней;

д) *in situ* измерения мощности амбиентной дозы методом мобильной гамма-спектрометрии;

– фотоматериалы.

Исследования показали, что выбранная площадка характеризуется лесными насаждениями, отличающимися составом древостоя и условиями местопроизрастания, а также участками, различными по времени формирования лесных насаждений (до катастрофы на ЧАЭС или после). Анализ показал, что удельная активность радионуклидов в лесной подстилке варьирует в широких пределах: содержание $^{137}$Cs характеризуется значениями от 193 до 8236 Бк/кг, а $^{90}$Sr – от 64 до 385 Бк/кг. Плотность загрязнения почвы по $^{137}$Cs и $^{90}$Sr изменяется от 330 кБк/м$^2$ (8,9 Ки/км$^2$) до 712 кБк/м$^2$ (19,3 Ки/км$^2$) и от 14,4 кБк/м$^2$ (0,39 Ки/км$^2$) до 83,4 кБк/м$^2$ (2,25 Ки/км$^2$) соответственно. Для участков леса, сформировавшихся на землях, где хозяйственная деятельность была прекращена после катастрофы на ЧАЭС, отмечается равномерное распределение $^{137}$Cs по слоям в глубину почвы. В точках отбора, на которых лесные насаждения произрастали до катастрофы на ЧАЭС, локализация радионуклида в верхнем пятисантиметровом слое составляет от 70 до 95% от общей активности.

Полученные результаты создают практическую основу для моделирования радиационно-экологических последствий при различных видах лесных пожаров и оценки сложности их ликвидации.

# ПРИМЕНЕНЕНИЕ G-КРИТЕРИЯ КОХРЕНА ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ИССЛЕДОВАНИЙ НА СОДЕРЖАНИЕ РАДИОНУКЛИДОВ В ОБРАЗЦАХ

*А.А. Корнева [1], М.Д. Балакин [2], А.В. Гуревич [2]*
*[1] – Обнинский институт атомной энергетики – филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», г. Обнинск, Россия*
*[2] – ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им.А.И.Бурназяна ФМБА России, г. Москва, Россия*

Обеспечение радиационной безопасности персонала и населения является неотъемлемой частью проектирования и эксплутатации ОИАЭ. При проведении радиационного мониторинга и индивидуального дозиметрического контроля возникает необходимость проведения исследований образцов большой массы или объема. Например, стандарт МАГАТЭ GSG-7 [1] рекомендует отбирать на анализ пробу объединенную кала за 3-4 последовательных дня. В этом случае на анализ отбирается несколько аликвот, каждая из которых направляется на исследование. В результате получают несколько результатов измерений, их среднее арифметическое принимают за конечный результат. Однако, среднее арифметическое нескольких измерений можно использовать только если результаты однородны. В некоторых случаях результаты измерений нескольких аликвот одной пробы значительно отличаются друг от друга. В случае, если ошибки при проведении исследований исключены, причиной подобного явления является неоднородность самой пробы. Необходимо разработать алгоритм, который позволил бы оценить повторяемость результатов измерений.

РМГ 76 [2] рекомендует использовать критерий Кохрена для проверки повторояемости в ходе процедуры внутрилабораторного контроля. Образец для контроля (аттестованная смесь, стандартный образец или образец для оценивания) исследуется согласно методике анализа. В результате можно оценить качество работы: если требования критерия Кохрена выполнены, то исследование выполнено в условиях внутрилабораторной пре-

цизионности. Отрицательный результат говорит о том, что в ходе анализа допущена ошибка.

В случае с исследованием рабочих проб, критерий Кохрена можно использовать для оценки однородности пробы. Из каждой пробы отбирается несколько аликвот. В каждую аликвоту добавляется репер для контроля эффективности анализа. В результате получают не зависящие друг от друга значения активности радионуклида в каждой аликвоте. Выполнение требований критерия Кохрена говорит об однородности объекта исследования. Если требования критерия не выполнены и образец не однороден, то возможно рассмотреть следующие варианты:

- исследование еще нескольких аликвот для получения лучшей статистики;
- исследование всей пробы и суммирование полученного результата с ранее полученными.

Возможность оценки повторяемости очень важна при проведении радиационного мониторинга. Данный подход будет использован при анализе таких сложных матриц, как кал и моча. Как показала практика, предварительное перемешивание пробы не всегда помогает. Опыт многих лабораторий, в том числе зарубежных, показывает, что пробы кала неоднородны. В пробах мочи всегда присутствует осадок, который достаточно сложно размешать. Таким образом, использование критерия Кохрена для проверки однородности позволит уменьшить риск ошибочных результатов и повысить качество исследований.

***Литература***

1 International Atomic Energy Agency, Occupational Radiation Protection, IAEA Safety Standards Series No. GSG-7, IAEA, Vienna (2018).

2 РМГ 76-2014. Внутренний контроль качества результатов количественного химического анализа. М.: Стандартинформ, 2015. 111 с.

# ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ МИНЕРАЛОВ ВЬЕТНАМА В КАЧЕСТВЕ РАДИАЦИОННО-ЗАЩИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

*Е.В. Кувшинова, Д.О. Пыльцова, О.Л. Ташлыков, Та Ван Тхыонг, К.А. Махмуд, В.Ю. Ярков*
*Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия*

Природные минералы широко используются при строительстве объектов использования атомной энергии (ОИАЭ), в том числе при сооружении защиты от радиации. В последнем случае необходимо оценить их экранирующие способности, и в первую очередь по отношению к гамма-излучению [1].

Целью данной работы является расчетно-экспериментальное исследование экранирующих свойств природных минералов Вьетнама для оценки потенциальной возможности их использования в качестве биологической защиты [2-4].

Исследуемые минералы различных пород (гранит, известняк и мрамор) были доставлены из Вьетнама на кафедру атомных станций УрФУ для проведения экспериментов по определению радиационно-защитных свойств материалов.

С целью определения радиационно-защитных свойств минералов был исследован химический состав образцов с помощью рентгенофлуоресцентного анализа. На его основе при помощи базы данных XCOM были определены массовые коэффициенты ослабления образцов.

Плотность ($\rho$, г/см$^3$) образцов измеряли с помощью плотномера МН-300А. Погрешность измерения находится в пределах $\pm$0,01 г/см$^3$.

Измерения линейного коэффициента ослабления ($\mu$) проводились с помощью спектрометра «Роботрон».

Для проведения измерения требовалась параллельность граней образцов, поэтому был произведен отбор, а также каждый минерал подвергался нескольким измерениям для обеспечения более точных результатов. В качестве источника гамма-излучения использовался Cs-137 (рис. 1).

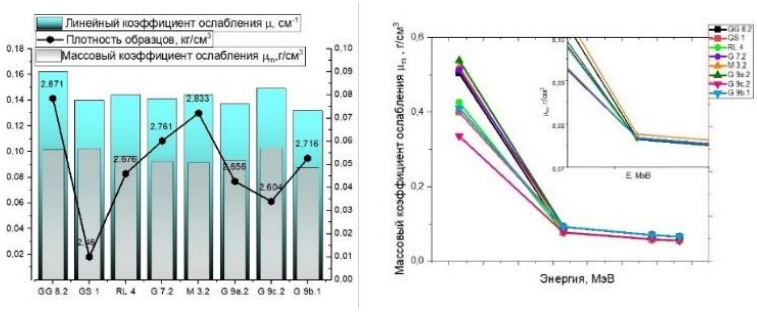



Рис.1. Результаты проведенных экспериментов

В результате проведенных экспериментов был выявлен наилучший образец по радиационно-защитным свойствам - GG 8.2 (зеленый гранит). Он имеет наибольшие значения линейного и массового коэффициентов ослабления, а следовательно наименьшую толщину слоя половинного ослабления.

***Литература***

1 Mahmoud K.A., Sayyed M.I., Tashlykov O.L. Gamma ray shielding characteristics and exposure buildup factor for some natural rocks using MCNP-5 code // Nuclear Engineering and Technology. 2019. V. 51. P. 1835-1841.

2 Та Ван Тхыонг, Ташлыков О.Л., Щеклеин С.Е., Фам Кхак Туен, Чан Бао Шон Анализ состояния энергетической структуры и оценка условий для развития атомной энергетики во Вьетнаме // Международный научный журнал Альтернативная энергетика и экология. 2023. № 2 (407). С. 43-53.

3 Ta Van Thuong, Tashlykov O.L., Mahmoud K.A. Novel bricks based lightweight Vietnam’s white clay minerals for gamma ray shielding purposes: An extensive experimental study // Nuclear Engineering and Technology. 2024. V. 56. P. 666–672.

4 Ta Van Thuong, Tashlykov O.L., Mahmoud K.A. Lightweight bricks based Vietnamese red clay for radiation protection: A deep look for the impacts of compressive strength on the characterization, and gamma ray shielding evaluation // Radiation Physics and Chemistry. 2024. V. 218. 111583.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕРРИТОРИЙ ГОРОДОВ И НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ ДОНБАССА С РАЗВИТОЙ УГОЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТЬЮ НА НАЛИЧИЕ ПОВЫШЕННОГО ГАММА-ФОНА

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

Донецкий угольный бассейн (Донбасс) – самое большое месторождение угля в Европе. Из-за активной промышленной деятельности по добыче каменного угля на территориях Донбасса образовались терриконы – искусственные насыпи из пустых пород, извлеченных при подземной разработке месторождений угля и других полезных ископаемых. Терриконы являются источниками загрязнения почвы и приземного воздуха различными поллютантами, в том числе естественными радионуклидами.

В связи с этим необходимо проводить постоянный мониторинг радиационной обстановки окружающей среды на территориях с развитой угольной промышленностью.

Объектом исследования на наличие повышенного уровня гамма-фона стали населенные пункты, расположенные в пределах Донецкого угольного бассейна (Донбасса): г. Шахты, г. Новошахтинск, г. Гуково, п. Самбек.

Для измерения мощности эквивалентной дозы гамма-излучения использовался дозиметр-радиометр ДРБП-03. Гамма-фон в населенных пунктах оценивался методами пешеходной гамма-съемки на высоте 1 метр от поверхности земли.

Гамма-фон в городах и сельских поселениях с развитой угольной промышленностью лежит промежутке от 0,02 мкЗв/час до 0,23 мкЗв/час [1], что соответствует НРБ – 99/2009 и ОСПОРБ-99/2010 (для населения предельное значение мощности эквивалентной дозы излучения не должно превышать 5 мЗв/год), что может говорить о том, что влияние угольной промышленности на годовую эффективную дозу в этих населенных пунктах незначительно.

*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 Мощность эквивалентной дозы гамма-излучения в городах с развитой угольной промышленностью Ростовской области в 2022 году: свид. о гос. рег. базы данных № 2023621578 / Бураева Е.А. и др.; заявка № 2023621335; заявл.15.05.2023 г; дата гос. рег. 18.05.2023 г.

## ОБОСНОВАНИЕ РЕАБИЛИТАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ НА ТЕРРИТОРИЯХ, ЗАГРЯЗНЕННЫХ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ

*Д.Н. Курбаков, А.В. Панов, В.К. Кузнецов, Е.В. Сидорова, Н.В. Дементьева, А.В. Саруханов, Р.А. Микаилова*
*НИЦ «Курчатовский институт» - ВНИИРАЭ,*
*г. Обнинск, Россия*

Площадь техногенного загрязнения почв России охватывает 18 млн. га (свинцом загрязнено 3 млн. га, цинком почти 2 млн. га, кадмием больше 1 млн. га.). За последние 10 лет содержание поллютантов в почве значительно не изменилось [1]. Это определяет необходимость проведения на сельскохозяйственных угодьях комплекса экономически обоснованных мероприятий, обеспечивающих производство экологически безопасной пищевой продукции, а также оценки эффективности применяемых реабилитационных технологий.

Источником поступления тяжелых металлов (ТМ) в аграрные экосистемы могут быть как промышленные предприятия и автотранспорт, так и удобрения, используемые для возделывания сельскохозяйственных культур.

Для определения концентрации ТМ в минеральных удобрениях проведены лабораторные испытания 119 проб различных видов и форм агромелиорантов, наиболее широко применяемых на сельскохозяйственных угодьях.

Для оценки влияния различных агрохимических технологий на накопление ТМ в урожае зерновых заложен опыт на глубоковыщелоченном среднесуглинистом черноземе.

Влияние различных систем минеральных удобрений на накопление ТМ в почве и растениях изучалось в полевом эксперименте в виде 5-ти вариантов: 1) контроль (без удобрений); 2) дозы азотных удобрений от 0 до 150 кг/га при постоянном фоне $P_{60}K_{60}$; 3) дозы фосфорных удобрений от 0 до 120 кг/га при постоянном фоне $N_{90}K_{60}$; 4) дозы калийных удобрений от 0 до 150 кг/га при постоянном фоне $N_{90}P_{60}$; 5) применение минеральных удобрений и извести $N_{90}P_{60}K_{60} + CaCO_3$.

Для выявления источников поступления ТМ и степени их воздействия на компоненты окружающей среды в результате работы предприятий металлургии (ООО «НЛМК-Калуга» и ПАО «НЛМК-Липецк») была создана сеть агроэкологического мониторинга.

Для оптимизации реабилитационных технологий на территориях, загрязненных ТМ, разработана база данных и система поддержки принятия решений, предназначенные для ввода, хранения, систематизации, поиска и анализа информации по эффективности реабилитационных мероприятий. Эффективность технологий определялась по экологическим, санитарно-гигиеническим и экономическим критериям.

Результаты исследований показывают, что применение различных доз минеральных удобрений или их полное отсутствие оказывает значимое влияние на агрохимические показатели выщелоченного чернозема. Применение разных доз и сочетаний отечественных минеральных удобрений не приводит к значимому изменению содержания ТМ в пахотном слое почв. Различные сочетания минеральных удобрений могут как способствовать накоплению ТМ в урожае, так и снижать концентрацию поллютантов.

Степень загрязнения тяжелыми металлами снежного покрова и почвы в зоне влияния металлургических комбинатов зависит от используемых технологий, вида производимой промышленной продукции, объемов выбросов, направления ветра и рассто-

яния от источника загрязнения, погодных условий и характера подстилающей поверхности.

Разработаны методы, критерии и инструменты поддержки принятия решений для анализа и прогнозирования экологической ситуации, что позволяет оценивать эффективность реабилитационных технологий для снижения накопления ТМ в продукции растениеводства на территориях, загрязненных ТМ.

***Литература***

1 Ежегодник. Загрязнение почв Российской Федерации токсикантами промышленного происхождения в 2021 году. – Обнинск: ФГБУ «НПО «Тайфун», – 2022. – 131 с.

## ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ РИСКИ ПОЖАРОВ И ПСЕВДОКАРСТА В КРИОЛИТОЗОНЕ

*А.А. Лаврусевич, Е.В. Арефьева, Е.А. Машкова, А.Ю. Репкин*
*ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций МЧС России», г. Москва, Россия*

Под геоэкологическими рисками мы понимаем риски, обусловленные совокупным воздействием природных и техногенных факторов на среду обитания человека, ее структуру, сохранность и восприимчивость к этому воздействию. Устойчивое развитие природно-технических территорий (преобразованные за счет техногенеза природные комплексы и биогеоценозы) зависит от интенсивности развития опасных экзогенных геологических процессов.

Недоучет развития и воздействия экзогенных геологических процессов на сооружения и природно-техногенные системы в целом приводит к повышению уязвимости и снижению потенциала противодействия, что вызывает потенциально высокие риски при их реализации. Так на площадях гарей формируются термокарстовые просадки и провалы, которые достаточно быстро заполняются водой и хорошо фиксируются на космических снимках за счет отражающей способности площадей исследова-

ния. Формирование крупных псевдокарстовых провалов может вызвать деформации площадных и линейных сооружений. На основании анализа инженерно-геологических условий конкретной природно-технической системы предложены рекомендации инженерной защиты и минимизации опасности.

Псевдокарст (ложный карст) – западинновпадинный рельеф, образованный понижениями разного размера, внешне напоминающий карст, но возникший в результате иных процессов [1]. Большинство специалистов отмечают, что основное отличие псевдокарста от карстового процесса – отсутствие растворимых пород, состоящих из неустойчивых к воде минералов классов карбонатов, сульфатов и галоидов, хотя формы рельефа как подземные, так и поверхностные, одинаковы [2].

Псевдокарст в многолетнемерзлых породах (термокарст) широко развит в Сибири [2]. Средой развития такого опасного геологического феномена как псевдокарст служат многолетнемерзлые, промерзающие и оттаивающие горные породы. Псевдокарст, как правило, не доступен для непосредственного наблюдения, так как протекает под поверхностью земли, что значительно усложняет процесс исследования и мониторинга. В настоящее время, когда происходит глобальное потепление и деградация зоны многолетнемерзлых пород, псевдокарстовые явления выходят на первый план. Авторы поднимают проблему зависимости скорости развития псевдокарста от интенсивности горения лесов на территориях распространения многолетнемерзлых пород. Например, после горения лесов Западной Сибири (территория Якутии), через десятилетие фиксируется увеличение количества псевдокарстовых провалов.

Лесной пожар – это самопроизвольное (природное) или техногенное возгорание в лесных экосистемах. Из природных факторов это в первую очередь погода. Различают низовые, когда горят лесная подстилка, травяно-кустарничковый покров, подрост и подлесок; верховые пожары, когда горят кроны деревьев; подземные или торфяные, когда горит торфяной слой и корни деревьев. Лесной фонд России ежегодно регистрирует до 30 тыс. лесных пожаров, некоторые из которых принимают характер стихийных бедствий [3].

***Литература***

1 Геологический словарь. В 3 т. Т.2. К-П / гл. ред. О. В. Петров. – 3-е изд., перераб. и доп. – СПб.: ВСЕГЕИ, 2010-2012. – 480 с.

2 Лаврусевич А.А., Цуцупа Т.А., Салдин В.А., Лаврусевич И.А. Фитогенный псевдокарст и условия его формирования // Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология. – 2021. – № 1. – С. 39-47.

3 Гражданская защита: энциклопедический словарь / под общ. ред. С. К. Шойгу. – Москва: ДЭКС-Пресс, 2005. – 551 с.

## РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ И ГИГИЕНИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ ДЛЯ ВЫВОДА ИЗ ЭКСПЛУАТАЦИИ РАДИАЦИОННО ОПАСНЫХ ОБЪЕКТОВ

*Т.Н. Лащенова, Л.Э. Карл, Ю.К. Губанова*
*Российский Университет Дружбы Народов имени Патриса Лумумбы, г. Москва, Россия*

Введение. В России в атомной отрасли накопились ЯРОО, которые надо выводить из эксплуатации, дезактивировать производственные помещения и территории, а нарушенные земли реабилитировать. Объём и масштаб накопленных задач большой, сейчас добавляются ещё и загрязнения новых территорий, присоединенных к России.

Существующая законодательная база в России позволяет обеспечить радиационную безопасность и защитить окружающую среду и население на всех этапах жизненного цикла ЯРОО. Но в законодательстве нет единых согласованных международных подходов к выводу из эксплуатации и реабилитации территорий. В соответствии с Публикацией 103 МКРЗ надо разрабатывать следующий уровень документов, для работы с соблюдением международных и российских правил и норм.

Радиоэкологические и гигиенические подходы для вывода из эксплуатации объектов и их территорий должны опираться на соответствующие критерии. Реабилитация является длительным

процессом, обоснование количественных критериев требуется проводить по действующей в России нормативно-правовой базе и международным рекомендациям, с опорой на мировую и отечественную практику. Критерии реабилитации территорий в разных странах мира существенно различаются. В соответствии с рекомендациями МКРЗ и МАГАТЭ, референтный уровень для вмешательства в ситуациях пролонгированного облучения (включая естественный фон и дозу облучения от космического излучения) составляет 10 мЗв/год, доза от естественного и космического излучений составляет около 2,4 мЗв/год. Тогда на дозу от остаточного загрязнения остается 7,6 мЗв/год.

Целью работы являются подходы к формированию дозовых критериев при выводе из эксплуатации и реабилитации территорий на основе радиоэкологических и гигиенических критериев, в зависимости от предразначения территории после вывода из эксплуатации.

Результаты исследования. Защита населения на загрязненных радионуклидами территориях должна осуществляться экологическими критериями на основе принципов безопасности при вмешательстве, определенных в НРБ-99/2009, для локальных участков загрязнения и определяются уровнем годовой эффективной дозы, требования к которой определены для уровня исследования – от 0,01 до 0,3 мЗв/год, уровня вмешательства – более 0,3 мЗв/год. На практике применение критериев вмешательства, которые даны в виде дозовых пределов, связано с трудностями.

Содержание радионуклидов в почве действующими документами не нормируется. При дезактивации территорий необходимо установить производные радиоэкологические нормативы и внедрить критерии допустимой остаточной удельной активности для техногенных и эффективной удельная активность для природных радионуклидов и техногенных загрязнителей тяжелыми металлами и другими загрязнителями водных объектов, в грунте и почве, в приземном слое атмосферного воздуха и других показателей для контроля дозы внутреннего облучения в зависимости от категории территории. Контроль доз внешнего облучения проводится по уровню мощности амбиентного экви-

валента дозы гамма- и бета- излучения и другим показателям. В наших исследованиях предложены подходы к разработке остаточных допустимых содержаний по радиационным и химическим показателям.

Определяющим параметром для проведения работ по выводу из эксплуатации чаще всего являются стоимость работ, и экономические затраты определяют объём экологических мероприятий. Такие подходы позволяют связать гигиенические критерии, учитывающие комплексное воздействие на здоровье населения, и экологические, оценивающие состояние объектов окружающей среды в зависимости от категории территории РОО и намерений её дальнейшего использования.

## РАДИАЦИОННО-ЗАЩИТНЫЙ БОКС ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ НЕЙТРОНОЗАХВАТНОЙ ТЕРАПИИ НА РЕАКТОРЕ МБИР

*В.А. Левченко[1], М.В. Кащеев[1], А.В. Шовиков[2]*
*[1] – ООО ЭНИМЦ «Моделирующие системы», г. Обнинск, Россия*
*[2] – Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Москва, Россия*

В 2022 г. во всем мире по оценкам было зарегистрировано около 20 млн. новых случаев рака. Прогнозируется, что к 2050 г. эта цифра вырастет на 77% и достигнет 35 млн. [1].

Перспективный вид лучевой терапии онкологических заболеваний – нейтронозахватная терапия. В ней используется ядерная реакция между атомами $^{10}$B и эпитепловыми нейтронами (с энергией от 0,4 эВ до 10 кэВ) для получения α-частиц с высокой линейной передачей энергии, селективно повреждающих опухолевые клетки. Кроме того, в реакции выделяются ядра $^{7}$Li и гамма-кванты [2]. Для проведения нейтронозахватной терапии предполагается использовать нейтронные пучки многоцелевого быстрого исследовательского реактора (МБИР).

При проектировании установок для проведения терапии сталкиваются с необходимостью разработки эффективной нейтронной защиты для радиационно-защитного бокса, в кото-

ром будет находиться облучаемый пациент. Конструкция бокса должна обеспечивать выполнение санитарных норм для персонала, осуществляющего управление реактором, а также персонала, проводящего нейтронозахватную терапию. Вывод нейтронов из реактора через горизонтальные каналы позволяет использовать для терапии нейтронный пучок с высокой плотностью потока, однако нейтронная защита, представленная корпусом реактора, локально не выполняет свою функцию.

Поэтапный расчет характеристик медицинского бокса ведет к пониманию его конструкции. Для упрощения задачи рассматривается только стенка, расположенная напротив выхода канала нейтронного пучка. Предполагается, что она имеет плоскую форму и расположена перпендикулярно к направлению нейтронного пучка. Эта стенка играет ключевую роль в обеспечении нейтронной защиты.

Задача заключается в определении оптимального материала стенки для достижения максимальной эффективности нейтронной защиты. Для решения этой задачи на языке программирования Python была разработана программа Neutron Shielding for Medical Box (NSMB). Программа NSMB реализует метод Монте-Карло [3].

Входными данными для расчета являются параметры стенки: ширина и высота, которые будут оставаться неизменными во всей серии расчетов, а также толщина. Кроме того, задаются начальное число нейтронов, сечения поглощения и рассеяния вещества.

В результате расчетов получается число прошедших стенку нейтронов и число поглощенных нейтронов. Эффективность защиты определяется как отношение числа поглощенных нейтронов к полному числу нейтронов.

Для решения поставленной задачи проведена серия расчетов с различными материалами и переменной толщиной стенки. Далее выполнено сравнение полученных результатов между собой и из них выбран самый лучший по показателю эффективности защиты.

***Литература***

1 Глобальное бремя онкологических заболеваний растет параллельно с ростом потребности в услугах // Сайт «Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ)» [Электронный ресурс] Режим доступа: https://www.who.int/ru/news/item/01-02-2024-global-cancer-burden-growing--amidst-mounting-need-for-services (дата посещения 15.03.2024).

2 Купленников Э.Л., Довбня А.Н., Кандыбей С.С. и др. Нейтроны и онкология // Прикладная математика & Физика. – 2012. – № 23(142). – Вып. 29. – С. 143-163.

3 Гуревич М.И., Шкаровский Д.А. Расчет переноса нейтронов методом Монте-Карло по программе MCU: Учебное пособие. – М.: НИЯУ МИФИ, 2012. – 156 с.

## РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ОБРАЩЕНИЯ С ЖРО, СОДЕРЖАЩИМИ АЛЬФА-НУКЛИДЫ

*К.Г. Легких, Е.А. Грушичева, Е.М. Трифанова, О.В. Раскач, Д.А. Фокина*
*ГНЦ РФ – ФЭИ им. А.И. Лейпунского, г. Обнинск, Россия*

Надежное долговременное изолирование от биосферы радионуклидов, входящих в состав жидких радиоактивных отходов, – важная экологическая задача. В большинстве случаев переработка ЖРО сводится к минимизации их объема путем классического выпаривания, с образованием жидких радиоактивных концентратов. Очистку ЖРК от α-нуклидов предлагается проводить сорбционным методом, предварительно снизив содержание органических примесей путем окисления раствором перманганата калия и последующей фильтрацией. Были проведен ряд исследований по очистке ЖРО, отобранных из емкостей-хранилищ цеха радиоактивных отходов. Всего было проанализировано 49 проб. В таблице 1 представлены полученные интервалы значений. Было выявлено, что такой способ позволяет снизить химическое потребление кислорода приблизительно в два

раза, но этот этап не влияет на изменение активности радионуклидов [1].

Таблица 1

Эффективность этапа окисления ЖРК

| Интервалы исходных характеристик проб | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Сухой остаток, г | pH | ХПК, гО/л | | |
| 700-750 | 14 | 200-300 | | |
| Интервалы характеристик проб после этапа окисления | | | | |
| Сухой остаток, г | pH | ХПК, гО/л | $К_{оч}$ | S,% |
| 600-650 | 14 | 100-150 | 1 | 0 |

Большую роль в сорбционном этапе играет выбор подходящего сорбента, обладающего достаточной эффективностью, коэффициентом очистки и степенью извлечения. Для данной работы был предложен клиноптилолит – наиболее распространенный в природе осадочный минерал. Химическая и термическая устойчивость, способность к ионному обмену и молекулярно-ситовые свойства обеспечивают широкие возможности практического применения клиноптилолита [2]. При оценке эффективности обычного клиноптилолита была выявлена большая степень извлечения по α-нуклидам: 98,59%, однако для β-нуклидов обычный клиноптилолит неэффективен. С целью очистки ЖРК от β-нуклидов были проведены методики модификации клиноптилолита в две формы: КЛН-1 и КЛН-2. Наиболее эффективна по β-нуклидам форма КЛН-2, результаты представлены в таблице 2.

Таблица 2

Эффективность клиноптилолита и его модификаций

| | $К_{оч}$ по α | S по α, % | $К_{оч}$ поβ | S по β, % |
|---|---|---|---|---|
| КЛН | 66,60 | 98,59 | 1,96 | 48,00 |
| КЛН-1 | 145,38 | 99,31 | 13 | 92,31 |
| КЛН-2 | 16,60 | 94,00 | 4750,00 | 99,98 |

Наиболее целесообразно будет использовать несколько сорбционных колонн с разными модификациями сорбента.

После вывода из эксплуатации отработавшей сорбционной колонны предлагается дальнейшее её осушение и размещение в НЗК.

***Литература***

1 Легких К.Г., Смыков В.Б. Метод очистки жидких радиоактивных отходов и концентратов от органических примесей // Известия ВУЗов. Ядерная энергетика. 2014. №3. С. 73-81.

2 Козлова Г.А., Вольхин В.В., Зильберман М.В. Получение и свойства композиционных ферроцианидных сорбентов, включающих ферроцианиды переходных металлов и силикагель // Химия и технология неорганических веществ. 2014. С. 95-97.

## МОНИТОРИНГ СОСТОЯНИЯ ЗДОРОВЬЯ КРИТИЧЕСКОЙ ГРУППЫ НАСЕЛЕНИЯ, ПРОЖИВАЮЩЕЙ В РАЙОНЕ РАСПОЛОЖЕНИЯ АЭС

*П.В. Максимова, Т.Н. Лащенова, В.В. Купцов*
*Российский Университет Дружбы Народов имени Патриса Лумумбы, г. Москва, Россия*

При нормальной эксплуатации АЭС существуют регламентированные выбросы и сбросы техногенных радионуклидов, которые не должны оказывать влияние на состояние здоровья населения. Но население, проживающее в районе расположения АЭС, подвергается потенциальной опасности техногенного воздействия ионизирующего излучения (ИИИ) при аварийной ситуации. Контроль состояния здоровья населения на потенциально опасных территориях является составной частью социально-гигиенического мониторинга, входящего в полномочия ФМБА России, которое осуществляет медико-санитарное обеспечение деятельности работников предприятий ГК «Росатом».

Воздействие ИИИ на детский организм отличается от воздействия на организм взрослого человека. Дети перинатального периода и 1-го года жизни являются самой уязвимой группой населения, которая является критической группой для мониторинга состояния здоровья. Исследование состояние здоровья

детей 1-го года жизни в г. Удомля, расположенном в зоне наблюдения Калининской АЭС, является целью данного исследования.

Здоровье детей 1-го года жизни является показателем экологического благополучия территории. Это обусловлено физиологическими и анатомическими особенностями строения организма ребенка 1-го года жизни, в котором процесс деления клеток происходит значительно быстрее, и воздействие ИИИ повышает вероятность развития мутаций [1]. В основу мониторинга легли данные по заболеваемости за 2013-2017 гг., предоставленные в форме №12 центральной медицинской санитарной части г. Удомля №141 ФМБА России. В абсолютных значениях уровень первичной заболеваемости составлял 1578±245 на 1000 человек, причем он сильно варьировался в этот период. Интенсивный коэффициент заболеваемости составлял в случаях на 1000 чел./год: в 2013 – 578, в 2014 году понижение до 483, в 2015 году – резкое увеличение до 883, в 2016 – 746, 2017 – 528 случаев. Выявили основные классы болезней, % от общей заболеваемости: органы дыхания – 37; болезни нервной системы – 29; болезни глаза и его придаточного аппарата – 9; болезни кожи и подкожной клетчатки – 5; болезни органов пищеварения – 4,0, которые в общей структуре заболеваемости составили 84%. Также важным показателем состояния здоровья детей 1-го года жизни является частота возникновения врожденных аномалий, которая за этот период в среднем составила 4,0%.

Сравнение заболеваемости детей 1-го года жизни г. Удомля за исследуемый период с заболеваемостью детей в целом России за 2010, 2015 и 2018 гг., которые представлены в сборнике [2], показало, что уровень заболеваемости детей в Удомле существенно ниже.




Рис. Динамика общей заболеваемости детей 1-го года жизни в г. Удомля в 2013-2017 гг. в сравнении с общероссийской заболеваемостью в 2010-2018 гг.

Статистическая обработка данных в г. Удомле показала динамику заболеваемости, которая имеет тенденцию к увеличению, об этом свидетельствует возрастающая линия тренда, а уровень заболеваемости в России остается без видимых изменений. Для оценки достоверности рассчитали t-критерий Стьюдента, который составил 0,001, что говорит о достоверном различии показателей исследования.

***Литература***

1 Булдаков Л.А., Калистратова В.С. Радиоактивное излучение и здоровье. – М.: Информ-Атом, 2003. – 147 с.

2 Статистический сборник Здравоохранение в России. – М.: Росстат, 2021. –173 с.

## УДЕЛЬНАЯ АКТИВНОСТЬ $^{137}$Cs В ПОЧВАХ РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ НА ТЕРРИТОРИЯХ РАЗЛИЧНОЙ АНТРОПОГЕННОЙ НАГРУЗКИ

*Н.В. Маломыжева, В.А. Бобылев, Е.А. Бураева*
*Южный федеральный университет, г. Ростов-на-Дону, Россия*

Почва является одним из важнейших компонентов биосферы, которые обеспечивает существование живых организмов, в том числе и жизнь человека и растений. Содержание радионуклидов

в почвах определяют для оценки радиоактивности окружающей среды [1], определения уровня загрязненности почвенных экосистем [2], в мониторинговых исследованиях объектов в различных странах [3]. Определение радиоактивности почв промышленно-городских (ПГТ) и особо охраняемых природных (ООПТ) территорий необходимо для выявления зон с повышенным уровнем содержания радионуклидов.

Целью данной работы является проведение радиоэкологического исследования почв на промышленно-городских и особо охраняемых природных территорий Ростовской области для выявления зон с повышенным уровнем содержания искусственных радионуклидов в объектах окружающей среды на примере $^{137}Cs$.

К ООПТ Ростовской области были отнесены урочища «Черная Балка» и «Каменная Балка», Приазовская заповедная степь, Персиановская заповедная степь, биосферный заповедник «Ростовский». К ПГТ – четыре крупных промышленных города Ростовской области: г. Ростов-на-Дону (РНД), г. Новочеркасск (НВЧ), г. Волгодонск (ВЛД), г. Таганрог (ТГ). Пробы почв отбирались с помощью механических приборов сбора проб и по установленной стандартной схеме. Методики гамма-спектрометрии соответствовали руководству, действующим ГОСТ и методическим указаниям.

В ходе работы, используя непараметрический критерий Колмогорова-Смирнова, было показано, что при уровне значимости 0,05 распределение удельной активности $^{137}Cs$ на ПГТ и ООПТ не подчиняется нормальному закону.

В целом данный радионуклид распределен в почвах ПГТ и ООПТ Ростовской области неравномерно вследствие неравномерного выпадения данного радионуклида после аварии на Чернобыльской АЭС. Используя преобразования Бокса-Кокса для статистической обработки данных и проведя анализ на соответствие нормальному закону распределения преобразованных данных удельной активности $^{137}Cs$ было установлено, что в верхнем слое почв ООПТ и ПГТ Ростовской области средние удельные активности радиоцезия составляют 12,9 и 11,7 Бк/кг соответственно и являются статистически равными с 95% вероятностью.

Зафиксированные достаточно высокие удельные активности (в 3–10 раз превышающие средние значения) требуют отдельного детального анализа. Наличие участков с повышенными концентрациями радиоцезия не оказывает значимого влияния на радиационную безопасность населения и окружающей среды и не влияет на мощность эквивалентной дозы гамма-излучения на территории Ростовской области.

Проведенное радиоэкологическое исследование почв на промышленно-городских и особо охраняемых природных территориях Ростовской области показывает однородное распределение искусственного радионуклида $^{137}Cs$ в почвах с различной антропогенной нагрузкой.

*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 Chandrasekaran A., Ravisankar R., Senthilkumar G. et al. Spatial distribution and lifetime cancer risk due to gamma radioactivity in Yelagiri Hills, Tamilnadu, India // Egyptian Journal of Basic and Applied Sciences. 2014. V. 47. P. 1–11.

2 Wallova G., Kandler N., Wallner G. Monitoring of radionuclides in soil and bone samples from Austria // Journal of Environmental Radioactivity. 2012. V. 107. P. 44–50.

3 Kolapo A. A., Kazeem A., Adeniyi B., Adejumobi C. Determination of natural radioactivity and hazard in soil samples in and around gold mining area in Itagunmodi, south-western, Nigeria // Journal of Radiation Research and Applied Sciences. 2014. V. 7. P. 249–255.

# ВЫВОД ИЗ ЭКСПЛУАТАЦИИ В ОБЪЕДИНЕННОЙ КОНВЕНЦИИ: ИНСТРУМЕНТЫ ОЦЕНКИ ФИНАНСОВЫХ ОБЯЗАТЕЛЬСТВ

*Е.Г. Мамчиц, В.И. Дорогов*
*ИБРАЭ РАН, г. Москва, Россия*

Завершающий этап жизненного цикла ядерно и радиационно опасного объекта (ЯРОО) – вывод из эксплуатации (ВЭ) - приобретает в настоящее время важнейшее значение в силу стремительно увеличивающегося количества объектов как в атомной энергетике, так и в других отраслях промышленности.

В соответствии с результатами инвентаризации в Российской Федерации насчитывается более 2000 ЯРОО, требующих принятия комплексных управленческих решений.

В национальных докладах в рамках Объединённой конвенции о безопасности обращения с ОЯТ и РАО анализ и обеспечение безопасности на этапе планирования и в ходе выполнения работ по ВЭ ЯРОО представляет одно из основных направлений обязательств, взятых Российской Федерацией и кратко представленных в табл. 1 [1].

Таблица 1

Обязательства Российской Федерации и их выполнение, отмеченное на Совещаниях Договаривающихся сторон Объединенной конвенции

| Год | Обязательства Российской Федерации и их выполнение, отмеченное на Совещаниях Договаривающихся сторон Объединенной конвенции |
|---|---|
| 2006 | Подготовка планов по ВЭ. Подготовка к ВЭ 4 блоков АЭС и 9 исследовательских реакторов (ИР) |
| 2009 | Подготовка к ВЭ 4 блоков АЭС, 11 ИР и 1 объекта ядерно-топливного цикла (ЯТЦ) |
| 2015 | Выведено из эксплуатации 12 ЯРОО |
| 2018 | Ведутся работы по выводу из эксплуатации 160 объектов, в т.ч. по 40 исследовательским комплексам и АЭС. Созданы 2 опытно-демонстрационных центр по ВЭ ЯРОО |
| 2022 | Выведено из эксплуатации более 40 ЯРОО. Реабилитировано около 180 тыс. м$^2$ радиоактивно загрязненных территорий |

| | |
|---|---|
| 2030 (план) | Создание оператора по ядерному наследию. Планируется вывести из эксплуатации более 70 ЯРОО. |

Масштабность и сложность решаемой задачи требует привлечения значительного количества технологических ресурсов для оценки и оптимизации экологических и экономических рисков [2,3].

Финансово-экономическое планирование работ по ВЭ ЯРОО, в том числе количественную оценку объемов образования отходов по типам, их категорирование по уровню радиационной опасности позволяет проводить Программа [4]. Программа используется для оценки стоимости производимых работ при выполнении демонтажных и дезактивационных работ, обращении с отходами, в том числе с радиоактивными.

***Литература***

1 Линге И. И. и др. Об опыте представления Национальных докладов Российской Федерации по выполнению обязательств в рамках Объединённой конвенции // Ядерная и радиационная безопасность. 2016. №1(79). С. 18–27.

2 Иванов А. Ю., Ильясов Д. Ф., Мамчиц Е. Г. Развитие подходов к приоритизации ВЭ ОИАЭ // Вестник Российского экономического университета имени Г. В. Плеханова. 2023. Т. 4. С. 31-43.

3 Ильясов Д. Ф., Иванов А. Ю., Кузнецова Е. О. и др. Сравнительный анализ стоимости операций по обращению с РАО на российском и международном рынках // Радиоактивные отходы. 2020. № 4 (13). С. 14–21.

4 Программа для финансово-экономического планирования работ по выводу из эксплуатации ядерно и радиационно опасных объектов ("Decommissioning Smart Manager") - свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № RU 2023610167.

# СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ВКЛАДОВ РАДИОНУКЛИДОВ В СУММАРНУЮ АКТИВНОСТЬ ВЫБРОСОВ И ДОЗОВУЮ НАГРУЗКУ НА НАСЕЛЕНИЕ (НА ПРИМЕРЕ НВАЭС)

*Р.А. Микаилова, С.И. Спиридонов, Д.Н. Курбаков*
*НИЦ «Курчатовский институт» - ВНИИРАЭ,*
*г. Обнинск, Россия*

Радиоэкологическая значимость радионуклидов в составе атмосферных выбросов АЭС определяется их вкладами в дозу облучения населения (и других живых организмов). Величины парциальных дозовых нагрузок зависят не только от активностей радионуклидов, но и от совокупности других факторов. Работа нацелена на сопоставление вкладов отдельных радионуклидов в суммарную активность выбросов АЭС и формируемую ими дозовую нагрузку на население. В качестве исходных данных рассмотрены характеристики фактических атмосферных выбросов Нововоронежской АЭС.

Анализ динамики выбросов НВАЭС за длительный период времени (2002-2021 гг.) показал существенные изменения в составе контролируемых радионуклидов. Вклад ИРГ в суммарную активность выбросов до 2018 г. составлял 99,99%, а с началом регистрации $^{14}$C и $^{3}$H снизился до 85% в 2021 г. За исключением ИРГ, с 2002 по 2017 г. активность выброса формировалась за счет $^{131}$I (89%), $^{60}$Co (7%), $^{137}$Cs (3%) и $^{134}$Cs (1%). Вклад этих радионуклидов существенно изменился, начиная с 2018 г., поскольку за минусом ИРГ в 2021 г. доля $^{3}$H составила 86,5%, а доля $^{14}$C – 13,5% [1].

Данные фактических выбросов НВАЭС в 2021 г. [1] были использованы для проведения консервативной оценки дозовой нагрузки на население. Расчеты выполнялись на основе программы CROM, а также модулей для расчета доз от $^{3}$H и $^{14}$C с учетом местных рационов питания [2, 3]. В 2021 г. годовая доза населения, проживающего в районе расположения НВАЭС, составила 0,34 мкЗв/год для детей в возрасте от 1 до 2 лет и 0,25 мкЗв/год для взрослых. Полученные значения ниже максималь-

но допустимого уровня облучения в 1 мЗв/год для населения, установленного в НРБ-99/2009, и не превышают квоты в 10 мкЗв/год, определенной для АЭС в СП АС-03.

Анализ вкладов отдельных радионуклидов в суммарную дозовую нагрузку от выбросов НВАЭС показывает радиоэкологическую значимость $^{14}C$. Этот радионуклид занимает первое место согласно указанному критерию (75-78%), хотя его доля в суммарной активности значительно ниже, чем у трития и ИРГ. Результаты расчетов демонстрируют важность выявления радиологически значимых радионуклидов на основе оценки их вкладов в дозу облучения населения.

Вклады радионуклидов в дозовую нагрузку различаются в зависимости от пути формирования дозы. Так, оценка дозы внутреннего облучения показала, что, помимо $^{14}C$ (~88%) и $^{3}H$ (~7%), заметный вклад вносит $^{131}I$ – 5% для детей в возрасте от 1 до 2 лет и 1% для взрослых. Доза внешнего облучения в основном формируется ИРГ (59%) и $^{60}Co$ (24%).

Ранжирование радионуклидов в составе выбросов АЭС по их вкладам в дозовую нагрузку на население представляется необходимым для оптимизации радиоэкологического мониторинга территорий, прилегающих к АЭС. Такое ранжирование целесообразно выполнить для различных АЭС РФ с учетом особенностей их месторасположения. С этой целью необходимо параметризовать расчетные модели на основе данных, характеризующих регионы расположения рассматриваемых АЭС.

***Литература***

1 Радиационная обстановка на территории России и сопредельных государств в 2021 году. Ежегодник / Под ред. В.М. Шершакова, В.Г. Булгакова, С.М. Вакуловского и др. – Обнинск: ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД», 2022. 342 с.

2 Крышев А.И., Крышев И.И., Васянович М.Е. и др. Оценка дозы облучения населения от выброса $^{14}C$ АЭС с РБМК-1000 и ЭГП-6 // Атомная энергия. 2020. Т. 128. Вып. 1. С. 46-52.

3 Крышев А.И., Васянович М.Е., Екидин А.А. и др. Поступление трития в атмосферу с выбросами АЭС с ВВЭР и оценка

дозы облучения населения // Атомная энергия. 2020. Т. 128. Вып. 6. С. 333-337.

## АНАЛИЗ ДОПУСТИМЫХ УРОВНЕЙ $^{137}$Cs В КОРМАХ ДЛЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЖИВОТНЫХ

*Э.Б. Мирзоев*
*НИЦ «Курчатовский институт» - ВНИИРАЭ,*
*г. Обнинск, Россия*

При ведении животноводства в условиях радиоактивного загрязнения сельскохозяйственных угодий увеличивается вероятность поступления $^{137}$Cs в организм человека по системе "почва – кормовые культуры (рацион) – животное – продукция животноводства (мясо, молоко)" [1].

Современная стратегия обеспечения радиационной безопасности населения РФ направлена на снижение дозы внешнего и внутреннего облучения, где ключевым критерием считают непревышение годовой эффективной дозы 1 мЗв [2]. Практика защиты населения от воздействия ионизирующих излучений предусматривает нормирование удельной активности радионуклидов в питьевой воде и продуктах питания (зерно, картофель, корнеплоды, молоко, мясо, рыба, яйца).

Для производства продукции сельского хозяйства, в частности животноводства (мясо, молоко, субпродукты) и птицеводства (мясо, субпродукты, яйца), соответствующей санитарно-гигиеническим требованиям [3], используют допустимые уровни удельной активности $^{137}$Cs в кормах для сельскохозяйственных животных и птицы [4]. Сравнительный анализ санитарно-гигиенических нормативов по удельной активности $^{137}$Cs в продукции растениеводства и допустимых уровней в кормах для сельскохозяйственных животных выявил существенные различия [5].

Цель настоящего исследования – провести анализ допустимых уровней $^{137}$Cs в кормах для сельскохозяйственных животных.

В реальных условиях радиоактивное загрязнение кормовых культур (кормов) определяется закономерностями накопления $^{137}$Cs и па-

раметрами перехода в системе “почва – кормовые культуры”, а также особенностями заготовки кормов и технологической переработки продукции растениеводства. Анализ допустимых уровней $^{137}Cs$ в кормах для сельскохозяйственных животных показал, что нормативы не соответствуют закономерностям и параметрам перехода $^{137}Cs$ в системе “почва – кормовые культуры, а также противоречат содержанию радионуклида в конечной продукции в результате технологической переработки сырья. Очевидно, что нормативы в кормах для сельскохозяйственных животных необходимо пересмотреть и научно обосновать.

В целом, нормативы по удельной активности $^{137}Cs$ в кормах должны обеспечивать получение безопасных продуктов питания (молоко, мясо, яйца) от разных видов сельскохозяйственных животных и птицы независимо от технологии кормления и содержания, а также гармонировать с санитарно-гигиеническими стандартами РФ и ЕАЭС в продукции сельского хозяйства растительного происхождения.

***Литература***

1 Научные основы устойчивости агросистем к воздействию техногенных факторов. – Обнинск. ГНУ ВНИИСХРАЭ, 2013. – 187 с.

2 О радиационной безопасности населения: Федеральный закон от 9 января 1996 г. № 3-ФЗ (с изм. от 19 июля 2011 г.).

3 Технический регламент Таможенного союза “О безопасности пищевой продукции” (ТР ТС 021/2011).

4 Мирзоев Э.Б. Сравнительный анализ санитарно–гигиенических нормативов по удельной активности $^{137}Cs$ в продукции растениеводства и допустимых уровней радионуклида в кормах для сельскохозяйственных животных // Материалы III международной научно-практической конференции, посвящённой 95-летию со дня рождения профессора В.А. Киршина “Актуальные проблемы радиобиологии, агроэкологии и радиационных технологий в АПК”. 12 октября 2023 г. ФГБНУ “ФЦТРБ-ВНИВИ”, г. Казань. – С.179-186.

5 Проект Технического регламента Таможенного союза “О безопасности кормов и кормовых добавок” (ТР 201_/00_/ТС). 2013.

# ОЦЕНКА РИСКА ДЛЯ РАБОТАЮЩИХ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ РФ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ ПРИМЕНЕИЯ ПЕСТИЦИДОВ НА ОСНОВЕ МЕФЕНОКСАМА

*Е.Н. Михеева*
*ФБУН «Федеральный научный центр гигиены им. Ф.Ф. Эрисмана» Роспотребнадзора, г. Мытищи, Россия*

Мефеноксам (металаксил) – бензоидный фунгицид, нарушающий синтез нуклеиновых кислот, который используется для борьбы с болезнями растений, вызываемыми оомицетами или плесневыми грибами. Он используется на многих пищевых и кормовых культурах, а также на непродовольственных, бытовых и парниковых культурах, таких как табак, декоративные растения, деревья, кустарники и виноградные лозы, а также газоны.

Для оценки риска здоровью работающих при различных технологиях применения пестицидов на основе мефеноксама (протравливание семян масличных культур, норма расхода препарата 3.0 л/т; протравливание семян зерновых культур, норма расхода препарата 0.3 л/т; протравливание клубней картофеля и обработке дна борозды с одновременной высадкой протравленного картофеля, норма расхода препарата 0.6 л/т; наземное штанговое опрыскивание полевых культур с нормой расхода препарата 0.5 л/т; вентиляторное опрыскивание садовых культур с нормой расхода препарата 0.6 л/га) в натурных условиях проводили отбор проб воздуха рабочей зоны, воздуха в пределах санитарного разрыва и сносов, а также смывов с кожных покровов работающих.

Для определения экспозиционных уровней мефеноксама в воздушной среде и на кожных покровах работающих, были использованы методы измерения концентраций мефеноксама (металаксила) в воздухе рабочей зоны, смывах с кожных покровов работающих и атмосферном воздухе населенных мест (МУК 4.1. 2138-4.1.2151-06; МУК 4.1.3607-20).

В ходе проведенных аналитических исследований установлено отсутствие мефеноксама в пробах воздуха рабочей

зоны при нижних пределах количественного определения – 0,01 мг/м$^3$ при отборе 2 дм$^3$ воздуха (ПДКврз – 0.5 мг/м$^3$); в пробах атмосферного воздуха при нижних пределах количественного определения – 0,001 мг/м$^3$ при отборе 50 дм$^3$(ПДК в атм. воздухе – 0.003 мг/м$^3$) [1]; в смывах с кожных покровов работающих после проведенных работ мефеноксам обнаружен у сеяльщика на кистях и предплечьях только при одной технологии применения (при протравливании семян зерновых культур) в количестве 0.064 мкг/смыв (нижний предел количественного определения д.в. – 0.05 мкг/смыв).

Риск комплексного ингаляционного и дермального воздействия пестицидов для работающих при различных технологиях применения пестицидов на основе мефеноксама был допустимым: величина суммарного коэффициента безопасности КБсумм по экспозиции при работе с пестицидами была меньше 1, и составляла 0.0111-0.0112, также как и величина коэффициента безопасности по поглощенной дозе КБп, которая составляла 0.0021-0.0028 [2].

Установленный допустимый риск для здоровья работающих с пестицидами на основе мефеноксама позволил рекомендовать их для применения в сельском хозяйстве РФ.

***Литература***

1 СанПин 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания.

2 МУ 1.2.3017-12 Методические указания «Оценка риска воздействия пестицидов на работающих».

# ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО ФАКТОРА НА МОБИЛЬНОСТЬ $^{137}$Cs В ПОЙМЕННОЙ ПОЧВЕ

*Е.В. Мищенко[1], С.А. Тагай[3], О.А. Шуранкова[1], Г.А. Леферд[1], Д.В. Сухарева[1], А.Н. Никитин[1,2]*
*[1] – Государственное научное учреждение «Институт радиобиологии Национальной академии наук Беларуси», г. Гомель, Республика Беларусь*
*[2] – Институт микробиологии Республика Беларусь Беларуси, г. Минск, Республика Беларусь,*
*[3] – Полесский государственный радиационно-экологический заповедник, г. Хойники, Республика Беларусь*

Проведены исследования влияния температурного фактора на мобильность $^{137}$Cs в почве при ее влажности 100% от полной влагоемкости (ПВ) на примере дерново-глееватой, развивающейся на песчаном аллювии почве, отобранной на территории радиоактивного загрязнения (табл.1). Продолжительность выдерживания почвенного субстрата с постоянным водным режимом и трех режимах температуры – 0 °С, 20 °С, 40 °С составляла 3 месяца. Для оценки мобильных форм $^{137}$Cs применялся метод экстракций: водорастворимая форма извлекалась дистиллированной $H_2O$, обменная – 1М $NH_4Ac$, лабильная – 0,025 М $NaBPh_4$. Содержание $^{137}$Cs почве и экстрактах определялось методом гамма-спектрометрии.

Таблица 1

Удельная активность $^{137}$Cs и основные агрохимические характеристики почвы на реперном участке притеррасной поймы р.Ипуть вблизи б.н.п. Демьянки Добрушского района Гомельской области Беларуси

| Удельная активность $^{137}$Cs почвы, Бк/кг | $pH_{KCl}$ | $K_2O$ | $P_2O_5$ | Гумус |
|---|---|---|---|---|
| | | мг/кг | | % |
| 6211–6269 | 4,68–4,70 | 120–195 | 118 | 1,6–1,7 |

Результаты показали, что с увеличением температуры наблюдается снижение доли $^{137}$Cs в обменной форме и рост доли в водорастворимой и лабильной формах (рис.1). Доля $^{137}$Cs в лабильной форме для каждого температурного режима на порядок величины превышает долю цезия в обменной и водорастворимой формах. Увеличение температуры с 20 °С до 40 °С способствует увеличению доли $^{137}$Cs от 26 до 32% в лабильной форме, которая является потенциально биологически доступной на протяжении вегетационного сезона и представляет из себя ионы цезия, сорбированные на расширенных краевых участках межпакетных пространств глинистых минералов. Следовательно, повышение температуры переувлажненной пойменной почвы приводит к повышению сорбционной способности этих минералов по отношению к $^{137}$Cs, что способствует изменению закономерностей его перехода в миграционно-активные формы.

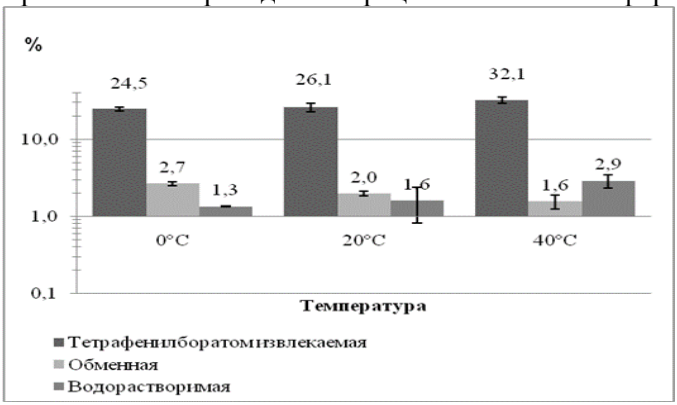



Рис.1. Доля формы нахождения $^{137}$Cs в дерново-глееватой, развивающейся на песчаном аллювии почве притеррасной поймы р.Ипуть, при изменении температуры от 20 С до 40 С в условиях влагообеспеченности 100 % ПВ

Таким образом, установлено значимое влияние продолжительного изменения в диапазоне 0-40 ºС температуры аллювиальной пойменной почвы на перераспределение $^{137}$Cs между мобильными формами на этапе отдаленных последствий загрязнения природной среды продуктами деления урана, что может

обусловить разнонаправленные изменения накопления радионуклида растениями в зависимости от обеспеченности калием.

## ОЦЕНКА ВКЛАДА ТРИТИЯ В РАДИАЦИОННУЮ ОБСТАНОВКУ КУРСКОЙ ОБЛАСТИ ДЛЯ АЭС С РЕАКТОРНЫМИ УСТАНОВКАМИ РАЗНЫХ ТИПОВ

*В.А. Моренко, Б.И. Сынзыныс*
*Обнинский институт атомной энергетики – филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», г. Обнинск, Россия*

Образование радионуклидов и их миграция в технологических контурах реакторных установок разных типов и итоговая удельная активность отдельно взятых радионуклидов в выбросах и сбросах АЭС с РУ РБМК и ВВЭР различны. Целью работы стала оценка вклада трития в радиационную обстановку Курской области и ее изменение с вводом Курской АЭС-2.

Тритий (T(1/2)=12,3 года) является глобальным загрязнителем окружающей среды, содержание Т в сбросах при нормальной эксплуатации АЭС превосходит по абсолютному значению все остальные нуклиды. Инкорпорированный Т включается в состав биологической ткани, вызывая мутагенные нарушения за счет β-излучения и нарушения молекулярных связей. Т в выведенных из эксплуатации РУ РБМК вносит наибольший вклад в суммарную наведенную активность материалов конструкций и защиты, активность графитовой кладки 50 лет после останова блока определяется распадом Т, образующегося из примесного Li [1].

Основной вклад в образование Т на АЭС с РУ ВВЭР вносит реакция на B-10 (n, 2α), а для РБМК – реакция на D (n, γ), что приводит к удельной активности Т в воде существенно меньшей, чем на АЭС с ВВЭР. Особенностью образования Т на РУ РБМК является реакция на ядрах Не в газовом контуре.

Проведена оценка поглощенной дозы Dβ [рад] ЗН β-излучения с помощью формулы [2]:

$$D_\beta(t) = 2.0 * 10^{-3} * \frac{\overline{E_\beta} * A_v * V * f * T_{eff}}{m} * \left( t + \frac{T_{eff}}{0.693} * e^{\frac{-0.693*t}{T_{eff}}} - \frac{T_{eff}}{0.693} \right)$$

Eβ – средняя энергия β-излучения на распад, МэВ (5,71 кэВ); t – время поступления, сутки (1 год); $A_v$ – объемная активность трития в питьевой воде (на 2022 год - 0,1 Бк/л); V – скорость поступления питьевой воды, (2 л/день); f – коэффициент перехода в критический орган (для Т – 1); $T_{eff}$ – эффективный период полувыведения (10 суток).

С учетом перечисленных данных, радиационный риск для жителей г. Курчатов: $r_i = D_\beta \cdot W_R \times r_E = 2{,}5 * 1{,}14 * 10^{-7}$рад $* 7{,}3 \times 10^{-2} = 2{,}08 * 10^{-8}$, что в 2400 раз ниже по абсолютной величине индивидуального пожизненного риска населения.

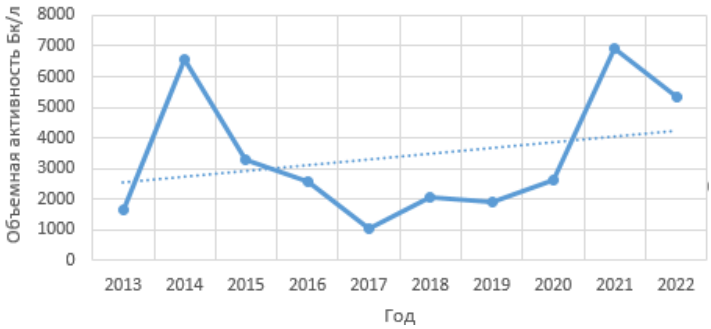



Рис.1. График изменения удельной активности трития в сбросах Курской АЭС в 2013-2022 гг.

Три энергоблока с РУ РБМК-1000 будут замещаться четырьмя энергоблоками с РУ ВВЭР-ТОИ.

Вопрос образования Т в топливной композиции важен для региона, поскольку в г.Курчатов планируется сооружение Комплекса по переработке радиоактивных отходов Курской АЭС, что может послужить дополнительным источником Т.

Вывод. При вводе КуАЭС-2 вклад Т в радиационную обстановку останется в допустимых пределах.

***Литература***

1 Крышев А.И. и др. Поступление трития в атмосферу с выбросами АЭС с ВВЭР и оценка дозы облучения населения // Атомная энергия. – 2020. – Т. 128. – №. 6. – С. 333-337.

2 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.

## СРАВНЕНИЕ РАДИАЦИОННОЙ И ХИМИЧЕСКОЙОПАСНОСТИ ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ ИЗ РОДНИКОВ С ПОМОЩЬЮ ОЦЕНКИ ХИМИЧЕСКОГО И РАДИАЦИОННОГО РИСКА

*У.О. Мусаходжаев, Б.И. Сынзыныс*
*Обнинский институт атомной энергетики – филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», г. Обнинск, Россия*

Родниковая вода из природных источников всегда была популярна среди жителей г. Обнинска. Одним из наиболее посещаемых родников является источник в овраге у городского стадиона «Труд», в связи с чем он и был выбран для сравнения риска от растворённых в воде химических и радиоактивных элементов.

Для расчета коэффициента опасности неканцерогенных металлов использовалась следующая формула: $HQ_i = \frac{ADD_i}{RfD_i}$

где $ADD_i$ – среднесуточное поступление металла в организм; $RfD_i$ – референтная доза для каждого металла.

Для канцерогенных металлов рассчитывается риск заболевания раком по следующей формуле:

$$ELCR = \sum_{k=1}^{n} ADDk \times SFk$$

Для вычисления эффективной дозы внутреннего альфа и бета облучения использовалась следующая формула:

$$E = A_w \cdot IR_w \cdot \mathrm{ID_F} \cdot 2$$

где E – эффективная доза, Зв/год; $A_w$ – удельная активность воды, Бк/л; $IR_w$ – годовое потребление воды одним человеком из расчета 2 л/сут (730 л); $ID_f$ – фактор дозового эквивалента для активности, равный для альфа- и бета-излучений $3{,}58*10^{-7}$ Зв/Бк.

Риск развития онкологических заболеваний от внутреннего облучения определяется по формуле: $\mathrm{Risk} = \mathrm{E} \cdot \mathrm{rE}$ , где: $r_E$ – фактор риска, $5{,}5 \cdot 10^{-2}$ $Зв^{-1}$.

Риск и коэффициент опасности химических элементов за 2021-2023 гг. показаны в табл.1-2. Радиоактивные элементы, их эффективная доза и риск в родниковой воде – в табл. 3 [1].

Таблица 1

Риск заболеваемости раком от канцерогенных металлов за 2021 – 2023 гг.

| ELCR | | |
|---|---|---|
| 04.10.2021 | 04.04.2022 | 05.03.2023 |
| 0,0006 | 0,0001 | 0,0002 |

Таблица 2

Коэффициент опасности неканцерогенных металлов за 2021-2023 гг.

| HI | | |
|---|---|---|
| 04.10.2021 | 04.04.2022 | 05.03.2023 |
| 0,71 | 0,61 | 0,61 |

Таблица 3

Радиоактивные элементы, их эффективная доза и риск для родниковой воды

| Параметр | E, Зв | Risk, $год^{-1}$ |
|---|---|---|
| $^3H$ | $2{,}63 \cdot 10^{-8}$ | $1{,}14 \cdot 10^{-9}$ |
| ∑ α-активность | $2{,}28 \cdot 10^{-5}$ | $1{,}25 \cdot 10^{-6}$ |
| ∑ β-активность | $1{,}43 \cdot 10^{-5}$ | $7{,}86 \cdot 10^{-7}$ |
| НРБ-99/2009 | $1 \cdot 10^{-6}(^3H)$ $1 \cdot 10^{-3}(\sum\alpha,\sum\beta)$ | $5 \cdot 10^{-5}(\sum\alpha,\sum\beta)$ |

Показатель ELCR не должен превышать значение $10^{-6}$, однако при консервативном расчете риск заболеваемости больше во

всех трех годах. Коэффициент опасности не должен превышать единицы, что мы и наблюдаем в табл. 2, следовательно, нормы не превышены. Эффективная доза и риск от альфа и бета облучения, а также от трития, не превышают требований НРБ-99/2009. Из чего можно сделать вывод о том, что радиоактивные элементы несут меньше риска относительно канцерогенных металлов.

***Литература***

1 Сынзыныс Б.И., Момот О.А., Лаврентьева Г.В. и др. Применение технологии оценки риска для характеристики радиационной и химической опасности при употреблении родниковой воды в г. Обнинске // Вестник Калужского Университета. 2023. №2. С. 87-92.

## О РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРОМПЛОЩАДОК ВЫВЕДЕННЫХ ИЗ ЭКСПЛУАТАЦИИ ОБЪЕКТОВ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ

*А.Ф.Нечаев, В.А.Винницкий*
*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет),*
*г. Санкт-Петербург, Россия*

В связи с возрастающими темпами вывода из эксплуатации ядерных и радиационно опасных объектов, а также продекларированным ГК «Росатом» стремлением обеспечить возврат площадок размещения ЯРОО в хозяйственное пользование субъектов Российской Федерации вопросы безопасности освобождаемых территорий приобретают все большую актуальность.

На основе анализа нормативно-правовых актов Российской Федерации, стандартов безопасности МАГАТЭ, рекомендаций НКДАР и МКРЗ, а также научных публикаций показано, что потенциально в качестве дозовых критериев безопасного проживания и/или осуществления хозяйственной деятельности на реабилитированных до состояния «зелёной лужайки» промыш-

ленных площадках выведенных из эксплуатации ЯРОО может использоваться достаточно широкий спектр уже закреплённых нормативно и обсуждаемых в профессиональном сообществе значений предельно допустимых дозовых нагрузок ($D_{пр}$) на «население» и «персонал»: от 0,01 до 1,0 мЗв/год.

В мировой практике, насколько известно, доказательно не зафиксировано ни одного случая возникновения стохастических эффектов при облучении радиацией с низкой ЛПЭ дозами до 10 мЗв. Поэтому любой из обсуждаемых показателей (0,01; 0,1; 0,3; 1,0 мЗв/год) с учётом биологических и медицинских эффектов воздействия излучения на живые организмы, в принципе, пригоден для применения в качестве критерия безопасности проживания.

Высокая вариабельность значений $D_{пр}$ связана не с реальными проблемами облучения, а, скорее, с прагматическими соображениями, диктуемыми фундаментальным принципом оптимизации радиационной защиты, согласно которому наилучший (оптимизированный) сценарий, это вовсе не тот, при котором достигается самая низкая дозовая нагрузка, а тот, при котором снижение дозы индивидуального облучения и числа облучаемых лиц сбалансированы с сопутствующими финансовыми и материальными расходами.

На практике разумно и даже необходимо было бы выбрать и закрепить в нормативно-правовых актах «оптимальное», единое для всех реабилитированных промплощадок неограниченного использования значение предельно допустимой дозы. В противном случае могут возникать поводы для развития радиофобии, социальной напряженности; не исключены потери в строительной отрасли, репутационные потери ГК «Росатом» и т.п.

Конкретные значения единого критерия безопасности в настоящей работе не обсуждаются. Но понятно, по-видимому, что «граничный» показатель эффективной дозы должен быть больше 0,01 мЗв/год и меньше 1,0 мЗв/год, поскольку

- «с учётом экономических факторов» обеспечение индивидуальной дозы обучения ≤0,01 мЗв/год далеко не всегда «разумно достижимо»;
- предельно допустимая доза облучения населения в 1

мЗв/год по определению обусловлена не только остаточным загрязнением промплощадки, но всех источников ионизирующего излучения.

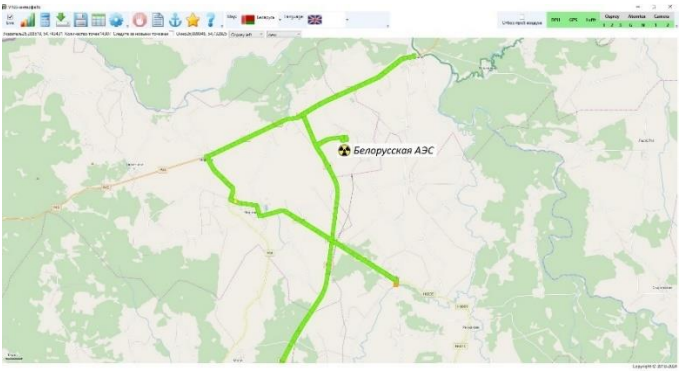
В том случае, когда на площадках, реабилитированных до состояния «коричневой лужайки», планируется разместить не радиационно опасные предприятия и организации, предельно допустимая ежегодная доза облучения персонала не должна, очевидно, превышать тех значений, которые установлены для «зеленой лужайки» с учетом, однако, того, что присутствие людей на освобожденной территории ограничено продолжительностью рабочего дня.

Если на освобожденной территории размещаются новые объекты использования атомной энергии, то применяются (должны применяться) официальные нормативы для персонала группы А (20 мЗв/год) и группы Б (5 мЗв/год).

## ОЦЕНКА РАДИАЦИОННОЙ ОБСТАНОВКИ В ЗОНЕ НАБЛЮДЕНИЯ БЕЛОРУССКОЙ АЭС С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОБИЛЬНОЙ ЛАБОРАТОРИИ

*Е.К. Нилова, И.А. Силицкая, А.И. Крысин,*
*К.Ю. Войтенко, В.Н. Качура*
*ГНТУ «Центр по ядерной и радиационной безопасности»*
*МЧС Республики Беларусь, г. Минск, Республика Беларусь*

В рамках оказания научно-технической поддержки Министерству по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности Центром по ядерной и радиационной безопасности выполняются мероприятия по оценке радиационной обстановки в зоне воздействия Белорусской АЭС с применением мобильной лаборатории радиационного контроля в целях независимого контроля параметров, характеризующих уровень обеспечения радиационной безопасности.




*В виде тематического слоя контрастным цветом изображен маршрут движения мобильной лаборатории, сигналы-оповещения на котором вырабатываются программным обеспечением, совмещенным с программой обработки спектра при превышении установленных пороговых значений суммарной скорости счета импульсов гамма-излучения. Среднее значение указанного показателя, измеренное в зоне наблюдения Белорусской АЭС, составляет 56 имп/с, 95-й процентиль –73 имп/с, для г.Минска значение таковой величины составляет до 150 имп./с*

Рис. 1. Пример обследования зоны наблюдения Белорусской АЭС

Результаты исследований, проведенных в период 2019-2024 гг., свидетельствуют о соответствии параметров, характеризующих радиационную обстановку, значениям таковых характеристик, установленных до физического пуска энергоблока №1 Белорусской АЭС. Проведенный статистический анализ данных, генерируемых программным комплексом мобильной лаборатории VRSS UI за время осуществления работ по патрулированию зоны наблюдения Белорусской АЭС, показал, что мощность амбиентного эквивалента дозы гамма-излучения, определенная с применением размещенного в салоне мобильной лаборатории и совместимого с указанным комплексом обработки информации блока детектирования БДКГ-24 производства НПУП «АТОМТЕХ» (г.Минск, Беларусь), находится в пределах 0,02-0,15 мкЗв/ч (среднее значение – 0,042 мкЗв/ч, 95-й процентиль – 0,072 мкЗв/ч, объем выборки – в среднем 6500 значений за одно обследование).

В результате *in situ* γ-спектрометрии, проводимой ежемесячно с применением сцинтилляционных (NaI(Tl) и $LaBr_3$(Ce)) и

HpGe-детектора в зоне наблюдения Белорусской АЭС установлено содержание единственного гамма-излучающего радионуклида техногенного происхождения – $^{137}$Cs. Оценочно плотность поверхностного загрязнения $^{137}$Cs составляет ~0,3-0,7 кБк/м$^2$, что соответствует фоновым уровням загрязнения данным радиоизотопом, зафиксированным до начала выполнения этапной программы опытно-промышленной эксплуатации энергоблока №1. Анализ результатов оценки радиационной обстановки в зоне наблюдения Белорусской АЭС подтверждает, что содержание иных техногенных радионуклидов на указанной территории, активность которых в окружающей среде, как правило, контролируется для оценки радиационной обстановки (в том числе $^{134}$Cs, $^{131}$I, $^{60}$Co), не установлено в проведенных условиях измерения.

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ РИСКОВ НА ПРИМЕРЕ РАБОТНИКА В ОБЛАСТИ ОБРАЩЕНИЯ С ОТХОДАМИ

*Д.А. Останний, Ф.Ф. Арсланбекова*
*Российский государственный социальный университет, г. Москва, Россия*

Одним из ключевых элементов в СУОТ на предприятии является систематическая оценка профессиональных рисков. Выбор метода оценки риска зависит от специфики производства, сложности производственных процессов и оборудования [2].

Целью исследования являлась оценка профессиональных рисков на рабочем месте [1] для работника в области обращения с отходами, на примере одной подмосковной утилизирующей компании. Анализ трудовых функций и статистика по несчастным случаям позволили провести комплексную оценку рисков. Для исследования были выбраны несколько методов риска.

Исследования на предприятии проводились в течении года. Для оценки профессиональных рисков были выбраны два метода: метод Эльмери и метод Файни-Кинни.

В результате исследования выявили, что метод Эльмери не позволяет определить источники возникновения опасностей, но может показать какие требования по охране труда не выполняются. Метод Эльмери основан на наблюдении за производственными процессами и его можно отнести к поведенческому аудиту. Метод Файни-Кинни идентифицирует все опасности и показывает детально вероятность риска, степень воздействия и основания для разработки корректирующих мероприятий по снижению риска.

Результаты показали, что использование нескольких методов оценки риска одновременно позволяет идентифицировать больше потенциальных опасностей и рисков, выявить причины опасных событий, чем при применении одного метода. Однако при отсутствии достоверных статистических данных значения показателей, требуемых для расчета риска по методу Файни-Кинни, выбираются экспертом, что приводит к существенному снижению качества оценки.

Корректирующие мероприятия являются ключевым моментом оценки рисков. Внедренные мероприятия по снижению выявленных рисков подтверждают эффективность применения комбинированного подхода к оценке рисков, и необходимость учета мнений различных экспертов для повышения точности и обоснованности оценок безопасности на рабочих местах.

***Литература***

1 Останний Д.А. Анализ опасностей и оценки профессиональных рисков в промышленности // Социальные явления от зарождения до устойчивых: взгляд со стороны студента: Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции. – РГСУ: Издательство РГСУ, 2022. – С. 684-692.

2 Приказ Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 28 декабря 2021 г. n 926 «Об утверждении рекомендаций по выбору методов оценки уровней профессиональных рисков и по снижению уровней таких рисков».

# АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ БРЯНСКОЙ ОБЛАСТИ

*А.А. Парфенова, Е.В. Удовенко*
*Брянский государственный технический университет,*
*г. Брянск, Россия*

В этом году исполняется 38 лет с момента аварии на Чернобыльской АЭС. С 1 января 2024 г. в силу вступило постановление, которое признаёт утратившим силу Постановления правительства РФ от 8 октября 2015 г. № 1074 [1]. Данное Постановление определяло зоны и поселения, относящиеся к радиоактивно загрязненным территориям после катастрофы. В Брянской области таковыми признано 734 населенных пункта, 720 из которых находятся в зоне проживания с правом отселения, 25 – в зоне отселения и лишь 4 поселка находятся в зоне отчуждения (Барсуки, Прогресс, Князевщина и Нижняя Мельница).

Основной радионуклид, который до сих пор находится в почве, растениях и живых существах данных территорий – это $^{137}Cs$. Исследования ученых показали, что в мясе кабана в Красногорском районе содержание $^{137}Cs$ более чем в 117 раз превышает норму, в мясе косули – более чем в 20 раз, а грибы содержат в 20 и более раз радиоактивных загрязнений.

Доказано, что $^{137}Cs$ также накапливается в древесине, в особенности березы и осины, где радионуклид уходит вглубь стволов деревьев, при этом каждый год показатель растет, что в скором времени может сказаться на использовании сырья и сделать его непригодным.

Распад $^{137}Cs$ до 40 Ки/км$^2$ для Брянской области ученые прогнозируют к 2049 г., а к 2056 г. $^{137}Cs$ будет наблюдаться только в западных районах, при этом полное очищение от радиоактивного загрязнения до 1 Ки/км$^2$ ожидается к 2209 г.

В юго-западных районах проживает около 310 тыс. населения области. По статистике дети из этих районов подвергаются инвалидности в 4 раза выше, чем в других регионах России.

Сегодня в Брянской области наблюдается рост злокачественных новообразований щитовидной железы и молочной железы. Заболевания щитовидной железы от радиационного загрязнения в 3,5 раза больше, чем во всей России. Рост раковых заболеваний увеличился на 23% по сравнению с показателями 2019 г. Эти прогрессии наблюдаются у возрастной группы населения, которая переживала распространения радиации после аварии.

Департаментом здравоохранения Брянской области был издан приказ №246 от 01.03.2023 о санитарно-курортном лечении граждан, которые подверглись последствиям аварии ЧАЭС.

Брянский клинико-диагностический центр основал отдел по изучению влияния радиации на хромосомы и клетки человека, в котором ежегодно наблюдается более 50 000 человек, являющиеся жертвами ЧАЭС. Они также отмечают, что попадание радионулидов в организм человека наиболее часто происходит через воздух и пищу.

Правительством Брянской области было утверждена региональная программа «Борьба с онкологическими заболеваниями» от 27 июня 2019 г. (с изменениями от 31 мая 2023 г.), где подробно расписан рост онкологических заболеваний на разные группы населения и распределено по районам, в которых проживают граждане [2]. Многие показатели определяют рост заболеваний, что определило проведение мер по улучшению системы лечения.

***Литература***

1 Постановление Правительства РФ от 08.10.2015 N 1074 "Об утверждении перечня населенных пунктов, находящихся в границах зон радиоактивного загрязнения вследствие катастрофы на Чернобыльской АЭС".

2 Постановление Правительства Брянской области от 27 июня 2019 года N 275-п «Об утверждении региональной программы Брянской области "Борьба с онкологическими заболеваниями" (с изменениями на 31 мая 2023 года)».

# РЕЗУЛЬТАТЫ РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА В НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТАХ КРАСНОДАРСКОГО КРАЯ

*Д.П. Плахотняя, В.А. Бобылев, Е.А. Бураева*
*Южный федеральный университет, г. Ростов-на-Дону, Россия*

Возобновившийся интерес к ядерной энергетике как источнику энергии с низким уровнем выброса углерода, вкупе с озабоченностью по поводу прошлых и потенциальных ядерных аварий диктуют, что выяснение воздействия радионуклидов на окружающую среду является глобальной проблемой.

Краснодарский край имеет достаточно сложную и разнообразную структуру местности: от степных пахотных угодий до высокогорных районов. Ландшафт данного региона, погодные условия и климатические ресурсы позволяют проводить объемные исследования, которые могут показать широкий диапазон значений концентраций радионуклидов и естественного радиационного фона при различных условиях.

Пешеходная гамма-съемка проводилась в жилых зонах городов: Краснодара, Сочи, Новороссийска, Анапы и Горячего Ключа. Сбор данных гамма-фона проводился дозиметром-радиометром ДКС-96.

По результатам гамма-дозиметрии было установлено, что среднее значение МЭД в г. Анапа составляет 0,11 мкЗв/ч, в г. Краснодар – 0,14 мкЗв/ч, в г. Сочи – 0,12 мкЗв/ч, в г. Новороссийск – 0,10 мкЗв/ч и в г. Горячий Ключ – 0,08 мкЗв/ч. Стоит отметить, что в городе Горячий Ключ МЭД несколько ниже, чем в остальных исследуемых населенных пунктах, что может быть обусловлено тем, что данный городской округ расположен в предгорной местности, что не предполагает возделывание пашен или строительство особо крупных промышленных предприятий.

В целом различные факторы, такие как количество предприятий, географическое расположение самих объектов, особенности рельефа и пр., в настоящее время не оказывают значитель-

ного влияния на уровень гамма-фона и не приводят к ухудшению радиоэкологической обстановки территорий.

Мощность эквивалентной дозы гамма-излучения на городских территориях Краснодарского края варьируется в пределах от 0,08 до 0,14 мкЗв/ч, что не превышает допустимые уровни облучения населения, установленные НРБ-99/2009.

*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).*

## ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ РИСКИ ПРОИЗВОДСТВА АЛЮМИНИЯ

*У.Н. Рустамова, С.С. Гасымзаде*
*Бакинский Государственный Университет,*
*г. Баку, Азербайджан*

Алюминий является самым распространённым металлом нашей планеты. Процесс получения алюминия достаточно сложный и состоит из трёх этапов: добыча бокситов (алюминий-содержащей руды); переработка бокситов в глинозем (оксид алюминия); получение чистого алюминия электролитическим методом.

Электролизный цех является сердцем алюминиевого завода. В электролизном цеху образуются взвешенные вещества, такие как оксиды C, S, N, смолистые вещества. Также образуются твёрдые и более токсичные, опасные отходы производства в процессе получения глинозёмов из бокситов. Это так называемый “красный шлам”, который представляет собой густую суспензию из окислов металлов, алюмосиликатов и силикатов. Красный цвет этих отходов обусловлен наличием ядовитых веществ: оксида железа, диоксида кремния [1].

“Красный шлам” [2] сильно влияет на экологию, уничтожением многолетних и редких растений. Производство алюминия относится к категории производства повышенной опасности для здоровья населения, загрязнения воздуха, воды и продуктов пи-

тания, увеличивает риски здоровья населения. Уменьшение выбросов вредных продуктов является основной задачей экологов. Цветная металлургия в Азербайджане развита в Гяндже. Здесь имеется Гянджинский алюминиевый завод, который также имеет свои выбросы, тем самым загрязняет окружающую среду. В научной работе определялись тяжёлые металлы в пробах почвы, взятых в окрестностях Гянджинского алюминиевого завода, в центре коллективного использования аналитических приборов в Институте геологии и геофизики НАНА, с помощью атомно-абсорбционного спектрометра МГА-1000. Результаты анализов даны в таблице 1.

Таблица 1

| Тяжелый металл | Проба 1, мг/кг | Проба 2, мг/кг | ПДК, мг/кг |
|---|---|---|---|
| Алюминий pH-7,1 | 0,3 | 0,34 | В нейтральных почвах содержание алюминия в растворах составляет 0,4 мг/л в почвенном растворе с pH 4,4 − 5,7 мг/л |
| цинк | 21 | 19 | 23 |
| медь | 2.7 | 2,3 | 3.0 |
| свинец | 12 | 24 | 32 |
| никель | 2,2 | 2,7 | 4.0 |
| кадмий | 0,46 | 0,35 | 0,5 |
| кобальт | 4,2 | 3.7 | 5 |
| хром | 1,8 | 3,4 | 6,0 |

***Литература***

1 Машенцева И.А., Власова О.С. Анализ негативного воздействия на окружающую среду предприятий по производству алюминия // Инженерный вестник Дона. – 2017. – №1. – С. 113-123.

2 Зенкин Е.Ю., Гавриленко А.А., Немчинова Н.В. О переработке отходов производства алюминия ОАО “Русал Братск” //| iPolytech journal. Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2017. – Т. 21. – №3. – С. 7-15.

# ТАКСОНОМИЧЕСКОЕ РАЗНООБРАЗИЕ И ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ СООБЩЕСТВ ПОЧВЕННЫХ БАКТЕРИЙ В УСЛОВИЯХ РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

*А.В. Рыбак[1], Е.С. Белых[1], Т.А. Майстренко[1], И.О. Велегжанинов[1], М.М. Тавлеева[1,2], Е.Е. Расова[1]*
*[1] – ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар, Россия*
*[2] – Сыктывкарский государственный университет имени Питирима Сорокина, г. Сыктывкар, Россия*

Радиоактивное загрязнение почвы способно оказывать негативное воздействие на всех почвенных обитателей, включая бактерии [1,2]. Обзор опубликованных с 1996 по 2024 гг. результатов свидетельствует, что изменения таксономического состава сообществ почвенных бактерий в среде с повышенными концентрациями радионуклидов по сравнению с контрольными территориями происходят практически при любых типах и уровнях радиоактивного загрязнения. Систематический анализ результатов работ выявил, что преимущество в условиях повышенных концентраций радионуклидов в почве получают бактерии, обладающие разнообразным спектром свойств и устойчивостей.

Исследования проводили на участках вблизи пос. Водный (Ухтинский район, Республика Коми), где ранее осуществлялась добыча радия. Образцы почвы отбирали на химический анализ и метагеномное секвенирование в летний и осенний сезоны 2023 г. Нами осуществлена оптимизация условий выделения метагеномной ДНК из образцов почвы, собранных на двух загрязненных $^{226}$Ra и $^{238}$U и соответствующих им контрольных участках. По результатам экспериментальной работы выявлены сезонные изменения некоторых физико-химических показателей радиоактивно загрязненных и контрольных почв (влажность, $N_{общ}$). Средние значения удельных активностей $^{226}$Ra и $^{238}$U на импактных участках составили 37-113 и 0.024-6.3, на фоновых участках – 0.19-1.3 и 0.035-0.082 кБк/кг соответственно.

Будут представлены результаты метагеномного анализа бактериальных сообществ, населяющих радиоактивно загрязненные и фоновые территории.

*Исследование поддержано грантом РНФ № 23-74-01125, https://rscf.ru/project/23-74-01125/.*

***Литература***

1 Ihara H., Kumagai A., Hori T. et al. Direct comparison of bacterial communities in soils contaminated with different levels of radioactive cesium from the first Fukushima nuclear power plant accident // Science of the Total Environment. – 2021. – V. 756. – 143844.

2 Theodorakopoulos N., Février L., Barakat M. et al. Soil prokaryotic communities in Chernobyl waste disposal trench T22 are modulated by organic matter and radionuclide contamination // FEMS Microbiology Ecology. – 2017. – V. 93(8).

## РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ИСТОЧНИКА СИНХРОТРОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА БАЗЕ УСКОРИТЕЛЯ ЭЛЕКТРОНОВ НА 6 ГЭВ

*И.Д. Садофьев, М.П. Панин*
*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Москва, Россия*

Для оценки безопасности выполнены расчеты радиационных полей, создаваемых электронными ускорителями на 6 ГэВ с токами пучка на 200 мА (ESRF, Франция) и 700 мА (проектируемый ускоритель СИЛА, Россия), используемыми в качестве источников синхротронного излучения (СИ). Рассмотрена радиационная обстановка в зоне вывода пучка СИ, учтены вторичные заряженные частицы и фотонейтроны, образованные вследствие развития электромагнитных каскадов в совокупности с фотоядерными реакциями. Моделирование радиационных полей, возникающих при работе синхротрона, выполнялось методом Монте-Карло с помощью программного пакета GEANT4. Для моделирования объектов сложной геометрической формы использовался интерфейс CADMesh [1]. Приводятся результаты

для мощности эффективной дозы, а также угловые и спектральные распределения излучения. Данные по мощности эффективной дозы и мощности амбиентного эквивалента дозы (МАЭД) получены на основе расчета плотности потока и переходных коэффициентов, приведенных в 119 Публикации ICRP [2] и статье Pelliccioni и др. [3].

Расчетами показано, что внутри линии вывода СИ при токе 700 мА мощность дозы составляет до 0,1 Зв/час на оси пучка, при этом основным дозообразующим излучением являются гамма-кванты, а вклад остальных излучений не превышает 1%. Угловое распределение тормозного и вторичного излучения в зоне вывода СИ резко анизотропное. Характерный угол, содержащий 50% излучения, оценивается величиной 0,0049 град.

Внутри канала ускорителя при токе пучка 700 мА МАЭД за счет тормозного излучения на остаточном воздухе составляет не более $10^{-5}$ мкЗв/час. Вблизи скраперов при ожидаемом уровне потерь $10^{-14}$ на электрон (80% суммарных потерь пучка) мощность дозы внутри канала достигает 3 мкЗв/час, из которых 75% обеспечивается вкладом нейтронов. При этом поле вокруг скреперов локализовано зоной ± 3 м (по уровню 10% от максимума).

Конструкция защитных сооружений канала, используемая для ускорителя ESRF и состоящая из вольфрамового поглотителя толщиной 10 см и бетонной стены толщиной 0,5 м со свинцовой накладкой толщиной 1 см, оказывается недостаточной для ускорителя СИЛА. При использовании тока пучка величиной 700 мА увеличение толщины бетонной защиты до 1,25 м обеспечивает мощность эффективной дозы за окончанием линии вывода СИ не выше 0,06 мкЗв/ч.

Расчетами установлено, что за пределами канала накопительного кольца вблизи скрапера основным дозообразующим излучением являются нейтроны, а вклад остальных излучений составляет не более 1%. При этом локальная защита из стали толщиной 0,75 м в совокупности со стеной из свинца толщиной 10 см и бетона толщиной 2 м обеспечивает при токе до 700 мА МАЭД не выше 0,12 мкЗв/ч.

***Литература***

1 Poole C., Trapp J., Langton C. et al. A CAD interface for GEANT4 // Australasian Physical & Engineering Sciences in Medicine. – 2012. – V. 35. – P. 329-334.

2 ICRP, 2012. Compendium of Dose Coefficients based on ICRP Publication 60. ICRP Publication 119. Ann. ICRP 41(Suppl.)

3 Pelliccioni M., Roesler S. // The official FLUKA site – 2008. – URL: http://www.fluka.org/fluka.php?id=examples&sub=example4

## КОНЦЕНТРАЦИЯ $^{137}$Cs В ПОЧВАХ 30-КМ ЗОНЫ НАБЛЮДЕНИЯ РОСТОВСКОЙ АЭС

*Т.К. Сайфудинов, Е.А. Бураева*
*Научно-исследовательский институт физики ЮФУ,*
*г. Ростов-на-Дону, Россия*

Радиоэкологический мониторинг радионуклидов в объектах окружающей среды, в частности $^{137}$Cs, проводится ежегодно в зонах размещения предприятий ядерного топливного цикла. Измерение удельной активности искусственных радионуклидов является актуальнейшей задачей не только для надзорных служб, но и для независимых организаций. Многолетние непрерывные исследования удельных активностей радионуклидов на одних и тех же контрольных точках могут дать информацию о динамике радионуклидов как в латеральном, так и радиальном направлениях.

Данная работа посвящена оценке изменения искусственного радиоцезия в верхнем (0–10 см) почвенном слое в пределах 30-километровой зоны наблюдения Ростовской АЭС.

Удельную активность радиоцезия на территориях исследования определяли на контрольных участках (КУ), заложенных в рамках Предпускового мониторинга (определение «Нулевого фона») в 2000 году. Содержание радицезия в образцах почвы измеряли гамма-спектрометрическим методом. Использовали стандартные методики подготовки почв. Почвы отбирали с глубины 0–10 см, площадь отбора почвы, в среднем, составляла 10х10 см.

Таблица 1

Динамика изменения концентрации $^{137}Cs$ в верхнем 10 см слое почвы

| Параметр | Год | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 2000 | 2016 | 2018 | 2019 |
| Минимум, Бк/кг | 1,0 | 0,1 | 0,9 | 0,7 |
| Максимум, Бк/кг | 156,1 | 63,2 | 54,5 | 55,3 |
| Среднее арифметическое, Бк/кг | 28,6 | 16,4 | 14,7 | 14,7 |
| Среднее геометрическое, Бк/кг | 20,3 | 12,4 | 11,4 | 12,5 |
| Медиана, Бк/кг | 19,0 | 14,7 | 11,9 | 17,6 |
| Мода, Бк/кг | 12,3 | 21,0 | 5,9 | 13,4 |
| Стандартная ошибка, Бк/кг | 1,6 | 0,6 | 0,7 | 0,6 |
| Стандартное отклонение, Бк/кг | 24,9 | 10,9 | 10,5 | 8,3 |
| Количество измерений, шт | 253 | 331 | 198 | 193 |

Вариации радиоцезия в верхнем слое почвы колеблются в диапазоне от 28,6 до 14,7 Бк/кг. При этом имеет место тенденция к снижению удельной активности $^{137}Cs$ со временем, обусловленная как его естественным распадом ($T_{1/2}$=30 лет), так и миграцией по почвенному профилю. При этом, полученные результаты радиоцезия в почвах зоны наблюдения Ростовской АЭС соответствует среднемировым значения удельной активности и характерны для Ростовской области.

*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).*

# ДИСПЕРСНЫЙ СОСТАВ АЭРОЗОЛЕЙ ПРИЗЕМНОГО СЛОЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА В РАЙОНЕ РАСПОЛОЖЕНИЯ РАДИАЦИОННО ОПАСНЫХ ОБЪЕКТОВ НА ТЕРРИТОРИИ МОСКВЫ

*Ю.А. Светличный[1], Т.Н. Лащенова[2]*
*[1] – ФГУП «РАДОН», предприятие ГК Росатом, г. Москва, Россия*
*[2] – Российский Университет Дружбы Народов имени Патриса Лумумбы, г. Москва, Россия*

**Введение.** Определение характеристик радиоактивных аэрозолей в приземном слое атмосферного воздуха в г. Москве осуществляется специалистами ФГУП «РАДОН» в рамках соглашений с Департаментом ЖКХ г. Москвы на оказание услуг полного цикла по обеспечению радиационной безопасности населения г. Москвы. Для оценки внутреннего облучения населения необходимо контролировать дисперсный состав радиоактивных аэрозолей. Особенно важен контроль в районе расположения радиационно опасных объектов, которые имеются на территории Москвы, особенно тех, в выбросах которого потенциально может содержаться $^{131}$I.

В предыдущих исследованиях по Москве выявлено [1], что основной вклад в содержание в атмосферных аэрозолей мелких взвешенных частиц размером менее 10 мкм ($PM_{10}$) вносили частицы пыли, которые оказывают влияние на состояние здоровья населения. В России в 2010 г. вышел документ, обязывающий оценивать концентрации аэрозольных частиц с диаметром менее 10 мкм [2], которые оказывают влияние на состояние здоровья населения.

Действующий норматив в ЕС равен 40 мкг/м$^3$, в США – 150 мкг/м$^3$, в Китае – 70 мкг/м$^3$. В Москве проводились такие единичные исследования в 2007 г. по городу, и в среднем $PM_{10}$ составило 34 мкг/м$^3$, с существенным разбросом по районам. За этот период по настоящее время на территории г. Москва проводилась огромная работа и комплекс мероприятий, которые были направлены

на снижение содержания пыли в приземном слое атмосферного воздуха.

**Целью работы** является оценка дисперсного состава аэрозолей приземного слоя атмосферного воздуха в районе расположения радиационно опасных объектов на территории г. Москва.

**Материалы и методы.** Отбор, подготовка и измерение удельной активности радионуклидов в пробах аэрозолей приземного слоя атмосферного воздуха и атмосферных выпадений проводили в ФГУП «РАДОН» на постоянной основе по определенному Программой мониторинга графику. Работа проводилась в рамках системы качества, по аттестованным методикам, с действующим АА № RA.RU.310680 от 01.06.2015 г. Объём исследования составил 416 проб атмосферных аэрозолей и 416 проб атмосферных выпадений за период с 2022 г. по н.вр. Полученные данные после обработки публикуются в ежегоднике Росгидромета «Радиационная обстановка на территории России и сопредельных государств», выпускаемом НПО «Тайфун».

Провели оценку полученных результатов по содержанию природных и техногенных радионуклидов в твердой фазе аэрозолей. Провели сортировку и выделили в отдельную группу результаты, где содержался техногенный $^{131}$I, 20% случаев появления которого в приземном слое атмосферного воздуха сосредоточено в районе Щукино. Провели статистическую обработку данных, получили логнормальное распределение данных. Медиана объёмной активности $^{131}$I в 2023 г. находилась в диапазоне от $1{,}7 \cdot 10^{-7}$ до $1{,}4 \cdot 10^{-5}$ Бк/м$^3$, при среднем значении $1{,}7 \cdot 10^{-6}$ Бк/м$^3$. Объемная активность $^{131}$I не превышала контрольных уровней содержания радионуклидов в воздухе, которые существенно ниже допустимых значений [1].

Для выявления дисперсного состава аэрозолей рассчитали скорость седиментации через формулу Стокса [3]. В 2023 г. средний диаметр аэрозолей, содержащих техногенный $^{131}$I на территории г. Москвы, находится в диапазоне 0,10-1,40 мкм. По полученным результатам было определено значение активностного медианного аэродинамического диаметра (АМАД), которое составило 0,31 мкм. Аэрозольные частицы с таким значением АМАД преимущественно будут оседать в альвеолах, в

наименьшей степени в бронхах. Полученные данные позволяют осуществлять расчеты внутреннего облучения человека от радионуклида $^{131}$I [4]. Результаты представлены на рис.1.

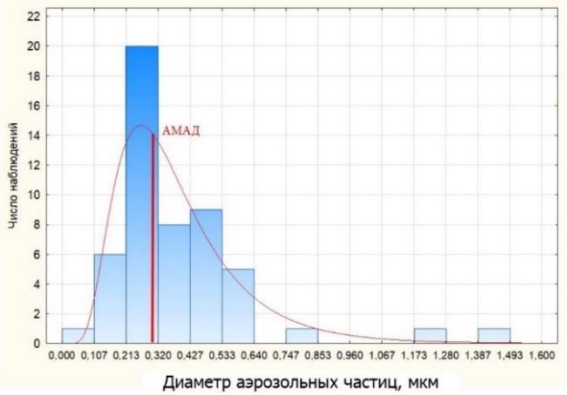



Рис. 1. Распределение средних размеров аэрозольных частиц

Вывод: полученные данные указывают на то, что указанные диаметры аэрозолей-носителей $^{131}$I при выявленной объемной активности данного радионуклида не несут опасности для жизни и здоровья населения на территории г. Москва [4, 5].

***Литература***

1 Лащенова Т.Н. Комплексная оценка состояния окружающей среды по радиационным и химическим факторам при эксплуатации и выводе из эксплуатации радиационно-опасных объектов: автореф. дис. д-ра биологических наук: 03.00.16. М.: РУДН, 2008. – 49 с.

2 Об охране атмосферного воздуха: Федеральный закон № 96-ФЗ.

3 Грин Х. Аэрозоли – пыли, дымы и туманы. – М.: Из-во «Книга по требованию», 2013. – 422 с.

4 ICRP Publication 130. Occupational Intakes of Radionuclides. ICRP, 2015. – 192 с.

5 СанПиН 2.6.1.2523-09 – Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009): Санитарные правила и нормативы. М.: Роспотребнадзор, 2009. – 78 с.

# ОЦЕНКА ХИМИЧЕСКОЙ И РАДИАЦИОННОЙ ОПАСНОСТИ ПО КРИТЕРИЮ РИСКА ДЛЯ ТАЛОЙ ВОДЫ

*Д.Д. Симонова, Б.И. Сынзыныс*
*Обнинский институт атомной энергетики – филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», г. Обнинск, Россия*

Оценка риска необходима для получения информации возникновения у человека злокачественных новообразований и наследственных эффектов у детей. Процесс оценки складывается из идентификации и характеристики опасности, оценки экспозиции и характеристики риска.

Целью работы является оценка химического канцерогенного и радиационного риска, определение индекса опасности талой воды, содержащей тритий и тяжёлые металлы.

В феврале 2024 г. были взяты пробы снега из городов Нововоронеж и Обнинск. Измерение показателя активности талой воды на тритий проводилось в «ГНЦ РФ – ФЭИ», в лаборатории внешней дозиметрии на радиометре «Quantulus - 1220» и составила 25±12 Бк/л и 33±15 Бк/л для Нововоронежа и Обнинска соответственно.

Определение дозы внутреннего облучения от трития посчитано по авторской методике [1]. Оценка индивидуального пожизненного риска составила $5{,}11 \cdot 10^{-8}$ чел$^{-1}$ и $6{,}93 \cdot 10^{-8}$ чел$^{-1}$, что не превышает предел индивидуального пожизненного риска $5{,}0 \cdot 10^{-5}$ чел$^{-1}$, в соответствии с НРБ-99/2009 [2].

Наряду с радиоактивным тритием в воде присутствуют растворенные ионы металлов, которые, как правило, формируют минеральный статус воды. Определение тяжелых металлов происходило в НИЦ «Курчатовский институт» – ВНИИРАЭ на спектрометре «ICP Kortek». Были определены химический риск (SF) и индекс опасности (RfC).

Для неканцерогенных химических веществ вычислялась среднесуточная доза тяжёлых металлов, поступающих с водой в организм человека (ADD), коэффициент опасности (HQ) для

каждого металла и суммарный индекс опасности (HI) по всем веществам неканцерогенной природы. Для канцерогенных металлов рассчитывался риск развития рака (CR) [3].

Риск канцерогенной природы от присутствующих в талой воде тяжёлых металлов составил $1{,}09 \cdot 10^{-4}$ для Нововоронежа и $6{,}56 \cdot 10^{-5}$ для Обнинска, что превышает значение приемлемого пожизненного риска, рекомендованного ВОЗ ($1 \cdot 10^{-6}$), почти в 109 и 66 раз.

Индекс опасности развития соматических заболеваний не раковой природы составил 0,21 и 0,16, что не превышает предельного значения индекса опасности HI=1.

Риск канцерогенной природы от присутствующих в талой воде тяжёлых металлов оказался выше пожизненного канцерогенного радиационного риска, обусловленного радиоактивностью трития, для каждого из городов.

***Литература***

1 Момот О.А., Сынзыныс Б.И. Оценка риска для здоровья при употреблении питьевой воды, содержащей малые количества трития // Вестник Калужского Университета. 2017. №1. С. 96–100.

2 НРБ-99/2009. Нормы радиационной безопасности: СанПиН 2.6.1.2523-09. – М.: Роспотребнадзор, 2009. – 100 с.

3 Сынзыныс Б.И., Момот О.А., Лаврентьева Г.В. и др. Применение технологии оценки риска для характеристики радиационной и химической опасности при употреблении родниковой воды в г. Обнинске // Вестник Калужского Университета. 2023. №2. С. 87-93.

# ОПТИМИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ РАДИАЦИОННОГО КОНТРОЛЯ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ МИКРОИСТОЧНИКОВ С I-125 «IPPE SEED»

*Е.С. Смирнов*
*ГНЦ РФ – ФЭИ им. А.И. Лейпунского, г. Обнинск, Россия*
*Обнинский институт атомной энергетики – филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», г. Обнинск, Россия*

Процесс производства микроисточников с I-125 включает в себя работу с открытыми радионуклидами в боксах и вытяжных шкафах, следовательно, необходимо производить контроль облучения кистей рук персонала и сопоставлять дозовую нагрузку с основными пределами доз, установленными в НРБ-99/2009.

Использование существующих на данный момент напалечных дозиметров считается необоснованным в связи с особой загрязненностью работ и необходимостью в дополнительном оборудовании. Напалечные дозиметры при непосредственном контакте с радионуклидами будут загрязнены неснимаемым загрязнением, что не позволит получать достоверную информацию об облучении.

Основной целью работы является разработка наиболее удобного и точного метода контроля облучения кистей рук, который позволит регулярно контролировать и оперировать дозовой нагрузкой на персонал.

Для дальнейшей разработки методики были произведены исследования возможных методов измерения эквивалентной дозы и сравнение их между собой и контрольными измерениями.

Исследования производились на установке АКИДК-301 с использованием индивидуальных дозиметров ДВГ-1 на основе детекторов ДТГ-4. Детекторы представляют собой таблетки из монокристаллического LiF, активированного Mg и Ti.

В качестве контрольных значений использовались показания индивидуальных дозиметров ДВГ-1, расположенные на внутренней стороне кисти, во время работ по производству микроисточников.

Все результаты были переведены на дозовую нагрузку при работе с микроисточником, для дальнейшего пересчета на среднегодовую дозу.

Результатом работы является расчет коэффициентов перехода от используемых методов к контрольным измерениям.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ УРОВНЕЙ ОБЪЕМНОЙ АКТИВНОСТИ В КРУПНЫХ ГОРОДАХ В СЛУЧАЕ ВОЗНИКНОВЕНИЯ АВАРИЙНОЙ СИТУАЦИИ НА АЭС

*И.В. Стогова, Е.С. Прудникова, В.Н. Мухалев*
*ФГБУ «НПО «Тайфун», г. Обнинск, Россия*

Защита окружающей среды и жизненно важных интересов человека от возможного отрицательного воздействия в случае возникновения чрезвычайных ситуаций (при радиационных авариях и инцидентах) является одним из направлений в деятельности ГК Росатом и Росгидромета, отвечающим за радиационный мониторинг на всей территории РФ. Для выполнения функций предоставления информации об аварийном радиоактивном загрязнении окружающей среды на федеральном уровне Росгидрометом определено ФГБУ «НПО «Тайфун» [1].

По соглашению с АО «Концерн Росэнергоатом» в НПО «Тайфун» функционирует Центр Технической Поддержки (ЦТП) Кризисного Центра (КЦ) Концерна, имеющий научно-техническую, методическую и экспертную базу, обеспечивающую информационную поддержку принятия решений. Основным назначением ЦТП НПО «Тайфун» является оказание научно-технической поддержки эксплуатирующей организации в случае аварии на АЭС [2].

Одной из задач, выполняемых в ЦТП НПО «Тайфун», является «Оценка возможности трансграничного переноса радиоактивного облака» с подзадачей «Определение уровней объемной активности в воздухе в крупных городах» в случае возникновения условной (реальной) аварии на какой-либо АЭС России. Реализация данной подзадачи происходит в два этапа. Первый этап – выполнение расчета по оценке возможности трансгра-

ничного переноса радиоактивного облака на территорию сопредельных государств, а также движению радиоактивного облака по территориям субъектов РФ. Расчет выполняется на основе анализа и прогноза метеорологических данных (результатов численного прогноза метеорологических элементов, поступающих в виде сеток из специализированных метеорологических центров). При проведении расчета задается длительность прогнозируемого периода, а также учитываются такие параметры как величина выброса и радионуклидный состав, высота и продолжительность выброса. На основе этих входных данных рассчитываются поля концентрации радиоактивных веществ, а также выдается информация о прогнозируемом времени достижения передним фронтом радиоактивного облака границ субъектов РФ и территории сопредельных государств. Второй этап – определение уровней объемной активности в крупных городах и/или областных центрах) субъектов РФ, по территории которых будет проходить радиоактивное облако. На основе проведенного расчета формируется список городов, расположенных близко к оси прохождения загрязненного облака, для которых определяется уровень активности. Длительность существования определенного уровня активности не превышает 24 часов в случае длительности прогнозируемого периода равной 48 часам.

Подобная задача была решена ЦТП НПО «Тайфун» во время противоаварийной тренировки АО «Концерн Росэнергоатом» на Курской АЭС, проходившей с 20 по 21 сентября 2022 г.

***Литература***

1 Бурков А.И., Мухалев В.Н., Прудникова Е.С. Гидрометеорологические аспекты при обеспечении безопасности ядерной энергетики / Сборник тезисов докладов VI Международной (XIX Региональной) научной конференции «Техногенные системы и экологический риск», г. Обнинск, 20-21 апреля 2023 г. С. 121-123.

2 Мухалев В.Н., Калмыкова О.В., Прудникова Е.С. Перспективы развития возможностей ЦТП НПО «Тайфун» в системе аварийной готовности и реагирования на радиационные аварии ГК Росатом / Материалы Международного ядерного форума

«Безопасность ядерных технологий: аварийная готовность и реагирование», г. Санкт-Петербург, 03-13 октября 2023 г.

## РАДИОХИМИЧЕСКИЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ СТРОНЦИЯ-90 В ОБЪЕКТАХ ВЕТНАДЗОРА

*З.В. Стреляева*
*Государственное научное учреждение «Институт радиобиологии Национальной академии наук Беларуси», г. Гомель, Республика Беларусь*

Цель проведённой работы заключается в верификации «стандартной методики», соблюдая которую лаборатория будет выполнять определение стронция-90. В качестве примера необходимых и достаточных процедур для верификации методики рассмотрим типовые разделы методики измерений согласно [1]:

1. Все имеющиеся реквизиты методики должны помочь лаборатории перед началом верификации установить актуальность конкретного издания (редакции) методики, т.е. выполнить требование пункта 7.2.1.3 [2].

2. Назначение и область применения методики.

Данный раздел в методике содержит информацию о том, на какие объекты (или их типы) распространяют данную методику её разработчики. Важным здесь является то, что лаборатории нужно очень внимательно проанализировать планируемое применение методики в части анализируемых объектов и на этом этапе решить все ли они будут востребованы, т.е. нужно ли верифицировать методику на все объекты или на их часть. Решение необходимо документировать.

3. Условия выполнения измерений. В возможности выполнения требований данного раздела методики необходимо убедиться до начала верификации, и приступать к верификации, когда условия измерений в лаборатории обеспечены. При документировании требований к условиям окружающей среды по 6.3.2 [2] необходимо учесть требования эксплуатационной документации на оборудование, требования методик и требования к помещениям (кроме измерений, производимых в полевых условиях). В

процессе верификации необходимо обеспечить документируемый контроль обеспечения условий измерений на каждый день верификации.

4. Процедуры обработки результатов измерений.

Обработка результатов измерений происходит, как правило, по расчётной формуле, указанной в методике. И здесь важно то, что все величины, входящие в расчётную формулу, должны быть задокументированы, т.к. только это позволит выполнить требование пункта 7.5.1. [2] и при необходимости пересчитать (проверить) или повторить результат измерений. Если для расчёта в лаборатории используют, например, программу Excel или другое ПО, то необходимо проверять правильность ввода формулы, расчётов по ней, точности округления и документировать данную проверку (п. 7.11.6 [2]).

Стадия моделирования измерения является чрезвычайно важной, так как от правильности составления модели измерения зависит правильный учет всех составляющих неопределенности, а, следовательно, и суммарная неопределенность измерения. Должно быть ясно представлено, что именно измеряется, включая соотношение между измеряемой величиной и параметрами, от которых она зависит.

**Заключение.** Разрабатываемые методики будут применены для низкофоновой альфа-бета установки Canberra S5E, диапазон измеряемой активности которой составляет 0,04-10000 Бк.

Разработанные нами методики, после проведения обязательной метрологической экспертиза, будут внесены в Государственный информационный фонд аттестованных методик по обеспечению единства измерений.

Образцы, полученные с применением данных методик, могут также радиометрироваться на установках ДП-100 или УМФ-1500, кроме низкофоновых установок типа CANBERRA. Такого типа радиометры применяются во многих областных и республиканских радиологических и ветеринарных лабораториях, где проводятся аналитические работы по определению Sr-90 в фураже, продуктах животноводства, рыбе, воде. Данные методики уже сейчас очень ожидаемы, потому что аккредитованные лабо-

ратории не имеют права работать с методиками, не прошедшими метрологический контроль.

***Литература***

1 ГОСТ Р 8.563-2009 Государственная система обеспечения единства измерений. Методики (методы) измерений.

2 Валидация аналитических методик: пер. с англ. яз. 2-го изд. под ред. Г.Р. Нежиховского. Руководства для лабораторий. – СПб.: ЦОП «Профессия», 2016 / The Fitness for Purpose of Analytical Methods: A Laboratory Guide to Method Validation and Related Topics: Second edition (2014) Eurachem Guide.

3 Методические указания № 5778-91 «Стронций-90. Определение в пищевых продуктах». Министерство здравоохранения СССР. М., 1991.

4 ISO/IEC 17025: 1999 General requirements for the competence of testing and calibration laboratories.

## ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ОХРАНОЙ ТРУДА, ВНЕДРЕННОЙ ПО ДОГОВОРУ АУТСОРСИНГА НА ПРОИЗВОДСТВЕ ЭЛЕМЕНТОВ ЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ

*М.О. Тургаева, Ф.Ф. Арсланбекова*
*Российский государственный социальный университет, г. Москва, Россия*

Повышение эффективности функционирования системы управления охраной труда на предприятиях является необходимым условием для снижения травматизма. Аудит является одним из видов контроля, которое позволяет систематически отслеживать функциональность элементов системы управления охраной труда, в том числе соответствие требованиям соответствующих нормативных документов [1].

Объектом исследования выбрано предприятие, производящее радиоэлектронное оборудование, ООО «Радиант». В 2022 г. начался поэтапный процесс внедрения СУОТ.

Для оценки эффективности работы системы управления охраной труда выбран метод поведенческого аудита [2]. В качестве целевой исследуемой группы работников были выбраны монтажники радиоэлектронной аппаратуры и слесари-электромонтажники. Для внедрения методики была разработана анкета с учетом специфики производства, действий работника и условий труда. Поведенческий аудит проводился с 2022 г. по 2024 г. с периодичностью 1 раз в месяц. Показатель опасности определялся по 34 критериям.

Результаты расчетов коэффициента опасности по методике ПАБ отражают положительную динамику снижения коэффициента опасности (рис. 1), в том числе для каждой отдельной категории наблюдения, после поэтапного внедрения СУОТ на предприятии.

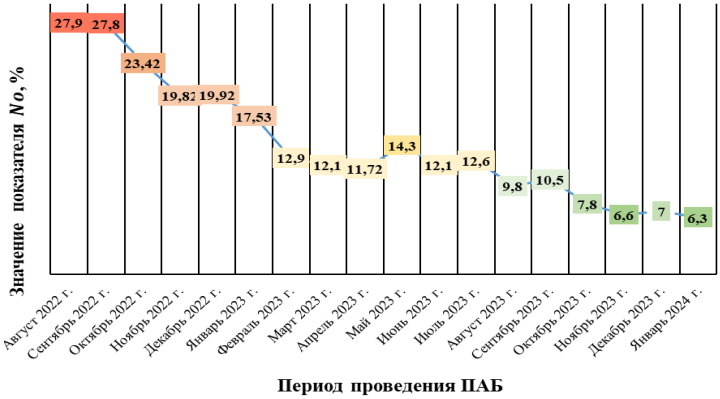



Рис. 1. Результаты ПАБ за период август 2022 г. – январь 2024 г.

Внедрение процессов поведенческого аудита безопасности показало, что анализ опасных поведений работников снижается, а это значит меняется сознание работников, изменяется культура труда**,** повышается безопасность производственной среды.

***Литература***

1 Майстренко Е.В., Ибрагимова Н.И. Поведенческий аудит безопасности как инструмент повышения эффективности систе-

мы управления охраной труда // Высшее образование сегодня. – 2019. – № 1. – С. 49-43.

2 Р Газпром 18000.3-009-2019. Рекомендации организации. Единая система управления производственной безопасностью. Поведенческий аудит безопасности. Правила проведения. – М.: Санкт-Петербург, 2019. – 34 с.

## ОЦЕНКА УРОВНЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ШУМОМ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ

*А.А. Ульянова, Д.С. Семенова*
*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*

Актуальность проблемы акустошумового загрязнения является одной из ключевых, которые оказывают негативное воздействие на окружающую среду и здоровье человека.

Основными источниками шумового загрязнения являются автотранспорт, строительные и ремонтные работы, открытые стадионы, крики детей на площадках, громкая музыка на колонке и т.д.

Целью работы является оценить уровень шумового загрязнения в г. Томске, описать влияние шума на организм человека, указать основные источники повышенного уровня шума в современном мире, разработать мероприятия по уменьшению шумового загрязнения.

В данной работе проводилось исследование шумового загрязнения г. Томска. Была выбрана Ново-соборная площадь, которая находится в самом центре города. Площадь расположилась по длине вдоль улиц Ленина и Советской, а по ширине Спортивного переулка и улицы Герцена. Измерения проводились на мероприятии «Фиджитал-день» (табл. 1).

Таблица 1

Измеренный уровень шума в указанных точках

| Время, с | Точка 1 | Точка 2 | Точка 3 | Точка 4 | Точка 5 |
|---|---|---|---|---|---|
| | Уровень шума, дБ | | | | |
| 0 | 86 | 56 | 66 | 43 | 60 |
| 5 | 90 | 58 | 63 | 41 | 42 |
| 10 | 86 | 61 | 66 | 46 | 49 |
| 15 | 88 | 55 | 76 | 49 | 59 |
| 20 | 88 | 70 | 58 | 60 | 49 |
| 25 | 89 | 66 | 78 | 40 | 59 |
| 30 | 80 | 63 | 54 | 44 | 47 |
| 35 | 88 | 76 | 74 | 49 | 47 |
| 40 | 90 | 72 | 80 | 43 | 40 |
| 45 | 89 | 78 | 62 | 58 | 55 |
| 50 | 88 | 51 | 58 | 56 | 47 |
| 55 | 83 | 51 | 58 | 59 | 47 |
| 60 | 88 | 54 | 78 | 40 | 54 |
| среднее | 87±1 | 62±1 | 67±1 | 48±1 | 50±1 |

В результате проведенного анализа были выявлены наиболее загрязненные места шумом во время мероприятия «Фиджиталдень» и разработан план по уменьшению шумового загрязнения в городской среде.

***Литература***

1 Линченко С.Н. Экологическое состояние окружающей природной среды и здоровье человека. – Краснодар, 2007. – 64 с.

2 Миронова А.А. Опасность воздействия шума на психофизиолгическое состояние и трудоспособность человека // Международный студенческий научный вестник. – 2020. – №6.

3 Федеральное бюджетное учреждение здравоохранения «Центр гигиены и эпидемиологии в Республике Алтай» от 26.09.2016г. URL: https://www.fbuz04.ru/index.php/o-centre/press-sluzhba/shum-kak-vrednyj-faktor. (дата обращения 24.03.2024).

4 Методические рекомендации по оценке необходимого снижения звука у населенных пунктов и определению требуемой акустической эффективности экранов с учетом звукопоглощения (утв. распоряжением Мин. транспорта РФ NOC-Зб-р от 21.04.2003) URL: http://snipov.net/c_4676_snip_103936.html. (дата обращения 24.03.2024).

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ОСВЕЩЕНИЯ НА РАБОТОСПОСОБНОСТЬ И ЗДОРОВЬЕ РАБОТНИКОВ В ВЫСТАВОЧНОМ ПАВИЛЬОНЕ

*С.А. Чернов, Ф.Ф. Арсланбекова*
*Российский государственный социальный университет, г. Москва, Россия*

Человек постоянно подвергается действию солнечного света и свету от искусственных источников с разным диапазоном интенсивности и спектральными характеристиками. Доказано, что свет влияет на биологические процессы в организме [1]. Оптимальное освещение повышает производительность труда, улучшает условия безопасности труда и снижает утомляемость на рабочем месте [2].

Проведено комплексное исследование воздействия освещения на организм работников с целью определения оптимальных условий освещения на рабочем месте для поддержания здоровья и производительности работников выставочных павильонов.

В ходе исследования изучались 4 группы работников (15 человек в каждой) выставочных павильонов с разными условиями освещения. Проведен опрос среди работников с целью оценки восприятия освещения на их рабочих местах и выявления возможных негативных эффектов на здоровье и производительности труда. Каждый участник опроса подвергся медицинскому обследованию, в ходе которого детально исследовалось функциональное состояние организма, вегетативная регуляция, функциональные резервы, нейрогуморальная регуляция и психоэмоциональное состояние. Проведено исследование влияния

различных спектров света, интенсивности освещения на физиологические показатели работников.

Для исследования воздействия освещения на физиологические показатели работников были применены следующие методы и приборы: использование люксометра-пульсометра ТКА-ПКМ для измерения интенсивности освещения, а также спектрометра Sekonic C-700-U для анализа спектральных характеристик освещения. Кроме того, для расчета оптимальных условий освещения применялись такие методы, как метод коэффициента использования светового потока и метод удельной мощности [3]. Эти методы и приборы позволили комплексно оценить влияние различных спектров и интенсивности света на состояние здоровья и производительность труда работников [4].

С учетом результатов замеров, опроса и обследования работников была проведена оценка профессиональных рисков несколькими методами, для наиболее полного выявления потенциальных опасностей и рисков.

Исследование показало, что продолжительное воздействие синего и фиолетового спектров освещения на протяжении шести месяцев, особенно в условиях недостаточной освещенности, приводит к ухудшению зрения и оказывает неблагоприятное влияние на нервную систему.

Выявлено, что свет влияет на биологические процессы человека и его здоровье. Искусственное освещение, которое не соответствует нормируемым характеристикам, снижает работоспособность, качество сна, повышает уровень утомляемости и сна. Увеличение освещенности с помощью определенных осветительных приборов на рабочем месте способствует повышению производительности труда.

Исследование подтверждает необходимость учета параметров освещения при проектировании и организации рабочих мест с целью обеспечения комфортных и безопасных условий труда.

***Литература***

1 Новикова Л.В., Иванушкина И.Р. Влияние цвета и света на человека // Биомедицинская инженерия и электроника. 2012. №2.

2 Слабышева В.Д., Панова А.В. Влияние недостаточной освещенности при естественном и искусственном освещении на здоровье обучающихся // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. 2017. №13.

3 Берлов Д.Н. Возможные пути влияния режимов освещения на когнитивные функции человека // Здоровье – основа человеческого потенциала: проблемы и пути их решения. 2016. №2.

4 Соколова Н.А. Влияние освещения помещения на восприятия человеком его размера и формы //Теория и практика современной науки. 2018. №5 (35).

## ВКЛАД В ГОДОВУЮ ЭФФЕКТИВНУЮ ДОЗУ ОТ ЕСТЕСТВЕННЫХ РАДИОНУКЛИДОВ $^{226}$Ra, $^{232}$Th, $^{40}$K И ИСКУССТВЕННОГО $^{137}$Cs

*Е.С. Шаповалов, Е.А. Бураева*
*Научно-исследовательский институт физики ЮФУ,*
*г. Ростов-на-Дону, Россия*

Годовая эффективная доза (ГЭД) является важным показателем в оценке радиационной обстановки окружающей среды. Суммарное значение ГЭД зависит от мощности амбиентного эквивалента дозы гамма-излучения, космического излучения и содержания естественных и искусственных радионуклидов, содержащихся в окружающей среде [1].

Работа посвящена вычислению вклада в годовую эффективную дозу от естественных $^{226}$Ra, $^{232}$Th, $^{40}$K и искусственного $^{137}$Cs радионуклидов в пробах почв на территории Алексеево-Лозовского сельского поселения Чертковского района Ростовской области.

Вычисление вклада в ГЭД осуществлялось с использованиев эмпирических формул:

Вклад в ГЭД от естественных радионуклидов:

$$D_{NR} = 0.462 \times A_{Ra} + 0.604 \times A_{Th} + 0.0417 \times A_K , \quad (1)$$

где $A_{Ra}$, $A_{Th}$ и $A_K$ – средняя активность $^{226}$Ra, $^{232}$Th и $^{40}$K; *0.462*, *0.604* и *0.0417* – коэффициенты преобразования активности в дозу [2].

Вклад в ГЭД от искусственного радионуклида:

$$HCs = a \times SCs, \quad (2)$$

где а = 6 мкЗв/ч – коэффициенты преобразования (для взрослого человека); SCs – поверхностная активность $^{137}$Cs на почве (кБк/м$^2$) [2].

Средние арифметические удельные активности искусственного цезия ($^{137}$Cs) и естественных радия, тория, калия ($^{226}$Ra, $^{232}$Th, $^{40}$K) составляют 10,5, 21,6, 24,9 и 317 Бк/кг соответственно. Полученные удельные активности в почвах Чертковского района характерны для Ростовской области и не превышают среднемировые значения. В табл. 1 представлены значения вклада в годовую эффективную дозу от радионуклидов, вычисленные по формулам (1) и (2).

Таблица 1

Вклад в ГЭД от радионуклидов, содержащихся в почве

| **ГЭД от естественных и искусственного радионуклидов, мЗв** | | |
|---|---|---|
| ЕРН ($^{226}$Ra, $^{232}$Th, $^{40}$K) | ИРН ($^{137}$Cs) | $HCs + D_{NR}$ |
| 0,0469 | 0,0038 | 0,0507 |

Суммарное значение от ЕРН и ИРН составляет примерно 1/20 от основного дозового предела для населения (от усредненной величины порядка 1 мЗв в год). Связано это с низким содержанием как естественных, так и искусственных радионуклидов в почвах, ограниченностью проведения анализа радионуклидного состава, а также отсутствием исследования вклада радона в общую ГЭД.

*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 Орлов П.М., Сычев В.Г., Жиленко С.В. Радиологический мониторинг почв земель сельскохозяйственного назначения //

XXI век: Итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2015. – №5. – С. 45-50.

2 UNSCEAR (United Nations Scientific Committee on the Effect of Atomic Radiation) Sources and Effects of Ionizing Radiation (2000) Report to the General Assembly).

## СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД КОНТАМИНАНТАМИ РАЗЛИЧНОЙ ПРИРОДЫ 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*

Эколого-гигиеническая обстановка на объектах ядерного наследия бывших береговых технических баз ВМФ России и объектов по утилизации атомных подводных лодок характеризуется комплексным загрязнением окружающей среды техногенными радионуклидами и тяжелыми металлами. Существующие подходы к характеризации состояния загрязнения природной среды поллютантами различной природы трудно сопоставимы и не позволяют в полной мере провести сравнительный анализ выраженности их воздействия на компоненты природной среды. Целью работы являлась разработка универсального алгоритма вычисления интегрального коэффициента загрязнения (ИКЗ) и его применения для сравнительной оценки загрязнения подземных вод. ИКЗ представляет усреднённую «кратность загрязнения» объекта окружающей среды на изучаемой территории по сравнению с фоновым показателями, с учётом гигиенической значимости каждого загрязняющего вещества (рис. 1).

$$K = \frac{\sum_{i=1}^{n} \left(\frac{X_i}{Norm_i}\right)^{w_i}}{\sum_{i=1}^{n} \left(\frac{X_{\phi i}}{Norm_i}\right)^{w_i}}$$

Рис. 1. Формула расчёта интегрального коэффициента загрязнения K

X и $X_ф$ – измеренные значения содержания i-го контамината на исследуемой территории и в фоновом районе, Norm – значение норматива, w – весовой коэффициент, учитывающий класс опасности загрязняющего вещества (для радионуклидов принят за 1). В табл. 1 представлены ИКЗ подземных вод в районах расположения объектов ядерного наследия. В качестве основных загрязнителей рассматривались: техногенные радионуклиды – $^{137}Cs$ и $^{90}Sr$, и тяжелые металлы (I-IV класса опасности), включая Be, Cd, Mo, V, W, Co, Cu, Ni, Pb, Zn, Al, Mn, Sr, которые были выявлены в ходе многолетних комплексных мониторинговых исследований. Для радионуклидов в качестве норматива применяли уровень вмешательства для питьевой воды. Для металлов в качестве норматива использовали ПДК, а весовые коэффициенты рассчитывали с учётом их класса опасности.

Таблица 1

Значения интегральных коэффициентов загрязнения подземных вод в районах расположения объектов ядерного наследия

| Район расположения | Объект | Интегральные коэффициенты | |
|---|---|---|---|
| | | Радионуклиды | Металлы |
| Приморский край | БТБ | 1,3 (1,1-1,5)/53 | 1,4 (0,93-2,1)/6,8 |
| | ОУАПЛ | 1,6 (1,3-1,9)/13 | 11 (8,1-16)/28 |
| Мурманская область | БТБ | 1,1 (0,97-1,2)/3,0 | 1,4 (0,50-3,7)/13 |

В скобках – границы доверительного интервала при P=0,95;
через косую черту – максимальные значения.
БТБ – бывшие береговые технические базы ВМФ России;
ОУАПЛ – объекты по утилизации атомных подводных лодок.

Показано, что химическое загрязнение подземных вод превалирует над радиационным вне зависимости от района расположения объекта ядерного наследия. Разработанный интегральный индекс загрязнения универсален и может быть использован в сравнительном анализе влияния производственной деятельности различных предприятий на окружающую среду, а также при

оценке динамики изменения воздействия предприятия на окружающую среду на различных этапах производственного цикла.

## АНАЛИЗ СУТОЧНОГО ХОДА β- И γ- ИЗЛУЧЕНИЯ ПОД ФИЛЬТРОМ ВОЗДУХО-ФИЛЬТРУЮЩЕЙ УСТАНОВКИ НА 4 СТАНЦИЯХ НАБЛЮДЕНИЯ

*В.Н. Яхрюшин[1], О.Н Полянская[1], В.В. Борисенко[2], И.В. Голубцова[2]*
*[1] – ФГБУ «НПО «Тайфун», г. Обнинск, Россия*
*[2] – ФГБУ «Челябинский ЦГМС», г. Челябинск, Россия*

Для отбора проб атмосферных аэрозолей с целью определения радиоактивного загрязнения приземного слоя атмосферы применяются воздухо-фильтрующие установки типа УВФ-2 [1]. Датчики β- и γ-излучения, установленные под фильтром УВФ, в режиме on-line с дискретностью в три минуты регистрируют данные о характере изменения излучения. С целью выявления особенностей суточного хода β- и γ-излучения под фильтром УВФ были проанализированы данные с четырех станций наблюдения: Аргаяш (2020-2023 гг.), Кыштым (2019-2023 гг.), Новогорный (2021-2023 гг.) Челябинской области и Обнинск (1997-2023 гг.) Калужской области. Все перечисленные станции наблюдения находятся в 100 км зоне объектов использования атомной энергии (ОИАЭ) [2].

По имеющимся данным был проведен расчет среднесуточного хода для β- и γ- излучения под фильтром УВФ для сезона зима и лето для каждой станции. Пример рассчитанного среднесуточного хода γ-излучения показан для станции Новогорный на рис.1. Анализ среднесуточного хода γ-излучения для всех станций показал, что наибольшие отличия (искажения) наблюдаются для станции Новогорный, что связано, по-видимому, с работой расположенного рядом открытого карьера и проводимыми взрывными работами, приводящими к дополнительному выбросу радионуклидов.

Следующим этапом был сравнительный анализ данных. Для каждого дня был рассчитан взаимный коэффициент корреляции

между парами станций для β- и γ-излучения по каждому дню. В таб. 1 представлены значения медианы и среднего для полученных частотных гистограмм корреляций для трех станций. Корреляция со станцией наблюдения Обнинск не приведена, так как она несущественна.

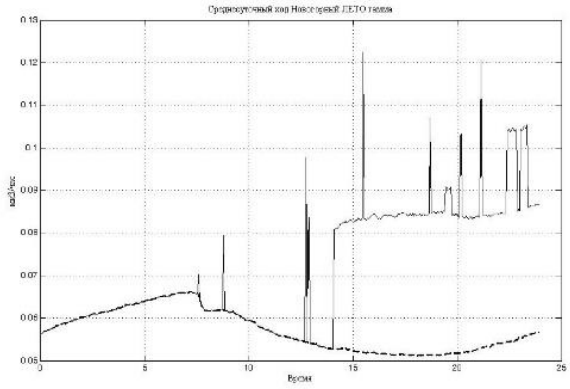



Рис. 1. Среднесуточный ход гамма-излучения в летний период для станции Новогорный.
--- без выбросов, — с учетом выбросов с карьеров

Таблица 1

Характеристика гистограммы частот корреляции между станциями

| | Аргаяш – Кыштым | Аргаяш – Новогорный | Кыштым – Новогорный |
|---|---|---|---|
| β (медиана) | 0,78 | 0,83 | 0,87 |
| γ (медиана) | 0,34 | 0,54 | 0,42 |
| β (среднее) | 0,65 | 0,69 | 0,73 |
| γ (среднее) | 0,29 | 0,41 | 0,39 |

***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 Радиационная обстановка на территории России и сопредельных государств в 2022 г. Ежегодник / Под ред. В.С. Косых и др. – Обнинск: ВНИИГМИ-МЦД, 2023. – 346 с.

## СЕКЦИЯ 4. БИОТЕСТИРОВАНИЕ И БИОИНДИКАЦИЯ ОБЪЕКТОВ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

### АНТИОКСИДАНТНЫЕ СВОЙСТВА ЭКСТРАКТОВ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ ЛИШАЙНИКОВ

*М. Амбросович, В. Свинторжицкая, Е. Тарун*
*МГЭИ им. Сахарова, г. Минск, Республика Беларусь*

Лишайники – удивительные организмы, объединяющие в себе грибы и водоросли, обладают множеством уникальных свойств, среди которых стоит выделить их антиоксидантные качества. Экстракты из различных видов лишайников давно применяются как ценные компоненты в традиционной медицине и косметике благодаря их способности защищать организм и кожу от вредного воздействия свободных радикалов. Целью исследования была оценка антиоксидантной активности 11 видов лишайников.

Ключевые слова: лишайники, антиоксидантные свойства.

Свободные радикалы, нестабильные молекулы, могут вызывать повреждение клеток, что связано с различными заболеваниями и процессами старения. Антиоксиданты, такие как витамины, каротиноиды и фенольные соединения, помогают нейтрализовать свободные радикалы и предотвращать их разрушительное действие.

Разные виды лишайников обладают выдающимися антиоксидантными свойствами. Например, Cladonia богата витамином С и каротиноидами, что помогает укрепить иммунитет и защитить организм от окружающей среды. Usnea содержит гуминовые кислоты с антиоксидантными и антибактериальными свойствами. Ее применяют для лечении некоторых заболеваний.

В результате исследования было оценено общее содержание непредельных соединений и ароматических спиртов. *Usnea dasypoga,* собранная в окрестностях горы Архыз на Кавказе содержит 28% данных соединений, *Usnea sphacelata,* собранная в Антарктиде – 82%, *Usnea sphacelata,* собранная в окрестностях

горы Архыз на Кавказе – 68%, *Xanthoria elegans*, собранная в Антарктиде – 55%. *Xanthoria parietina*, собранная в Лошицком парке г. Минска – 47%, Xanthoria *polycarpa*, собранная в парке им. Горького г. Минска – 35%, *Cladonia fimbriata*, собранноеая в Севастопольском парке г. Минска – 51%, *Cladonia sphacelata*, собранная в окрестностях горы Архыз, Кавказ – 38%, *Cladonia pyxidata*, собранная в окрестностях города Архыз, Кавказ – 40%, *Physcia caesia*, собранная в Севастопольском парке г. Минск – 39%, *Physcia caesia*, собранноеая в Антарктиде – 28%.

Антиоксидантные свойства лишайников превращают их в природный барьер против свободных радикалов. Однако важно помнить, что антиоксидантные свойства могут варьировать в зависимости от вида и условий сбора. Экстракты лишайников становятся всё более ценными в фармацевтике и косметической промышленности, и исследования в этой области продолжаются, чтобы лучше понять и использовать.

Проведенное исследование выявило значительное внутривидовое различие в составе и содержании биологически активных веществ, произрастающих в разных регионах. Основными веществами, обнаруженными в экстрактах, являлись эфиры насыщенных и ненасыщенных карбоновых кислот, жирные насыщенные и ненасыщенные кислоты, а также фенольные соединения.

***Литература***

1 Yang Y., Zhu X, Yu G, Ma J. Protective effect of pyxinol, one active ingredient of lichenes on cisplatin-induced nephrotoxicity via ameliorating DNA damage response // Front Pharmacol. – 2021. – V. 12. – P. 735-738.

2 Zambare V.P., Christopher L.P. Biopharmaceutical potential of lichens // Pharm Biol. – 2012. – V. 50. – P. 78-98.

# РЕЗУЛЬТАТЫ БИОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ВОДОЕМОВ-ОХЛАДИТЕЛЕЙ КАЛИНИНСКОЙ АЭС

*С.Д. Андрейчук, С.Ю. Суворова, В.С. Пятов, А.А. Ульяшова, А.Д. Шерова, М.М. Рассказова*
*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 проблемы, включающий 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 обрастания.

В июле 2023 г. был проведен ряд исследований экологического состояния системы водоемов-охладителей Калининской АЭС в рамках биомониторинговой экспедиции, в результате которых были сделаны выводы о трофности, видовом биоразнообразии, сапробности озёр Удомля и Песьво, входящих в природно-техногенную систему «КлнАЭС – водоем-охладитель».

Биоразнообразие обеспечивает устойчивость экосистем к внешним стрессовым воздействиям и поддерживает в них подвижное равновесие. Одним из способов измерения разнообразия видов в сообществе является индекс разнообразия Шеннона (H). Для озера Удомля индекс Шеннона составил: H = 2,42. Для озера Песьво: H = 2,13. Индекс Шеннона обычно варьирует в пределах от 1,5 до 3,5, следовательно, полученные результаты отражают среднее значение и свидетельствуют об умеренном видовом разнообразии [1].

Сапробионты могут служить индикаторами загрязнения или разной степени разложения органических веществ в водоеме [1]. По результатам исследования, о. Удомля и о. Песьво относятся к β-мезосапробным водоемам. В озерах преобладают диатомовые и эвгленовые виды водорослей и простейших: *Nitzgchia*

*longissima, Neidium productum, Scenedesmus quadricauda, Cuclotella comta, Diatoma hiemale, Diatoma vulgare*. Индекс сапробности о. Удомля находится в пределах от 1,56 до 1,81. Для о. Песьво индекс сапробности составил 1,71-1,89. Полученные данные соответствуют 3 классу качества воды (умеренно загрязненная). Такие водоёмы являются экологически полноценными. Умеренное видовое разнообразие озер свидетельствует о стабильности экосистемы.

Второй частью исследования был анализ популяции организмов обрастания – моллюсков дрейссен (*Dreissena polymorpha*), являющихся основным источником биологических помех на Калининской АЭС. В ходе исследования пространственного распределения моллюсков в водоеме был сделан вывод, что предпочтительным грунтом для прикрепления моллюсков являются крупные камни, расположенные по берегам озер. В илистых грунтах живых особей не обнаружено.

Исследования морфометрических показателей дрейссен показали, что средняя длина раковин находится в диапазоне 11-14 мм, ширины – 4-6,5 мм. Средний показатель массы находится в диапазоне 0,04-0,5 г. Наличие больших пределов погрешности связано с разным возрастом исследуемых особей в популяции. Размножение моллюсков в системе водоёмов-охладителей происходит с большой интенсивностью, поэтому в выборке присутствуют как совсем молодые, так и взрослые особи.

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.

***Литература***

1 Мелехова О.П., Сарапульцева Е.И. и др. Биологический контроль окружающей среды: биоиндикация и биотестирование. – М.: Издательский центр «Академия», 2010. – 288 с.

# БИОМОНИТОРИНГ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА ОЗЕР БИНЕГЕДИ И МИРЗЕЛЕДИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МХОВ-ТРАНСПЛАНТОВ

*С.Р Гаджиева[1], И.И. Мустафаев[2], Т.И. Алиева[1]*
*[1] - Бакинский Государственный Университет, г. Баку, Азербайджан*
*[2] - Институт Радиационных проблем НАНА, г. Баку, Азербайджан*

Бинагеди расположен в северо-западной части Апшеронского полуострова. В Бинагадинском районе сосредоточено 95 промышленных предприятий города Баку, которые распределены по следующим отраслям: 5 – в горнодобывающей промышленности, 85 – в обрабатывающей промышленности, 2 – в электрической и газовой промышленности, 3 – в водоснабжении и по обработке промышленных отходов.

Среди крупных промышленных предприятий района можно отметить следующие: нефтяная фирма «Bineqedi Oil Company»; предприятие по производству обуви — ООО «Bot»; машиностроительный завод имени Бунията Сардарова; АО открытого типа «Bakı Poladtokme», специализирующееся на производстве железных и стальных изделий; фирмы по производству красок — «FAB Boya» и «Bilfa Boya»; заводы крупнейших мировых компаний по производству безалкогольных и прохладительных напитков — «Coca-Cola Bottlers LTD», «Golden Uoter», «Mars Overseas». На территории этого района находятся два крупных озера Мирзеледи и Бинегеди.

В Бакинском Государственном Университете на кафедре экологической химии провели анализ стойких органических загрязнителей. Целью настоящего исследования является определение токсичных органических веществ в атмосферном воздухе на территории озера Бинегеди и Мирзеледи (Бинегединский район города Баку) с использованием метода биомониторинга (мхи-трансланты).

Для определения содержания органических веществ в атмосферном воздухе оз. Бинегеди и Мирзеледи нами изучалось их

содержание и для этой цели провели биомониторинг атмосферного воздуха с использованием мхов-трансплантов (мох в мешочках) *Moss Sphagnum girgensohnii Russow*. С этой целью мхи-биомониторы вида *Sphagnum girgensohnii* экспонировались в течении трех месяцев в некоторых местах этого района. Необходимо отметить, что в этом районе г. Баку ведется интенсивное строительство, работают предприятия по производству асфальта, битума.

Мох был собран в экологически чистом болоте Центральной России и экспонирован в мешочках. Время экспозиции составило 3 месяца.

Сначала мхи после сбора очищали от инородных тел. Полученный чистый образец мха сушится при температуре 130 $^0$C в течение 7 дней. После просушки они укладываются в мешочки и помещаются в области, подлежащей анализу. Затем производится экстракция образцов мхов. 0,3-1 г каждого образца было отобрано для экстракции в стеклянную коническую посуду, заранее очищенную метилен хлоридом. Экстракция проводилась на ультразвуковой бане с использованием дихлорметана. Экстракты фильтровались в круглодонную колбу и концентрировались с помощью роторного испарителя при температуре водяной бани 30±5 °C до объема 2 мл, далее под тонкой струей азота перенесены в пробоотборники в объеме 1мл.

Во время анализа образцов использовались растворители дихлорметан (Rathburn, Scotland) с хроматографической степенью чистоты. Особые меры были приняты для предотвращения зягрязнения от стеклянной посуды, тефлона, стальных материалов. Для чистки посуды использовались деионизированная вода и метилен хлорид.

Качественный анализ проводился на приборе Agilent 6890N газовый хроматограф с масс селективным детектором Agilent 5975, ГХ-МД производства фирмы Agilent Technologies, оснащенный инжектором без деления потока и капиллярной колонкой ZB-5 (Phenomenex, США). Колонка ZB-5 имеет следующие спецификации – 5%-дифенил 95%-диметилполисилоксан сополимер, длина – 60 м, внутренний диаметр 0.25 мм, толщина пленки 0.25 мкм. В качестве газа-

носителя использовался гелий. Образцы вводились с помощью автоматического пробоотборника. Анализ проводился в режиме сканирования (SCAN). В качестве спектральных баз данных были использованы библиотеки WILLEY и NIST. Обработка и анализ данных проводился с использованием многомерного статистического анализа.

По результатам анализов определили, что наблюдается небольшое увеличение количества полициклических ароматических углеводородов: нафталина, азулена, асенафтена, хризена, фенантрена, антрацена, флуорантена, пирена, бензантрацена, бензапрена, фенолов, нитробензола, дибензофурана, пиридина, фталатов, алкилбензолов, толуола, стирола, ксилола, бензола, этанола, бензальдегидов, ацетофенона, бензойной кислоты, формамидов, фуранов, фурфурола, органических кислот и т.д. в атмосферном воздухе этих озер. Как известно, эти органические соединения токсичны и могут попадать в окружающую среду при нефтепереработке.

## ИЗУЧЕНИЕ ДЕЙСТВИЯ ГУМИТОНА, АКТИВИРОВАННОГО НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ПЛАЗМОЙ, НА ПРОРАСТАНИЕ СЕМЯН ЯРОВОГО ЯЧМЕНЯ

*С.А. Горбатов, А.А. Суслов, Н.Г. Иванкин, К.В. Петров, А.В. Тихонов, И.В. Горбатова, Д.И. Петрухина, И.А. Иванов*
*НИЦ «Курчатовский институт» - ВНИИРАЭ,*
*г. Обнинск, Россия*

Низкотемпературная плазма широко используется для активации воды, а также водных растворов. Эффективность плазменной активации достаточно высокая. Потому актуальна оценка плазменной активации и для органоминеральных удобрений.

Эксперименты по данной проблеме проводили на базе НИЦ «Курчатовский институт» -– ВНИИРАЭ, в лаборатории «Агрохимических исследований и технологий ведения растениеводства». В работе использовали семена ярового ячменя сорта Московский 86, а также биологически активный органоминераль-

ный комплекс Гумитон [1]. Указанный агрохимикат подвергали воздействию низкотемпературной плазмы [2] с экспозицией 30, 60, 90, 120 мин. Для обработки зерен Гумитон разбавляли дистиллированной водой в соотношении 1:40, а затем проводили обработку путем замачивания на 1 мин. В качестве контроля использовали семена, обработанные дистиллированной водой без добавления Гумитона. Проращивание семян осуществляли рулонным методом по 100 семян в каждом рулоне. Рулоны помещали в термостат на 7 суток при температуре 25 °С. По истечении данного периода, измеряли длину побегов и корней, а также считали количество проросших семян.

В ходе работы выявлено, что у проростков, выросших в растворе Гумитона, обработанном плазмой в течение 30 мин, было зафиксированно значимое увеличение длины проростков и корней на 1,3 и 1,7 см соответственно. У проростков, выросших в растворе Гумитона, облученном плазмой в течение 120 мин, длина побегов была больше контроля на 1,0 см. Также в условии обработки в течение 120 мин показатель лабораторной всхожести достоверно увеличился на 12,7 % относительно контроля.

По результатам данной работы получено, что раствор Гумитона, обработанный плазмой в течение 30 и 120 мин, значимо влияет на активацию роста побегов и корней. Наибольшая лабораторная всхожесть семян зафиксирована в рулонах, находившихся в растворе Гумитона, обработанном плазмой в течение 120 мин.

***Литература***

1 Горбатов С.А., Иванов И.А., Тихонов А.В. и др. Микроволновый источник нетермальной плазмы при атмосферном давлении // Приборы и техника эксперимента. – 2021. – № 1. – С. 155-156. – DOI 10.31857/S0032816221010110.

2 Патент № 2709737 C1 Российская Федерация, МПК C05F 11/02. Биологически активный органо-минеральный комплекс и способ его получения: № 2019103138 : заявл. 04.02.2019 : опубл. 19.12.2019 / Н. И. Санжарова, К. В. Петров, А. Н. Ратников [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное науч-

ное учреждение "Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии" (ФГБНУ ВНИИРАЭ).

## БИОАККУМУЛЯЦИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ ЛИСТЬЯМИ ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ, РАСПОЛОЖЕННЫХ ВДОЛЬ ОЖИВЛЕННЫХ АВТОМАГИСТРАЛЕЙ ГОРОДА МОСКВЫ

*К.В. Еременко, В.М. Зубкова*
*Российский государственный социальный университет, г. Москва, Россия*

Транспортные средства, являющиеся подвижным источником токсичных выбросов в приземный слой атмосферного воздуха, представляют особую опасность для здоровья человека и окружающей среды. Выбросы значительно ухудшают состояние древесных растений и приводят к накоплению загрязнителей в органах растений [1,2].

Многолетние исследования выявили значимую роль древесных растений в защите окружающей среды. Растения выполняют роль естественных фильтров, способных накапливать и детоксицировать разные компоненты техногенных выбросов [3].

Целью исследования явилось изучение биоаккумуляции тяжелых металлов листьями древесных растений, расположенных вдоль оживленных автомагистралей общегородского назначения в СВАО и ЮЗАО города Москвы.

Эколого-геохимические исследования проводили в 2021 г. в вегетационный период растений. Объектами исследования явились листья основных доминирующих видов древесных растений (*Betula pendula, Sorbus aucuparia, Acer platanoides,* Aesculus *hippocastanum, Tilia cordata, Fraxinus pensilvanica, Salix alba, Salix fragilis, Ulmus parvifolia*). Определяли содержание наиболее типичных для города Москвы загрязнителей – тяжелых металлов (Zn, Cu, Pb, Ni, Sr, Cr, Mn, Bi, Ba, Fe).

Концентрация ТМ в листьях растений, произрастающих на разных участках автомагистралей СВАО и ЮЗАО, изменялась по Bi от 0,10 до 0,44; Pb – 0,35–0,65; Ni – 0,32–0,68; Cr – 0,38–

0,84, Ba – 3,34–14,10; Cu – 3,0–5,40; Sr – 3,10–37,64; Zn – 6,13–35,10; Mn – 12,10-66,43; Fe – 126,0–330 мг/кг сухого вещества.

Во всех исследуемых образцах как в СВАО, так и в ЮЗАО отмечено превышение фоновых значений по Ni, коэффициент концентрации варьировал в пределах от 1,15 до 4,38. Высокая концентрация Mn обнаружена в листьях *Betula pendula* (2,15–2,86) и *Tilia cordata* (3,51–3,97), Zn – в листьях представителей рода Salix (6,15–6,89); превышение Fe и Cr зафиксировано в *Aesculus hippocastanum*.

Высокие значения суммарного показателя коэффициентов концентрации (СПК) к фону отмечены во всех растениях, произрастающих в ЮЗАО. Однако *Tilia cordata* имеет практически равнозначный показатель в обоих округах. Исследуемые *Salix alba* в СВАО отличились высоким значением СПК (21,17), так как в них отмечено наибольшее накопление Zn, Ni и Bi.

Из полученных результатов можно сделать вывод, что древесные растения избирательны к накоплению тяжелых металлов.

***Литература***

1 Саратникова Ю.В. Роль мониторинга в обеспечении экологической безопасности // Молодой ученый. – 2022. – № 18 (413). – С. 515-517. – URL: https://moluch.ru/archive/413/91170/ (дата обращения: 27.02.2024).

2 Еременко К.В., Зубкова В.М. Эколого-геохимическая оценка состояния древесной растительности автомагистралей ЮЗАО и СВАО города Москвы / Индикация состояния окружающей среды: теория, практика, образование: сборник материалов IX Международной научно-практической конференции, Москва, 07 апреля 2023 года. – Киров: ООО "Издательство "Радуга-ПРЕСС", 2023. – С. 50-56.

3 Еременко К.В., Зубкова В.М., Пугачева Т.Г., Арсланбекова Ф.Ф. Распределение тяжелых металлов (ТМ) в депонирующих средах в зоне влияния автомагистралей СВАО и ЮЗАО города Москвы // Естественные и технические науки. – 2024. – № 1(188). – С. 120-129. – DOI 10.25633/ETN.2024.01.12.

# ОПТИМИЗАЦИЯ МЕТОДИКИ ПЦР В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ НА ТЕСТ-ОБЪЕКТЕ *DAPHNIA MAGNA*

*А.А. Жалнина, Д.В. Ускалова*
*Обнинский институт атомной энергетики – филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», г. Обнинск, Россия*

В настоящее время в разных лабораториях мира проводят генетические исследования по изучению структуры генома и анализу экспрессии генов у беспозвоночных животных из подтипа членистоногие *Daphnia magna*. Эти животные стали широко используемой моделью не только в экотоксикологических исследованиях, но и в радиобиологии и в биомедицине. Уровень экспрессии генов и степень нарушения генетического аппарата клеток анализируют методом ПЦР.

Целью настоящей работы явились подбор и идентификация референсных генов для модельного организма *D. magna* методом ПЦР в реальном времени.

Было сформировано три группы особей половозрелого возраста. Согласно методике, было проведено выделение РНК и количественный анализ [1]. Качественный анализ препарата РНК проведен путем синтеза кДНК [1]. Матрицей служила очищенная РНК с наибольшей исследуемой концентрацией (447,6 нг/мкл).

Анализ экспрессии генов кДНК проведен методом ПЦР в реальном времени по стандартной методике, которая включает в себя этапы денатурации молекул ДНК, отжига праймеров и синтеза ДНК, повторяющегося 20-50 раз. ПЦР проводили в реакционной смеси объемом 25 мкл, в которую входило 5 мкл SYBR, 17 мкл воды MQ, по 1 мкл прямого и обратного праймеров и 1 мкл матрицы кДНК. Реакцию вели в следующих условиях: денатурация при 90 °С в течение 5-10 с, отжиг праймеров при 60 °С и 5-30 с элонгации при температуре 68 °С.

После анализа литературы по исследованию генома *D. magna* [2, 3] в качестве кандидатов на роль референсных из базы данных NCBI были выбраны следующие гены *Actin, Apl3, Apl5, Cat,*

*Ef, Gapd, GS, Per, Rad, Rev, Sod, Tub, Uce*. Особый интерес для экотоксикологических и биомедицинских исследований представляют гены *Cat, Per* и *Sod*, продукты которых служат для защиты организма от окислительного стресса.

На рисунке 1 представлены кривые эффективности ПЦР-амплификации, представляющие собой значения Cq (порогового цикла) при разведении кДНК для анализируемых в работе генов.

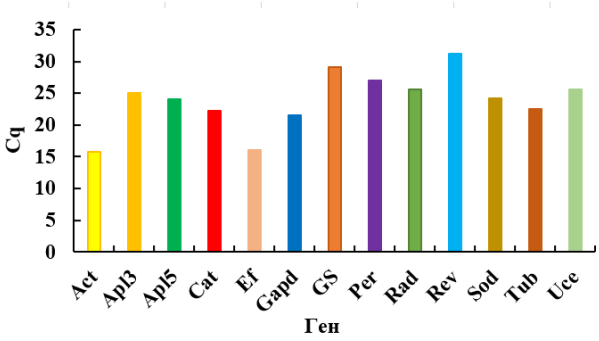



Рис.1. Значения порогового цикла Cq в ПЦР-анализе

Значения Cq показали стабильность и высокую экспрессию выбранных референсных генов, что позволит с высокой надежностью проводить количественный ПЦР-анализ в реальном времени на беспозвоночных животных *D. magna*.

*Работа выполнена в рамках проекта РНФ 23-24-10041.*

***Литература***

1 Инструкция по применению. Реагент для выделения суммарной РНК из биологических образцов. ExtractRNA. – М.: ЗАО Евроген, 2023. – 12 с.

2 Kim J. et al. Molecular cloning of *Daphnia magna* catalase and its biomarker potential against oxidative stresses // Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology. – 2010. – V. 152 – №3 – P. 263-269.

3 Swart E. et al. Species-specific transcriptomic responses in *Daphnia magna* exposed to a bio-plastic production intermediate // Environmental pollution. – 2019. – V. 252 – P. 399-408.

# ОЦЕНКА ВКЛАДА ВНЕКЛЕТОЧНЫХ ЧАСТИЦ В НАКОПЛЕНИЕ РАДИОНУКЛИДОВ ВОДНЫМ МХОМ Р. ЕНИСЕЙ

*Т.А. Зотина[1,2], В.В. Сухоруков[2], М.С. Мельгунов[3], Ю.В. Александрова[1], А.Д. Карпов[4]*
*[1] – Институт биофизики ФИЦ КНЦ СО РАН, г. Красноярск, Россия*
*[2] – Сибирский федеральный университет, г. Красноярск, Россия*
*[3] – Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, г. Новосибирск, Россия*
*[4] – Всероссийский научно-исследовательский институт лесоводства и механизации лесного хозяйства, г. Пушкин, Россия*

Водные мхи широко используются в качестве мониторов техногенного загрязнения водотоков благодаря способности эффективно накапливать ксенобиотики в своей биомассе [1]. Помимо накопления радионуклидов в биомассе, водный мох улавливает частицы взвешенного вещества, переносимые водным потоком, и накапливает их на поверхности листьев в течение своего жизненного цикла. Внеклеточные частицы, ассоциированные с водным мхом, можно рассматривать как самостоятельный монитор техногенного загрязнения. В данной работе был проанализирован минеральный, элементный и радионуклидный состав частиц, ассоциированных с водным мхом *Fontinalis antipyretica*. Пробы водного мха ежегодно отбирали на одном и том же участке среднего течения р. Енисей, загрязненном техногенными радионуклидами с 2019 по 2023 гг. Частицы удаляли с водного мха с помощью промывки проб сырой биомассы водой [2]. Содержание радионуклидов в пробах определяли гамма- и альфа- спектрометрическими методами, элементный и размерный состав частиц – методом сканирующей электронной микроскопии, минеральный состав – с помощью рентгеноструктурного анализа, элементный состав – с помощью рентген-флуоресцентного анализа, содержание органического вещества – по потере веса проб после их озоления при 450 °C

[2]. Вклад внеклеточных частиц в массу проб мха составлял 20-43% от сухой массы проб. В частицах, смытых со мха, содержалось значительная доля радионуклидов: 37-81% $^{137}$Cs, 12-67% $^{60}$Co, 33-77% $^{152}$Eu, 20-66% $^{241}$Am, 3-48% плутония от их содержания в исходной пробе мха. С помощью кластерного анализа выявлено сходство минерального состава внеклеточных частиц мха и донных отложений, а также их отличие по содержанию техногенных радионуклидов. Корреляционный анализ выявил положительную связь между содержанием плутония и органического вещества в изученных пробах, а также между содержанием цезия и породообразующих минералов. Проведенное исследование показало, что взвешенное вещество, захваченное водным мхом из воды, может быть использовано для изучения переноса техногенных радионуклидов в водотоках.

*Работа поддержана грантом Красноярского краевого Фонда поддержки научной и научно-технической деятельности и Российского научного фонда No. 23-27-10049, https://rscf.ru/project/23-27-10049.*

***Литература***

1 Zotina T.A., Dementyev D.V., Alexandrova Yu.V. Long-term trends and speciation of artificial radionuclides in two submerged macrophytes of the Yenisei River: a comparative study of *Potamogeton lucens* and *Fontinalis antipyretica* // Journal of Environmental Radioactivity. – 2021. – V. 227. – P. 106461. https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2020.

2 Zotina T.A., Sukhorukov V.V., Zhyzhaev A.M. et al. Particulate matter from water moss of a large Siberian river: morphometric, mineral, elemental and radionuclide composition // Journal of Environmental Radioactivity. – 2024. – V. 272. – P. 107354. https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2023.107354.

# СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТОВ АНАЛИЗА АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА ПО ТОКСИКОЛОГИЧЕСКОМУ И САНИТАРНО-ХИМИЧЕСКОМУ ПОКАЗАТЕЛЮ

*Е.Г. Кекина, М.В. Егорова, П.А. Щербаков, М.В. Богданов*
*ФГБОУ ДПО РМАНПО Минздрава России, г.Москва, Россия*

Экологический мониторинг атмосферного воздуха представляет собой систематическое измерение количества загрязняющих веществ в атмосфере с целью оценки качества воздуха и воздействия загрязняющих веществ на человека [1], которое можно оценить по степени токсичности воздуха.

Токсичность воздушной среды – проявление ядовитого действия разнообразных химических соединений и их смесей, которые при определении переводят в водорастворимые соединения содержащихся в воздухе в жидкую фазу и оценивают ее токсичность на клеточном тест-объекте (метод *in vitro*).

Целью исследования послужило сопоставление показателя токсичности и химического фактора загрязнения. Основными загрязнителями атмосферного воздуха являются: диоксид азота, оксид углерода, взвешенные вещества, диоксид серы, бенз(а)пирен и др.

В качестве тест-объекта использовали кратковременную суспензионную культуру подвижных клеток млекопитающих – сперма крупного рогатого скота. Если индекс токсичности не укладывается в интервал 80 – 120% ($I_i$ < 80 %, $I_i$ > 120 %), то это свидетельствует о наличии в исследуемом воздухе водорастворимых веществ в токсичных концентрациях [2].

Содержание вредных веществ в пробах атмосферного воздуха определяли с помощью газоанализаторов. Взвешанные вещества отбирали на фильтры АФА-ВП-20, концентрацию определяли гравиметрически. Одновременно были отобраны пробы для токсикологических исследований.

Были получены данные по 10 маршрутным постам. В таблице представлены результаты минимальных и максимальных значений.

Таблица 1

Результаты токсикологического и санитарно-химического анализа воздушной среды (атмосферного воздуха)

| Наименование объекта | ИТ АТ-05 | Диоксид серы | Диоксид азота | Диоксид углерода | Взвешанные в-ва |
|---|---|---|---|---|---|
| Пост №1 | 45,2±4,5 | <0,00025 | 0,18±0,05 | <0,5 | 0,21±0,04 |
| Пост №2 | 86,0±8,6 | <0,00025 | 0,13±0,03 | <0,5 | 0,12±0,02 |

Из табл. 1 видно, что токсичность исследованных образцов атмосферного воздуха хорошо коррелируется с санитарно-химическими показателями. Индекс токсичности (ИТ) не укладывается в указанный интервал на маршрутном посте №1, а также присутствуют диоксида азота и взвешенные вещества. Концентрация диоксида азота составляет 1,8 ПДК, а для взвешенных веществ 1,4 ПДК. На маршрутном посте №2 превышений не зарегистрировано.

Таким образом, метод биотестирования позволяет быстро обнаружить наличие загрязнения воздуха в пределах ПДК без использования дорогостоящих методов анализа. Полученные результаты биотестирования проб атмосферного воздуха могут служить информацией для принятия решения об объеме дальнейших измерений.

***Литература***

1 СанПиН 2.1.3684-21 «Санитарно-эпидемиологические требования к содержанию территорий городских и сельских поселений к водным объектам, питьевой воде и питьевому водоснабжению, атмосферному воздуху, почвам, жилым и нежилым помещениям, эксплуатации производственных, общественных помещений организации и проведению санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий».

2 МР 29ФЦ/2688-2003 Экспресс-метод оценки токсичности проб воздуха по водорастворимым компонентам с использованием в качестве тест-объекта спермы крупного рогатого скота. Методические рекомендации.

# ФИТОТОКСИЧНОСТЬ АРИДНЫХ ПОЧВ ЮГА РОССИИ ПРИ ЗАГРЯЗНЕНИИ НЕФТЬЮ И ДИЗЕЛЬНЫМ ТОПЛИВОМ

*Т.В. Минникова*
*Южный федеральный университет, Академия биологии и биотехнологии им. Д.И. Ивановского, г. Ростов-на-Дону, Россия*

При загрязнении почв нефтью и нефтепродуктами происходит нарушение физических и агрохимических свойств почвы. Вследствие этого растения являются чувствительными индикаторами состояния почв, загрязненных тяжелыми металлами и нефтью [1-2].

Цель – оценить фитотоксичность аридных почв Юга России при загрязнении нефтью и дизельным топливом.

Объектами исследования выбраны аридные почвы Юга Европейской части России: солончак типичный (сухая степь с галофитной растительностью, п. Утта, Яшкульский район, Республика Калмыкия), бурая полупустынная почва (полупустыня, п. Хулхута, Яшкульский район, Республика Калмыкия) и каштановая почва (пашня, п. Привольный, Ремонтненский район, Ростовская область). В почву вносили нефть и дизельное топливо объемной концентрации 1, 5 и 10% от массы почвы. Фитотоксичность оценивали по всхожести, длине побегов и корней редиса (*Raphanus sativus* L.), выращенного на загрязненных почвах.

Наибольшее токсическое воздействие нефть оказала на всхожесть редиса в солончаке (13-65%), а в каштановой и бурой полупустынной значительно меньшее воздействие (19-29%). Длина побегов редиса была максимально снижена при загрязнении нефтью каштановой почвы на 44-49%, в солончаке при дозе 10% нефти на 42%; при остальных дозах нефти в солончаке и бурой полупустынной почвах этот показатель был выше (18-23%). Длина корней редиса при загрязнении нефтью была больше всего снижена в каштановой почве при любой дозе на 51–59%, а также в солончаке при 5 и 10% нефти на 23 и 55% от контроля. В бурой полупустынной почве длина корней умень-

шилась только при максимальной дозе нефти 10% на 13% от контроля. При загрязнении солончака, каштановой и бурой полупустынной почвы дизельным топливом установлено значительное снижение всхожести редиса на 17-83%, 33-86% и 43-75% соответственно. Длина побегов была максимально ингибирована при загрязнении дизельным топливом солончака (22-89%) и каштановой почвы (40-81%), а при загрязнении бурой полупустынной – на 37-64%. Длина корней редиса при загрязнении солончака снижалась на 32-97%, каштановой почвы – 33-70%, бурой полупустынной почвы - 7-48%.

Таким образом, установлено, что максимальное снижение всхожести, длины побегов и корней редиса на солончаке, каштановой и бурой полупустынной почвах вызывает загрязнение дизельным топливом. Нефть влияет менее токсично на фитотоксические показатели почв. Наибольшей чувствительностью среди фитотоксических показателей обладает всхожесть и длина побегов.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке проекта Программы стратегического академического лидерства Южного федерального университета («Приоритет 2030») (№ СП-12-23-01).*

***Литература***

1 Минникова Т.В., Русева А.С., Ревина С.Ю. и др. Оценка эффективности биоремедиации нефтезагрязненной бурой полупустынной почвы Республики Калмыкия (модельный эксперимент) // Аридные экосистемы. – 2023. – Т. 29. – № 4 (97). – С. 165-175. https://doi.org/ 10.24412/1993-3916-2023-4-166-176.

2 Kolesnikov S., Minnikova T., Kazeev K. et al. Assessment of the ecotoxicity of pollution by potentially toxic elements by biological indicators of haplic chernozem of southern Russia (Rostov region) // Water, Air, & Soil Pollution – 2022. – V. 233. – P. 18, https://doi.org/10.1007/s11270-021-05496-3

# КОМПЛЕКСНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ КАЧЕСТВА СНЕГА В ГОРОДЕ КИРОВЕ

*Т.А. Мусихина, Ю.Н. Ушакова, Е.А. Земцова, А.А. Бабина*
*ФГБОУ ВО «Вятский государственный университет»,*
*г. Киров, Россия*

Правила благоустройства северных городов диктуют необходимость регулярной расчистки проезжей части от снега в зимний и начальный весенний периоды. Особенно это актуально для городов, расположенных в климате с устойчивым снежным покровом, который сохраняется в течение всей зимы или с небольшими перерывами. Размещенный при расчистке проезжей части на обочинах дорог снег требует периодической утилизации, в том числе, с помощью использования снегоплавильных станций со сбросом талых вод в системы городской канализации [1].

В работе выполнена комплексная оценка качества подлежащего утилизации снега в пробах, отобранных с обочин различных по интенсивности транспортных потоков дорог города Кирова в конце зимнего сезона и на ненарушенном пространстве на всю глубину снегового покрова, который в 2024 г. составил 55 см. В качестве критерия оценки снега принято соответствие качества снеговой воды нормам приема стоков в кировскую городскую канализацию, указанным в постановлении администрации г. Кирова от 17.12.2020 № 3026-п «О порядке приема сточных вод в систему муниципальной канализации города Кирова».

С использованием методов капиллярного электрофореза и бихроматоного окисления для определения ХПК установлено содержание приоритетных показателей относительно характерного для автодорожного загрязнения. Однако только химические методы анализа зачастую не могут установить реальную токсичность талых вод, поэтому дополнительно проведено исследование с определением острой токсичности путем биотестирования талой воды с использованием тест-организмов – ракообразных *Daphnia magna* Straus [2].

В табл. 1 представлены фактические данные и нормативные требования по химическим показателям снеговой воды, а также результаты биотестирования проб, отобранных вблизи основной автомагистрали (№1), проезда в глубине микрорайона (№2) и с ненарушенного участка в 30 метрах от автодороги (№3).

Таблица 1

Оценка качества снеговой воды

| Показатели качества | Проба снега | | | Норма для коллектора |
|---|---|---|---|---|
| | №1 | №2 | №3 | |
| pH | 8,3 | 7,3 | 7,0 | 6,0-9,0 |
| % выживаемости *Daphnia magna* Straus | 0 | 90 | 90 | Не нормируется |
| ХПК, мг/дм$^3$ | 1920 | 262 | 30 | 107 |
| Хлорид-анион, мг/дм$^3$ | 4440 | 14,9 | 19,4 | 113 |
| Кальций-ион, мг/дм$^3$ | 2470 | 5,07 | 2,76 | Не нормируется |

Результаты исследования показывают, что качество талой снежной воды при острой токсичности в пробе №1 по приведенным приоритетным химическим показателям во многом не соответствует нормам для сброса в городскую канализацию; в пробе №2 при положительных результатах биотестирования наблюдается превышение нормативов по ХПК, что говорит о необходимости предварительной очистки снеговых вод, собранных с автодорог, при использовании снегоплавильных установок со сбросом образующего стока в городские канализационные сети. Снеговые воды, образующиеся при таянии снега с ненарушенных городских участков, в дополнительной очистке не нуждаются.

***Литература***

1 Мусихина Т.А., Самылов Н.А., Дождиков И.В. и др. Химические показатели качества почв и снега в микрорайоне "КВАРТАЛ 119" г. Кирова / Материалы конференции «Экология родного края: проблемы и пути их решения». Киров, 2019. С. 65-67.

2 ПНДФ Т 14.1:2:4:12-06 Токсикологические методы анализа. Методика определения острой токсичности питьевых, прес-

ных природных и сточных вод, водных вытяжек из почв, осадков сточных вод и отходов по смертности *Daphnia magna*.

## ОЦЕНКА ЭКОТОКСИЧНОСТИ ЗАГРЯЗНЕННОЙ ДИОКСИНАМИ СРЕДЫ: УЧЕТ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ/ РЕЗИСТЕНТНОСТИ РЫЖИХ ПОЛЕВОК К ДЕЙСТВИЮ МАЛЫХ ДОЗ

*Т.А. Мышлявкина[1,2], А.Р. Лавренов[1,2], Н.В. Умнова[2], А.И. Ким[1,3], В.С. Румак[1,2]*

*[1] - Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия*

*[2] - Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова Российской академии наук, г. Москва, Россия*

*[3] - Биологический факультет, Университет МГУ–ППИ в Шэньчжэне, г. Шэньчжэнь, Китай*

Высокотоксичные для человека диоксины (Д) – это группа стойких гормоноподобных антропогенных химических веществ. Одними из мощных их источников являются полигоны и свалки ТБО (П). Перенос Д с потоками воздуха и воды может приводить к загрязнению окружающей среды на больших территориях далеко за пределами санитарных зон П. Проявлению присущей Д даже в малых дозах токсичности способствуют процессы биоаккумуляции и сверхкумуляции, что предполагает учет токсических эффектов методами биоиндикации.

Ключевой принцип изучения и оценки экологических нагрузок загрязнителями предусматривает изучение эффектов их прямого действия на обитателей во взаимосвязи с токсическими эффектами. Разработка этого принципа в отношении малых доз Д позволила создать необходимые для этого новые способы путем регистрации эффектов прямого действия на животных из природной популяции рыжей полевки во взаимосвязи с определяемыми этим действием ответами со стороны маркерных генов (МГ) системы диоксинового рецептора (AhR), процессов биотрансформации, регуляции окислительного стресса и эпигенома [1]. Однако, измерение Д в пробах тканей, обычно содержавших

не менее 3 особей, не позволяло учитывать возможности влияния индивидуальных различий в чувствительности / резистентности ответов на действие Д.

Решению этой задачи способствовал эксперимент с персонализированным измерением концентраций Д у рыжих полевок (n=5), отловленных весной 2023 года в окрестностях П «Лесная» (г. Серпухов). Профиль содержания конгенеров в пяти индивидуальных пробах был схож с профилем для объединенных проб прошлого года (весна 2022 г.) того же П несмотря на различия значений показателя интегральной токсичности конгенеров относительно ТХДД (WHO-$TEQ_{05}$). Для индивидуальных проб минимальное и максимальное значения WHO-$TEQ_{05}$ составляли 0,20-0,43 пг/г с.в. против 0,56-1,41 пг/г с.в. у объединенных [2]. Показатели экспрессии МГ, кодирующих AhR и цитохром P450 1A2, у полёвок, для которых концентрации Д измеряли персонализированно, значимо отличались от контрольных. На данном этапе работ явной корреляции между концентрациями Д и индивидуальными показателями экспрессии МГ не обнаружено. Не исключено, что с увеличением выборки данная взаимосвязь может быть выявлена. Мы считаем, что совокупность полученных и проанализированных нами данных позволяет учитывать индивидуальные различия в чувствительности/резистентности в ответах на действия этих веществ среди экспонированных особей.

***Литература***

1 Лавренов А.Р., Мышлявкина Т.А., Умнова Н.В. и др. Особенности экспрессии маркерных генов рыжей полевки *Clethrionomys glareolus*, отражающие эффекты экотоксичности загрязненной диоксинами среды // Вестник Московского университета. Серия 16. Биология. – 2023. – Т. 78. – №2. – С. 86-94.

2 Румак В.С., Мышлявкина Т.А., Лавренов А.Р. и др. Начальная оценка диоксинов, загрязняющих среду за пределами санитарной зоны полигона отходов производства и потребления «Лесная» (г. Серпухов, Московская область) // Медицина труда и промышленная экология. – 2023. – Т. 63. – № 9. – С. 617-626.

# НОВЫЕ ДАННЫЕ О МХАХ РОДА SCHISTIDIUM ПО РЕЗУЛЬТАТАМ МОРФОЛОГИЧЕСКОГО И МОЛЕКУЛЯРНО-ФИЛОГЕНЕТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

*Е.М. Рыжова[1], М.С. Игнатов[2], Е.А. Игнатова[3]*

*[1] - Обнинский институт атомной энергетики – филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», г. Обнинск, Россия*
*[2] - Главный ботанический сад имени Н. В. Цицина РАН, г. Москва, Россия*
*[3] - Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, г. Москва, Россия*

Род *Schistidium* является одним из наиболее сложных таксонов среди листостебельных мхов, что объясняется сравнительно небольшими различиями между видами. Концепции видов *Schistidium* были пересмотрены Х.Х. Бломом (1996, 1998), который изучал в основном североевропейские коллекции. В ходе последующих исследований флоры мхов России были накоплены новые данные о видах *Schistidium* [1]. Комбинированный морфологический и молекулярно-филогенетический анализ позволяет определить принадлежность образцов к определенному виду.

Целью исследования было изучение и уточнение принадлежности образцов *Schistidium*, представляющие сложности для отнесения их к какому-либо виду. Материал был собран в Республике Алтай, Кемеровской области и на юго-востоке Забайкальского края. Образцы представляют собой эпилитные формы, образующие густые, рыхлые или плотные буро-зеленые до черноватых подушечковидные дерновинки. Всего для анализа было взято 33 образца 26 видов, из которых для 9 образцов последовательности были получены de novo, остальные взяты из ГенБанка. ДНК выделяли с использованием набора Nucleospin Plant Extraction Kit (“MachereyNagel”, Германия), следуя протоколу производителя. Детекция продукта производилась с помощью электрофореза.

Молекулярный анализ. Один образец *S. sordidum* I. Hagen использовался в качестве внешней группы, как было сделано в предыдущих исследованиях рода [2]. Выравнивание последовательностей производились автоматически с помощью MAFFT v. 7.487 (Katoh & Standley, 2013) и вручную с помощью BioEdit. Байесовский анализ был выполнен в MrBayes 3.2.6 (Ronquist et al., 2012) с четырьмя параллельными прогонами, каждый из которых состоит из шести цепей Маркова с 10 000 000 поколений, температура цепи 0,02, модель GTR, достижение всех PSRF, равных 1.000, и ESS>1000.

Морфологический анализ. Наблюдения в световом микроскопе проводились под стереомикроскопом (Olympus SZX7), оснащенном цифровой камерой Infinity 8-8.

Данные, полученные в исследовании, показали, что образцы из азиатской части России, ранее определенные как *Schistidium marginale,* относятся к неизвестному ранее виду, описанному как новый для науки *S. transbaicalense,* Он отличается от близких видов по строению гиалинового волоска и поперечному срезу жилки. Самостоятельность вида подтверждается молекулярным анализом, т.к. в филогенетическом дереве, построенном по последовательностям ядерного ITS1-2, *S. transbaicalense* оказывается далеко от терминальной клады *Confertum,* в которую попадает *S. marginale*, вид, к которому предположительно относили образцы, выделенные здесь в *S.transbaicalense*. Последний вид в дереве, укорененном на *S. sordidum*, находится в базальной граде, рядом с *S. pulchrum* и *S.scabripilum,* далеко от клады *Confertum*.

Благодаря данным, полученным в ходе работы, было подтверждено новое место нахождения *Schistidium sibiricum* – Красноярский край, Таймырский муниципальный р-н, окр. с. Хатанга, склон плато к долине р. Котуй, 71.0175°N, 102.4144°E, 698 м над ур. м., скалы на крутом склоне берега в лесном поясе, на песчаниковой глыбе, 16 VIII 2011, В. Э. Федосов (V. E. Fedosov) [3].

***Литература***

1 Blom H.H., Ignatova E.A., Afonina O.M. New records of *Schistidium (Grimmiaceae, Musci*) in Russia // Arctoa. – 2006. – Т. 15. – С. 187-194.

2 Игнатова Е.А., Рыжова Е.М., Кузнецова О.И., Игнатов М.С. Встречается ли *Schistidium marginale* в азиатской части России? // Arctoa. – 2023. – Т. 32. С. 199–206.

3 Рыжова Е. М., Кузнецова О. И., Игнатова Е. А. Новая находка мха для Красноярского края (Восточная Сибирь, Россия) // Новости систематики низших растений. Новые находки водорослей, грибов, лишайников и мохообразных. – 2023. – Т. 57(2). – R43–R44.

## К ПРОБЛЕМЕ БИОЛОГИЧЕСКОГО ОБРАСТАНИЯ В СИСТЕМАХ ТЕХНИЧЕСКОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ АЭС

*С.Ю. Суворова, Л.Н. Комарова, М.М. Рассказова*
*Обнинский институт атомной энергетики – филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», г. Обнинск, Россия*

Биологическое обрастание в системах технического и оборотного водоснабжения АЭС представлено биологическими сообществами микроорганизмов, водорослей, моллюсков, мшанок и других организмов, оседающих на теплообменных поверхностях оборудования, в трубопроводах и конструкциях охладителей оборотной воды. При биологическом обрастании на теплообменных поверхностях снижается общая теплоотдача и напор воды. Так, вследствие образования на трубках конденсаторов электростанции слоя обрастания всего 0,1 мм теплоотдача снижается с 3700 до 900 ккал/(м$^2$·ч·°С), т.е. более чем в 4 раза [1]. Сложность борьбы с организмами-биообрастателями заключается в том, что их заселению подвергаются практически все субстраты, находящиеся в воде или непосредственном контакте с ней, вне зависимости от качества субстрата.

С целью предупреждения и ликвидации биологических помех на оборудовании систем технического и циркуляционного водоснабжения атомных станций проводится ряд мероприятий, но в связи с высокой адаптивной способность видов-вселенцев применяемые методы нуждаются в модернизации. В связи с этим необходимо исследование условий формирования биообрастания и особенностей организмов-источников биопомех.

Совместными усилиями специалистов в области биологии и теплофизики ИАТЭ НИЯУ МИФИ разработан проект установки с моделированием процессов теплового сброса воды в модель бассейна-охладителя, который будет реализован на базе Технической академии Росатома. Первой задачей моделирования является установка времени появления биопленки, являющейся основой любого процесса биообрастания, и её видового состава. Эти данные являются основой для разработки мер борьбы с образующимися биопомехами, в частности, тестирования различных покрытий для устранения возможности появления биопленки в системе технического водоснабжения АЭС.

Вторая задача заключается в моделировании естественных условий водоема-охладителя для понимания возможных путей ограничения питательной базы дрейссен, являющихся источником биопомех в нескольких водоемах-охладителях АЭС. *Dreissena polymorpha* является полезным видом для поддержания чистоты воды, поэтому целью устранения биопомех не является её истребление. Важным аспектом в борьбе с обрастанием дрейссеной является нахождение экологического равновесия, при котором популяцию моллюсков можно будет контролировать путем ограничения кормовой базы и зарыбления водоема видами, питающимися дрейссенами. При этом следует принимать во внимание, что при снижении популяции дрейссен возможно появление других организмов-обрастателей, таких как сине-зеленые водоросли или мшанки [2].

В научно-техническом плане защита от обрастания – это комплексная проблема, для решения которой необходимы исследования по изучению видового разнообразия микроорганизмов, растений и животных, поступающих из водоема и развивающихся в системе водоснабжения. Таким образом, существует

обоснование необходимости создания модельной установки для изучения формирования биологических пленок в системе технического водоснабжения АЭС.

***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 Горская О.И. Совершенствование методов альголизации и биомелиорации водоема-охладителя Ростовской АЭС и приплотинной части Цимлянского водохранилища // Глобальная ядерная безопасность. – 2023. – № 2. – С. 14-23.

## МИКРООРГАНИЗМЫ АГРОНОМИЧЕСКИ ЦЕННЫХ ГРУПП В ПОЧВАХ ПОЛЕССКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО РАДИАЦИОННО-ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ЗАПОВЕДНИКА

*Е.А. Танкевич*
*Государственное научное учреждение «Институт радиобиологии Национальной академии наук Беларуси», г. Гомель, Республика Беларусь*

Одним из важнейших компонентов биогеоценозов является почвенная микрофлора, так как она определяет степень трансформации органических веществ в почве и, таким образом, влияет на скорость круговорота веществ. Интенсивность почвенных процессов может быть охарактеризована анализом состояния в почве отдельных групп микроорганизмов и их физиологических группировок [1]. Целью настоящего исследования является изучение численности микроорганизмов агрономически ценных групп в почвах зоны отчуждения Чернобыльской АЭС. Отбор образцов торфянисто-глеевых и дерново-подзолистых супесчаных почв проводили на пробных площадках в Полесском государственном радиационно-экологическом заповеднике (ПГРЭЗ)

(вблизи б.н.п. Масаны Гомельской области, Беларусь), в период с 2016 по 2020 гг., отличающихся по плотности загрязнения.

Установлено, что наиболее характерными физиологическими группами микроорганизмов в торфянисто-глеевых почвах ПГРЭЗ являются представители зимогенной и олиготрофной экологических ниш.

Как правило, в торфянисто-глеевых почвах преобладают аммонифицирующие микроорганизмы, численность которых варьирует от 6,0 до $30,6\times10^6$ КОЕ/г абсолютно сухой почвы в отобранных образцах. В торфянисто-глеевой почве из березовой экосистемы чаще преобладают олигокарбофильные микроорганизмы, численность которых достигает $35,5\times10^6$ КОЕ/г абсолютно сухой почвы. В торфянисто-глеевых почвах поддерживается численность амилолитических и олигонитрофильных микроорганизмов на уровне 0,8-8,8 и 1,5-$14,4\times10^6$ КОЕ/г абсолютно сухой почвы. Численность автохтонных олиготрофов в торфянисто-глеевых почвах составляет 1,0-$10,4\times10^6$ КОЕ/г абсолютно сухой почвы.

В дерново-подзолистых супесчаных почвах Полесского государственного радиационно-экологического заповедника преобладают представители зимогенной экологической ниши. Среди них аммонифицирующие и амилолитические микроорганизмы, численность которых в отобранных образцах почвы составила 1,3-39,4×106 КОЕ/г абсолютно сухой почвы и 0,5-9,8×106 КОЕ/г абсолютно сухой почвы соответственно.

В отдельные годы наблюдается высокая численность группы олигокарбофильных микроорганизмов (до 26,2×106 КОЕ/г абсолютно сухой почвы) в образцах дерново-подзолистой почвы с территории бывших сельскохозяйственных угодий. При этом наблюдается тренд к увеличению с годами общей численности культивируемых микроорганизмов в почве на этой территории, происходит это преимущественно за счет аммонифицирующих и целлюлозоразрушающих аэробных микроорганизмов, а также представителей олиготрофной экологической ниши.

В целом, состав физиологических групп почвенных микроорганизмов в исследованных образцах торфянисто-глеевых и дерново-подзолистых супесчаных почвах из белорусского сектора

зоны отчуждения Чернобыльской АЭС является характерным для данных типов почв.

Это свидетельствует об отсутствии значимого влияния радиационного фактора на биологическое разнообразие микроорганизмов почвы на этапе отдаленных радиоэкологических последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС. В то же время, земли, выведенные из сельскохозяйственного использования, претерпевают трансформацию всех компонентов, расположенных на них экосистем, включая почвенный микробиом.

***Литература***

1 Жизнь микробов в экстремальных условиях / Под редакцией Д. Кашнера. – М.: Изд-во «Мир», 1981. – 521 с.

## ОЦЕНКА УРОВНЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОЗДУХА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНДЕКСОВ ЗАГРЯЗНЕНИЯ (Г. БЕРЕЗОВСКИЙ)

*М.А. Татаринцева, Н.С. Рогова, Н.К. Рыжакова*
*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*

Качество атмосферного воздуха влияет на все компоненты экосистемы и напрямую воздействует на здоровье человека. Легкие поглощают присутствующие в составе взвешенных частиц металлы гораздо эффективнее, чем желудочно-кишечный тракт, что приводит к развитию опасных заболеваний [1].

Целью данного исследования является изучение загрязнения металлами атмосферного воздуха шахтерского города Березовского (Кемеровская обл.). Исследование проведено с помощью мха-биоиндикатора *Pylaisia polyantha* [2].

В июне 2022 г. образцы мха были размещены в 33 точках, расположенных на прилегающих к предприятиям участках города Березовского. Спустя 4 месяца экспозиции образцы были собраны и подготовлены к нейтронно-активационному анализу и атомно-эмиссионной спектрометрии [2].

В данном исследовании были рассчитаны индексы загрязнения атмосферы металлами $C_f$ (табл. 1), содержание которых определено по результатам анализов. В качестве ПДК использованы концентрации металла в фоновых образцах.

Таблица 1

Индекс $C_f$,, рассчитанный для элементов в образцах мха

| Элемент | $C_f$ | Элемент | $C_f$ | Элемент | $C_f$ | Элемент | $C_f$ | Элемент | $C_f$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Al | 1,3 | Co | 2,4 | La | 1,9 | Pb | 1,4 | Ta | 1,7 |
| As | 2,7 | Cr | 1,7 | Lu | 5,2 | Rb | 2,3 | Tb | 2,2 |
| Ba | 2,2 | Cs | 2,2 | Mn | 1,5 | Sb | 6,2 | Th | 2,0 |
| Br | 1,5 | Cu | 1,6 | Mo | 11,3 | Sc | 2,0 | Ti | 1,2 |
| Ca | 1,4 | Eu | 3,4 | Na | 4,2 | Se | 3,4 | U | 9,5 |
| Cd | 3,7 | Fe | 1,8 | Nd | 2,5 | Sm | 2,1 | Yb | 4,4 |
| Ce | 1,9 | Hf | 2,5 | Ni | 1,1 | Sr | 2,5 | Zn | 2,5 |

Степень загрязнения можно разделить на следующие категории: $C_f < 1$ – загрязнение отсутствует; 1–2 — подозрение на загрязнение; 2–3,5 — незначительное загрязнение; 3,5–8 — умеренная; 8–27 — тяжелая; и >27 — крайние [3]. Отмечена тяжелая степень загрязнения молибденом и ураном.

Индекс потенциального экологического риска *PER* рассчитан для Cr, Ni, Cu, As, Cd, Zn и Pb (табл. 2), для которых есть данные по коэффициенту токсической реакции. Рассчитаны экологический риск (*RI*) и индекс нагрузки загрязнения (*PLI*).

Таблица 2

Индексы PER для Cr, Ni, Cu, As, Cd и индексы PLI, RI

| $PER_{Cr}$ | $PER_{Ni}$ | $PER_{Cu}$ | $PER_{As}$ | $PER_{Cd}$ | $PER_{Zn}$ | $PER_{Pb}$ | *PI* | *PLI* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 3.4 | 6.5 | 7.9 | 27 | 113 | 2.5 | 7.2 | 169 | 2.4 |

Индекс потенциального экологического риска *PER* для рассмотренных элементов – низкий. Экологический риск *RI* и индекс нагрузки *PLI* соответствует умеренному загрязнению.

Результаты указывают на необходимость проведения санитарно-профилактических мероприятий по снижению выбросов

предприятий угольной промышленности, в том числе улучшению технологий добычи и обогащения угля.

*Исследование выполнено за счёт гранта Российского научного фонда (проект 23-27-00186).*

***Литература***

1 Hofmann W. Modelling inhaled particle deposition in the human lung – A review // Journal of Aerosol Science. – 2011. – V. 42. – № 10. – P. 693-724.

2 Borisenko A.L., Ryzhakova N.K., Rogova N.S. Mosses as indicators of urban environmental pollution: Examples of pylaisia polyantha (HEDW.) B.S.G. from West Siberia Mosses: Ecology, Life Cycle and Significance. – 2018. – pp. 27–57.

3 Zinicovscaia I. Accumulation of potentially toxic elements in mosses collected in the Republic of Moldova // Plants. – 2021. – V. 10. – №.3. – P. 471.

## СЕКЦИЯ 5. ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ И ФАРМАЦЕВТИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

# ГИГИЕНИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПРИМЕНЕНИЯ ПЕСТИЦИДОВ ПРИ ВЫСЕВЕ ПРОТРАВЛЕННОГО ЗЕРНА И ПРИ УБОРКЕ УРОЖАЯ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ

*В.И. Антипова*
*ФБУН «Федеральный научный центр гигиены им. Ф.Ф. Эрисмана» Роспотребнадзора, г. Мытищи, Россия*

Условия труда в большинстве профессий сельскохозяйственного производства можно отнести к категории вредных с высоким риском развития заболеваний, в том числе профессиональных.

Одним из факторов, представляющих реальную опасность для здоровья рабочих, является контакт с пестицидами, которые могут воздействовать на работающего человека при непосредственном контакте с ними, например, при протравливании зерна перед посадкой, так и опосредованно при контакте с растительной пылью протравленного зерна, в состав которой входят пестициды, например при высеве.

Использование каждой технологии применения пестицидов сопряжено с определенным риском для здоровья работающих, поэтому все работники, имеющие контакт с пестицидами в процессе их применения, выделяются в специальную группу. Рабочие этой группы должны ежегодно проходить профилактический осмотр для выявления возможных нарушений состояния здоровья, связанных с воздействием пестицидов. Рабочие, занятые предпосевной обработкой зерна пестицидами (инсектицидами, фунгицидами), опрыскиванием культур перед уборкой пестицидами-десикантами (гербицидами), входят в эту группу.

Но при работе на сеялках при высеве протравленного зерна, уборочных комбайнах при уборке зерновых культур после десикации рабочие формально не имеют контакта с пестицидами,

поэтому, при прохождении периодических медосмотров воздействие химического фактора на них не учитывается.

При проведении исследований по изучению условий труда работающих при высеве протравленного зерна и уборке урожая после десикации был проведен отбор проб воздуха рабочей зоны и смывов с кожных покровов работающих. Пробы воздуха рабочей зоны отбирались в зоне дыхания работающих с использованием аспирационных устройств марки ПУ-4Э на фильтры, после работы проведены смывы со стандартных участков кожи сеяльщика, тракториста, комбайнера (лицо, шея, руки, грудь, голень). В воздухе зоны дыхания работающего попадает значительное количество действующих веществ пестицидов во время загрузки сеялки протравленными семенами, в меньшей степени при уборке урожая.

При оценке риска воздействия пестицидов на работающих в соответствии с МУ 1.2.3017-12 установлено, что риск для рабочих при выполнении высева зерна, протравленного препаратами на основе имидаклоприда, определяется на уровне КБсумм=0,062, что существенно выше риска для работающих при непосредственном контакте с теми же препаратами при протравливании зерна: КБсумм=0.011.

Это необходимо учитывать для разработки профилактических рекомендаций по минимизации риска неблагоприятного воздействия пестицидов при всех работах, связанных с обработанным пестицидами зерном, как при его высадке, так и при уборке урожая.

Например, при сильном ветре в процессе высева или уборки урожая необходимо снизить скорость движения сельскохозяйственных машин, дабы избежать выброса в окружающую среду частиц пыли, содержащей пестициды.

Важными условиями для снижения и минимизации риска воздействия пестицидов на работающих является: замена устаревшего оборудования, совершенствование технологического процесса, не только протравливания зерна, но и загрузки сеялки, обязательное использования средств индивидуальной защиты органов дыхания и кожи.

Строгое соблюдение всех технологических регламентов и гигиенических требований, изложенных в санитарных правилах СанПиН 1.2.3685-21 и СанПиН 1.2.3684-21 при работе с пестицидами гарантирует минимальный риск их воздействия на работающих.

## НОВЫЙ ФУНГИЦИД КЛАССА ИЗОКСАЗОЛИНОВ: ЗНАЧИМОСТЬ МЕТАБОЛИЗМА В АНАЛИТИЧЕСКОМ КОНТРОЛЕ

*В.В. Белицкая*
*ФБУН «Федеральный научный центр гигиены им. Ф.Ф. Эрисмана» Роспотребнадзора, г. Мытищи, Россия*

Технологический прогресс и инновации агрохимической отрасли являются важнейшим фактором эффективной защиты сельскохозяйственных культур в рамках устойчивого развития мирового сельского хозяйства.

Синтезируются новые и более сложные вещества с объемными формулами, содержащими включения различных радикалов. Такие добавки в структуры позволяют получить вещества с «полезными» свойствами, тем самым улучшаются показатели защиты растений, но с другой стороны увеличивается количество продуктов разложения и, соответственно, усложняется аналитический контроль остаточных количеств.

Одним из таких веществ является флуоксапипролин ($C_{25}H_{24}ClF_4N_5O_5S_2$) – новый фунгицид из химического класса изоксазолинов. Его действие направлено на связывающий белок в клеточной мембране грибов-оомицетов, подавляет рост и транспортировку стероловых белков и липидов, тем самым предотвращая образование сложных клеток патогена. Активен против широкого спектра возбудителей болезней растений, в том числе, имеющих экономическое значение, например, таких как фитофтороз картофеля или ложная мучнистая роса винограда.

Результатом изучения поведения флуоксапипролина в окружающей среде определено, что деградация в почве проходит с

образованием 7 метаболитов, которые признаны не имеющими гигиенического значения. В воде образуется 5 метаболитов, основным из которых является 3,5-бис(дифторметил)-1Н-пиразол (BCS-BP32808, $C_5H_4F_4N_2$). В воздухе – из-за слабой летучести флуоксапипролина (давление паров $4{,}5\times10^{-5}$ Па при 25 °С) – не ожидается его выделения в атмосферу. Вещество и метаболиты слабо мигрируют в почве, задерживаясь в верхнем 10-сантиметровом слое, тем самым, не создавая опасности попадания в грунтовые воды. Вещество с точки зрения периода распада характеризуется как умеренно стойкое (среднее время распада около 40 дней), поэтому необходимо внимательное изучение динамики остаточных количеств пестицида в растительной продукции по мере роста растения, а также в урожае.

Задачей исследования являлось обоснование условий определения остаточных количеств флуоксапипролина с учетом основного метаболита 3,5-бис(дифторметил)-1Н-пиразол (BCS-BP32808) в воде и флуоксапипролина в почве с применением высокоэффективной жидкостной хроматографии в сочетании с масс-спектрометрическим детектированием (ВЭЖХ-МС/МС).

В анализе для подготовки соответствующих модельных образцов воды использована вода для лабораторного анализа и стандартные образцы почв трех различных типов: чернозем выщелоченный тяжелосуглинистый (ОСО № 20601), солонец бурый тяжелосуглинистый (ОСО № 30901) и дерново-подзолистая среднесуглинистая (ГСО 10413-2014 (САДПП-10).

Извлечение веществ из воды заключалось в концентрировании на патроне для твердофазной экстракции на основе сополимера дивинилбензола и N-винилпирролидона. Экстракция флуоксапипролина из почвы была проведена смесью ацетонитрила и воды. Столь простые способы пробоподготовки позволяют снизить затраты на реактивы и время анализа.

В ходе исследования установлено, что степень извлечения разнится для типов почв и убывает в ряду солонец> дерново-подзолистая> чернозем, это связано с разницей в составах почв их органической и минеральной составляющих, наличием микроорганизмов.

Нижний предел количественного определения флуоксапипролина и его метаболита BCS-BP32808 в воде – 0,0001 мг/дм$^3$, флуоксапипролина в почве – 0,005 мг/кг. Средние значения полноты извлечения, установленные по внесениям флуоксапиролина и BCS-BP32808 в воду и флуоксапиролина в почву в четырех точках в диапазоне определяемых концентраций, составили от 85 до 100%, среднее квадратичное отклонение повторяемости варьирует от 5,7 до 8,1%.

## ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ОЦЕНИВАНИЕ ОЗЕРА МАСАЗЫР

*С.Р Гаджиева[1], И.И. Мустафаев[2], Т.И. Алиева[1]*
*[1] - Бакинский Государственный Университет, г. Баку, Азербайджан*
*[2] - Институт Раиационных проблем НАНА, г. Баку, Азербайджан*

Масазыргёль – озеро в Апшеронском районе, вблизи посёлка Масазыр, площадь – 10 км². Вода озера солёная, с высокой концентрацией хлорида и сульфата, что придаёт ей красный окрас. В связи с высоким уровнем солёности, практически отсутствуют флора и фауна. Озеро является крупным источником пищевой соли, запасы которой составляют примерно 1735 млн. тонн; добыча – около 90 тыс. тонн в год. На берегу озера действует завод по производству соли. Наименее загрязненным озером на территории Абшерона специалисты называют только озеро Масазыр, своего рода азербайджанское Мертвое море: концентрация соли в нем такая, что ни одна живность в нем не водится. А если смотреть на озеро сверху, то оно даже будет точно такого же цвета, как Мертвое море – слегка коричневатого. В 20-х годах XX столетия из озера Масазыр ежегодно собирали до 100 тонн соли. В 1934 г. советский ученый И.В.Гаврилов, исследовавший озеро Масазыр, писал, что в нем, по некоторым данным, находится 381 тыс. тонн соли. А широкие научные исследования (к примеру, изучение химического состава озерного грунта и применение его на практике) начались уже с 1937 г. сотрудни-

ками Научно-исследовательского института курортологии и лечения физическими препаратами [1].

В целях изучения степени загрязнения воды озера Масазыр нами были проведены мониторинговые исследования для определения физико-химических параметров, биогенных анионов, а также содержания в них некоторых загрязнителей [2-3]. Во время мониторинга мы взяли пробы воды из различных мест озера Масазыр. Пробы были взяты с разных участков и на различной глубине. Наибольшее загрязнение наблюдалось в поверхностных слоях, на глубине до 0,5 м. Объем всех взятых проб составлял 1 л. Исследования проводились на кафедре экологической химии Бакинского государственного Университета.

Во всех взятых пробах содержание фенола немного (0.0015мг/л), а СПАВ (1,25 мг/л) в несколько раз превышало норм ПДК. В пробах воды pH равна 7,8, мутность 214, а электропроводимость 228, количество растворенного кислорода 2 мг/л [4-6]. В табл. 1 даны результаты анализа для БПК и для биогенных анионов [7].

Таблица 1

Результаты анализа для БПК и для биогенных анионов

| озеро | Анионы, мг/л | | | | БПК, мг/л$O_2$/l |
|---|---|---|---|---|---|
| | $NH_4^+$ | $NO_2^-$ | $NO_3^-$ | $PO_4^{3-}$ | |
| Масазыр | 0 | 0.17 | 3.8 | 0.47 | 1.2 |

***Литература***

1 Hajıyeva S.R., Aliyeva T.I., Yusifova M.N. The ecological state of Boyuk Shor lake of Azerbaijan // Environmental Monitoring and Assessment. 2020. V. 192 (780). P. 1-11.

2 Гаджиева С.Р., Мустафаев И.И., Алиева Т.И.. Экологическое оценивание озера Бёюкшор Абшеронского полуострова / В сб.: V Международная (XVIII Региональнная) научная конференция «Техногенные системы и экологический риск», 2022. С. 129-131.

3 Mustafaev I., Hajiyeva S., Aliyeva T., Samadova A. Research

of pollution level of lake Binagadi / The 7th International Conference: "Ecological and Environmental Chemistry-2022", *March 3-4, 2022, Chisinau, Republic of Moldova* EEC-2022 Abstract Book, Volume 1, DOI: http://dx.doi.org/10.19261/eec.2022.v1, p.100-101

4 Гилеев Д.К., Тихонова К.М. Методы анализа объектов окружающей среды. Новосибирск: Наука, 1988. 243 с.

5 Предельно допустимые концентрации вредных веществ в воздухе и воде. Л.: Химия, 1975. 456 с.

6 Никаноров А.М., Хоружая Т.А. Мониторинг качества вод. Сер. «Качество вод», вып.3. СПБ Гидролитеоиздат, 1998. С. 73.

7 Чибисова Н.В., Долгань Е.К. Практикум по экологической химии. Учебное пособие. Калининград, 1999. 94 с.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЕСТИЦИДА НА ОСНОВЕ ПРОИЗВОДНОГО ФЕНОКСИУКСУСНОЙ КИСЛОТЫ В ПОЧВЕ

*М.С. Гречина*
*ФБУН «Федеральный научный центр гигиены им. Ф.Ф. Эрисмана» Роспотребнадзора, г. Мытищи, Россия*

Применение гербицида МЦПА [2-метил-4-хлорфеноксиуксусная кислота] на протяжении долгой истории использования не потеряло своей актуальности и в наши дни.

Пересмотр регламентируемых показателей безопасности нормируемых действующих веществ пестицидов, зачастую, приводит к ужесточению нормативов. Что в свою очередь требует разработки методов, обеспечивающих контроль новых установленных уровней.

С введением в действие с 2021 года СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания», вместо ориентировочной допустимой концентрации (ОДК) МЦПА в почве, равной 0,04 мг/кг, определена предельно-допустимая концентрация (ПДК), установленная на уровне 0,003 мг/кг.

Аналитическая база методов контроля данного действующего вещества представлена аттестованными методами с пределом обнаружения не ниже 0,01 мг/кг.

Целью работы была разработка современного метода для определения МЦПА в почве с использованием высокоэффективной жидкостной хроматографии с масс-спектрометрическим детектированием (ВЭЖХ-МС/МС), чтобы исключить процесс дериватизации вещества в метиловый эфир, применяемый при подготовке проб в ранее реализуемой методике определения методом газожидкостной хроматографии (ГЖХ) с электронно-захватным детектором. Метод должен отвечать всем нормативным документам, касающихся методик измерений и обеспечивать гигиенический норматив действующего вещества в почве.

Для подготовки соответствующих модельных образцов были использованы стандартные образцы почв трех различных типов: чернозем выщелоченный тяжелосуглинистый, солонец бурый тяжелосуглинистый и дерново-подзолистая среднесуглинистая.

Изучив международные литературные данные, в качестве экстрагента выбран раствор гидроксида натрия, оптимальная концентрация которого была подобрана экспериментальным путем.

В дальнейшем щелочная экстракция была дополнена твердофазной экстракцией (ТФЭ) на концентрирующих патронах. Полученные данные для различных видов почв, отличающихся по содержанию органических веществ, pH и распределению частиц по размерам, показали приемлемые результаты по извлечению МЦПА, тем более такой подход оказался прост в исполнении и экономичен в расходе растворителей.

Количественное определение проводилось методом высокоэффективной жидкостной хроматографии с тройным квадрупольным детектором. Для идентификации МЦПА выбраны количественный и подтверждающий масс-переходы в режиме работы ESI (электроспрей) с регистрацией отрицательных ионов: количественный переход 199→141, подтверждающий 201→143. Материнские ионы выбраны с учетом присутствия двух стабильных изотопов хлора с молекулярными массами 35 и 37. Такой подход привел к получению двух пиков на хроматограмме.

Собрать пики в один удалось с помощью подбора подвижной фазы и градиента. Опытным путем определена оптимальная концентрация формиата аммония в водном компоненте подвижной фазы (0,05% формиат аммония) и скорректирован режим градиентного элюирования.

Установление достоверной полноты извлечения из аналитических образцов проводилось экспериментально в 4-х точках по диапазону линейности, а также на уровне, в 50 раз превышающем верхнюю границу калибровки.

Разработанная методика прошла метрологическую экспертизу и подана на утверждение. Достигнутый нижний предел количественного определения МЦПА - 0,001 мг/кг полностью обеспечивает норматив пестицида в почве.

## МОЛЕКУЛЯРНЫЙ ДОКИНГ ТРАНЕКСАМОВОЙ И АМИНОКАПРОНОВОЙ КИСЛОТ С ПРОТЕИНОМ С

*Е.С. Деруго, А. В. Бакунович*
*МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ, г. Минск, Беларусь*

Протеин С – один из наиболее важных физиологических ингибиторов свёртывания. В активной форме он расщепляет и инактивирует факторы свёртывания. Транексамовая и аминокапроновая кислоты являются антифибринолитическими препаратами, которые используются для предотвращения избыточного кровотечения путем уменьшения и разрушения сгустков крови.

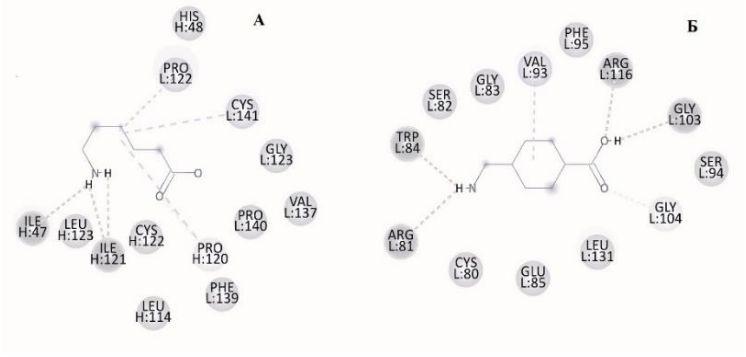
Целью исследования являлось провести молекулярный докинг протеина С с транексамовой и аминокапроновой кислотами.

Кристаллическая структура протеина С была взята из банка данных Protein Data Bank с ID белка 3F6U. Молекулярный докинг проводили с использованием UCSF CHIMERA 1.16. Для визуализации смоделированных структур использовали BIOVIA Discovery Studio 2021. Оценку свойств образовавшихся комплексов проводили с помощью Molegro Molecular Viewer 2.5.

В результате проведения молекулярного докинга, исследуемые лиганды были состыкованы с активным сайтом молекулы

протеина С. Как показано на рисунке 1А, стабильный комплекс между аминокапроновой кислотой и протеином С образовался за счет межмолекулярных водородных связей, алкильных, а также ван-дер-ваальсовых взаимодействий. Образование водородных связей наблюдается между водородами аминогруппы в молекуле кислоты и изолейцином 47 и 121, располагающимися в Н-домене белка. Ван-дер-ваальсовые взаимодействия аминокапроновой кислоты с исследуемым белком наблюдаются между лейцином 123 и 114, цистеином 122 и гистидином 48 в Н-домене белка, а с глицином 123, валином 137, фенилаланином 139 и пролином 140 в L – домене.

Транексамовая кислота и протеин С образуют стабильный комплекс (рисунок 1Б) за счет водородных связей между кислородом карбоксильной группы и аргинином 116 и глицином 103 в цепи L молекулы белка, а также за счет ван-дер-ваальсовых взаимодействий со следующими аминокислотами: серин 82, глицин 83, цистеин 80, глутамин 85, серин 94, фенилаланин 95 и лейцин 131, которые располагаются в L-домене белка.




А – комплекс протеина С с аминокапроновой кислотой;
Б – комплекс протеина С с транексамовой кислотой

Рис. 1. Образование комплексов аминокапроновой и транексамовой кислот с протеином С

Также образование водородных связей наблюдается между водородом аминогруппы транексамовой кислоты, аргинином 84 и триптофаном 84 в молекуле белка.

Общая энергия образованного комплекса с аминокапроновой кислотой составила -38,163 кДж, а энергия комплекса с транексамовой кислотой: -50,781 кДж. Таким образом, можно заключить, что комплекс с транексамовой кислотой обладает более высокой стабильностью. Полученные данные могут указывать на более сильное взаимодействие или более выгодную конформацию комплекса протеина С с транексамовой кислотой по сравнению с аминокапроновой кислотой.

***Литература***

1 Chowdhary S., Kumar D., Bhattacharyya R., Banerjee D. Prediction of binding of FDA approved drug Ledipasvir to SARS-CoV2 mutants: an in silico study // Research Square. – 2021. – P. 1-8.

## ИЗМЕРЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИЙ ТИАБЕНДАЗОЛА В ВОДЕ МЕТОДОМ ГАЗОВОЙ ХРОМАТОГРАФИИ С МАСС-СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКИМ ДЕТЕКТИРОВАНИЕМ

*О.Е. Егорченкова*
*ФБУН «Федеральный научный центр гигиены им. Ф.Ф. Эрисмана» Роспотребнадзора, г. Мытищи, Россия*

Вода – один из самых важных ресурсов на Земле, поддерживающий жизнь всех организмов.

Развивающееся сельское хозяйство является главным источником загрязнения воды пестицидами, которые, попадая в водные системы, наносят значительный вред окружающей среде.

Тиабендазол (2-(тиазол-4-ил) бензимидазол; 2-(1,3-тиазол-4-ил)бензимидазол) – высокоэффективный фунгицид класса бензимидазолов, обладающий протективным и куративным действием, особенно эффективен против кагатных гнилей и болезней хранения. Используется на плодовых, овощных и зерновых культурах.

Для каждого разрешенного пестицидного препарата, рекомендуемого для применения в России, разработаны предельно допустимые концентрации (ПДК) в воде и водных объектах хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования.

Для тиабендазола данный норматив в воде установлен на уровне 0,001 мг/дм$^3$ [1].

Существующий официальный метод измерения концентрации тиабендазола в воде (МУК 4.1.1245-03) обеспечивает нижний предел обнаружения лишь на уровне 0,002 мг/м$^3$, что и определило необходимость в разработке более чувствительного метода.

В качестве контрольных образцов, а также матричной основы для приготовления модельных образцов была использована дехлорированная водопроводная вода, не имеющая несвойственного ей запаха (привкуса) и свободная от взвешенных частиц.

Положительные результаты по извлечению тиабендазола из проб воды были получены с использованием картриджей для твердофазной экстракции «Waters Oasis HLB», заполненных полимерным сорбентом на основе сбалансированного соотношения 2-х мономеров – липофильного дивинилбензола и гидрофильного N-винилпирролидона.

Для оптимизации удерживания аналита на сорбенте ТФЭ отфильтрованный образец воды объемом 100 см$^3$ подкисляли 40 мм$^3$ концентрированной соляной кислоты до pH 2. Элюировали тиабендазол с картриджа метанолом.

Методика основана на определении тиабендазола с использованием газовой хроматографии с масс-спектрометрическим детектированием. Для идентификации и количественного определения были выбраны селективные для данной матрицы ионы с отношением масса/заряд (m/z): 201 (количественный расчет), 129, 174.

Калибровочная зависимость линейна в диапазоне концентраций 0,007-0,125 мкг/см$^3$, соотношение сигнал-шум на пределе обнаружения 14:1.

Подобранные условия хроматографирования и способы пробоподготовки явились основой метода измерения концентраций тиабендазола в воде, обеспечивающего не только нижний предел количественного определения 0,0002 мг/дм$^3$ (в 5 раз ниже величины существующего норматива), но и достаточно высокий уровень извлечения вещества из анализируемых образцов воды (95,8 % при стандартном отклонении 8,0%).

Полученные результаты экспериментальных исследований показали, что методические подходы, определенные в настоящем исследовании, являются достаточно простыми, быстро исполнимыми и недорогими для воспроизведения.

Разработанный метод удовлетворяет требованиям ГОСТ 27384-2002 «Вода. Нормы погрешности измерений показателей состава и свойств» и позволяет обеспечить контроль тиабендазола в воде в соответствии Федеральным законом РФ «Об охране окружающей среды». Метод оформлен в виде Методических указаний по разделу 4.1. Методы контроля. Химические факторы.

***Литература***

1 СанПин 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания.

## ВЛИЯНИЕ НОВОГО ТЕХНИЧЕСКОГО ПРОДУКТА ПРОИЗВОДНОГО ОКСАТИИНКАРБОКСАМИДОВ НА РЕПРОДУКТИВНУЮ ФУНКЦИЮ ТЕПЛОКРОВНЫХ

*Т.М. Епишина*
*ФБУН «Федеральный научный центр гигиены им. Ф.Ф. Эрисмана» Роспотребнадзора, г. Мытищи, Россия*

В существующих социально-экономических условиях состояние репродуктивного здоровья населения остается одной из наиболее острых медико-социальных проблем, являясь фактором национальной безопасности. Поэтому изучение влияния технических продуктов, входящих в состав пестицидных препаратов, на репродуктивную функцию теплокровных является обязательным этапом комплексной токсиколого-гигиенической оценки новых химических соединений [1].

Цель исследования – установить уровни недействующих доз (NOEL) репродуктивной токсичности и класса опасности нового технического продукта производного оксатиинкарбоксамидов.

В соответствии с поставленной целью в испытательной биологической лаборатории ФБУН «ФНЦГ им. Ф.Ф. Эрисмана» проведены исследования репродуктивной токсичности нового технического продукта по методу двух поколений на крысах (самцах и самках) согласно руководства Р1.2.3156-13 [2]. Испытаны дозы 0; 1/5000; 1/350 и 1/160 $ЛД_{50}$ (одна контрольная и три опытные группы). Масса тела крыс-самцов в начале исследования составила 180-190 г (n=10), крыс-самок 210-220 г (по 20 особей в группе). Выбор доз для проведения эксперимента обусловлен литературными данными о токсичности соединений - производных оксатиинкарбоксамидов.

При изучении репродуктивной токсичности исследуемого соединения в указанных дозах гибели животных родительского F0 поколения не зафиксировано. У самцов поколения F0 в высшей дозе 1/160 $ЛД_{50}$ отмечалось статистически достоверное снижение массы тела на 7-й и 8-й неделях от начала введения вещества по сравнению с животными контрольной группы. У самок родительского поколения F0, получавших соединение в дозе 1/160 $ЛД_{50}$ отмечалось статистически достоверное снижение массы тела в период беременности и лактации по сравнению с контрольной группой животных ($p < 0,05$).

У крысят F1 и F2 поколений при всех изученных дозах не выявлено статистически достоверных изменений по показателям смертности потомства, гибели крысят при рождении и в период вскармливания, массы тела крысят при рождении, через 7, 14, 21 и 30 дней, в 2, 3 и 4 месяца по сравнению с потомством F1 и F2 поколений контрольных групп.

При изучении влияния нового технического продукта на показатели центральной нервной системы (ЦНС) у потомства поколения F1, получавших соединение в дозе 1/160 $ЛД_{50,}$ в возрасте 30 сут при изучении поведенческих реакций выявлено статистически достоверное снижение показателя длины пути и повышение суммационно-порогового показателя (СПП) по сравнению с контрольной группой животных ($p < 0,05$).

Анализ показателей физиологического развития потомства таких как отлипание ушной раковины, появление первичного волосяного покрова, день прорезывания резцов, день перехода к

самостоятельному питанию не выявил статистически достоверных изменений у потомков F1 и F2 поколений всех опытных группах по сравнению с потомками контрольных групп.

Таким образом, изучаемое соединение влияет на отдельные показатели репродуктивной функции потомства на уровне дозы, токсичной для материнского и отцовского организмов. NOEL для родителей и потомства установлен на уровне 1/350 $ЛД_{50}$. Согласно гигиенической классификации [3], изученный технический продукт, производный оксатиинкарбоксамидов, по влиянию на репродуктивную функцию теплокровных (крысы) относится к 3-му классу опасности (умеренно опасное соединение).

***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 Оценка токсичности и опасности химических веществ и их смесей для здоровья человека: Руководство Р1.2.3156-13 – М.: Гигиена, токсикология, санитария, 2014. – 639 с.

3 Методические рекомендации (МР № 1.2.0235-21). – 2021. – 13 с.

## ТОКСИЧНОСТЬ И ОПАСНОСТЬ НОВОГО ГЕРБИЦИДНОГО ПРЕПАРАТА

*Т.М. Епишина, Е.Г Чхвиркия*
*ФБУН «Федеральный научный центр гигиены им. Ф.Ф. Эрисмана» Роспотребнадзора, г. Мытищи, Россия*

Пестициды, являясь биологически высокоактивными соединениями, могут представлять реальную опасность для здоровья населения, поэтому обязательным этапом оценки потенциальной опасности на организм является проведение исследований по изучению их токсикопараметров [1-2].

Цель исследований – установление параметров острой пероральной и дермальной токсичности, оценка раздражающего

действия на кожу и слизистые оболочки глаза, оценка сенсибилизирующего эффекта нового гербицидного препарата.

Исследования проведены в испытательной биологической лаборатории ФБУН «ФНЦГ им. Ф.Ф. Эрисмана» согласно руководства Р1.2.3156-13 [2].

Оценка сенсибилизирующего эффекта препарата выполнена по схеме комплексной сенсибилизации [3]. Подсчёт состава лейкоцитарной формулы крови выполняли на автоматизированном гематологическом анализаторе «CELL-DYN–3700» США. Эвтаназия животных проведена в $CO_2$ боксе АЕ 0904. Результаты исследований обработаны статистически общепринятыми методами с использованием t – критерия Стъюдента в программе ПК «Microsoft Excel».

В результате проведенных исследований установлено, что однократное пероральное введение крысам-самцам препарата в дозе 10000 мг/кг м.т. не вызывало гибели животных, а клиническая картина интоксикации характеризовалась их угнетенным состоянием в течение первых суток.

При однократном нанесении нативного препарата в дозе 2000 мг/кг м.т. на участок кожи 6 крысам-самцам гибели животных и видимых признаков интоксикации во все сроки наблюдения (через 1-14 суток) не отмечалось. Следовательно, на основе полученных данных $ЛД_{50}$ перорально (крысы-самцы) > 10000 мг/кг м.т., $ЛД_{50}$ дермально (крысы-самцы) > 2000 мг/кг м.т.

Раздражающего действия препарата на кожу крыс и кроликов во все сроки наблюдения не выявлено. Раздражающее действие препарата на слизистые оболочки глаза характеризовалось наличием слабой гиперемии конъюнктивы (1-2 балла) в течение первых суток после аппликации.

При изучении сенсибилизирующего эффекта у морских свинок опытной группы по сравнению с контрольными не наблюдалось положительной кожной реакции после провокационной пробы; статистически значимых изменений при оценке показателей РСАЛ и РСЛЛ (коэффициент агломерации меньше 1.4; относительный процент лизиса меньше 10%), результатов гематологических показателей (изменений в лейкоцитарной формуле крови). Полученные результаты позволяют сделать вывод об

отсутствии сенсибилизирующего эффекта у изучаемого препарата.

***Заключение***. Новый гербицидный препарат согласно МР № 1.2.0235-21 [4] по параметрам острой пероральной и дермальной токсичности, раздражающему действию на кожу и сенсибилизирующему эффекту на организм лабораторных животных относится к малоопасным соединениям (4 класс опасности); по раздражающему действию на слизистые оболочки глаза – к умеренно опасным соединениям (3В класс опасности).

***Литература***

1 Ракитский В.Н., Терешкова Л.П., Чхвиркия Е.Г., Епишина Т.М. Основы обеспечения безопасного применения пестицидов // Здравоохранение Российской Федерации. – 2020. – Т. 64. – № 1. – С. 45-50.

2 Оценка токсичности и опасности химических веществ и их смесей для здоровья человека: Руководство Р1.2.3156-13 – М.: Гигиена, токсикология, санитария, 2014. – 639 с.

3 Алексеева О.Г., Дуева Л.А. Аллергия к промышленным химическим соединениям. – М.: Медицина, 1978. – 270 с.

4 Методические рекомендации (МР № 1.2.0235-21). – 2021. – 13 с.

## ОПТИМИЗАЦИЯ МЕТОДОВ ВЭЖХ-МС/МС ПРИ АНАЛИЗЕ ПРОБ, СОДЕРЖАЩИХ ГИДРОФОБНЫЕ И ГИДРОФИЛЬНЫЕ АГЕНТЫ

*А.А. Ивченкова, С.Д. Добрев*
*ФБУН «Федеральный научный центр гигиены им. Ф.Ф. Эрисмана» Роспотребнадзора, г. Мытищи, Россия*

Метод высокоэффективной жидкостной хроматографии с масс-селективным детектированием (ВЭЖХ-МС/МС) позволяет анализировать пестициды самой разной природы, в том числе кислоты.

В данной работе исследовалась возможность одновременного анализа тебуконазола (группа триазолов), флубендиамида

(группа карбоксамидов) и пиклорама (группа пиридина) в воде. В рамках изучения водно-миграционного показателя анализировались пробы фильтрата (лизиметрической) воды.

Тебуконазол и флубендиамид – органические соединения, обладающие обширными гидрофобными фрагментами, тогда как пиклорам содержит открытую карбоксильную группу, что обуславливает его принципиально отличное поведение при хроматографирования.

Начальные условия анализа тебуконазола (положительная полярность, MRM переходы 308→125, 308→70, 310→70) и флубендиамида, пиклорама (отрицательная полярность, соответственно MRM переходы 681→272, 681→274, 681→254, 240,9→197, 240,9→161, 240,9→123) методом ВЭЖХ-МС/МС: электроспрей, тип сканирования MRM, хроматографическая колонка «Fusion-RP 80 A» 50х2 мм, 4 мкм 100А, подвижная фаза: 0,1% водный раствор муравьиной кислоты – ацетонитрил. При данных условиях формируются чёткие симметричные пики тебуконазола и флубендиамида, имеющие времена удерживания, соответственно, 3,4 и 3,6 минут. Однако пиклорам при концентрации раствора 0,1 мкг/мл демонстрирует сильно размытый пик с соотношением сигнал/шум 1:4, время выхода 1,6 минуты.

Дальнейшее исследование было направлено на оптимизацию условий хроматографирования пиклорама, с учетом присутствия тебуконазола и флубендиамида на фоне лизиметрической воды.

Было проанализировано влияние состава подвижной фазы при введении уксусной кислоты, формиата аммония, ацетата аммония.

Выявлены следующие закономерности. Кислота в составе подвижной фазы конкурирует за сорбцию с пиклорамом на неподвижной фазе. Уксусная кислота позволяет добиться соотношения сигнал/шум 1:50 для 0,05 мкг/мл, время выхода 1,1 мин.

Введение формиата или ацетата аммония приводит к формированию четкого симметричного пика пиклорама, соотношение сигнал/шум 1:182, однако при этом вещество выходит вместе с неудерживаемым объемом (0,4 мин).

На формы пиков тебуконазола и флубендиамида, а также на их времена удерживания изменения состава водной составляющей подвижной фазы влияния практически не оказало.

Принятие решения о возможности работы с пиком, выходящим с неудерживаемыми веществами, следует принимать очень взвешенно, оценивая в первую очередь влияние матрицы пробы, которое в данном случае было чрезвычайно велико. Эффект заключался в повышенном шуме MRM перехода 240,9→161, что сделало его непригодным ни для количественной, ни для качественной оценки.

Классический метод анализа пиклорама в воде предполагает дополнительные стадии концентрирования проб путем жидкость-жидкостной переэкстракции или твердофазной экстракции, что требует затрат времени и реактивов.

Поскольку целью данной работы была блиц-оценка динамики концентраций в диапазоне 0,01-0,1 мкг/мл (для пиклорама), то был выбран путь увеличения технологичности проводимого анализа данных соединений. А именно, работа без концентрирования, с подкислением уксусной кислотой подвижной фазы и самой пробы, но с некоторой потерей формы пика и, одновременно, с его сдвигом в область веществ, делящихся на колонке.

Данный подход позволил одновременно оценить концентрации веществ гидрофобных и гидрофильных агентов в лизиметрических водах и имеет значительный потенциал для лабораторий.

# ОПРЕДЕЛЕНИЕ РУТИНА В НЕКОТОРЫХ ЛЕКАРСТВЕННЫХ ФОРМАХ ДЛЯ НАРУЖНОГО ПРИМЕНЕНИЯ

*Е.Г. Кекина[1], М.В.Егорова[1], Н.П. Федосеева[2], Е.С. Кекин[2]*
*[1] – ФГБОУ ДПО РМАНПО Минздрава России, г. Москва, Россия*
*[2] – ГБПОУ «Московский государственный образовательный комплекс», г. Москва, Россия*

Флавоноиды – наиболее многочисленный класс природных фенольных соединений, для которых характерно структурное многообразие, высокая и разносторонняя активность, а также малая токсичность.

Наряду с фармакологическими свойствами важным фактором является использование флавоноидов для профилактики и консервативного лечения варикозной болезни. Одной из таких общепринятых форм лечения являются препараты – венотоники наружного применения.

Методом случайной выборки был проведен отбор проб гелей для повышения венозного тонуса «Троксевазин» и «Троксерутин» из розничной аптечной сети в г. Москве. По данным справочников лекарственных средств, а также фармакопейных статей были определены показатели испытания и методические указания для исследований [1].

Выбранная методика из фармакопейных статей, а также проведенный анализ имеющихся методических указаний по исследованию БАД, выявил сложности в проведении подготовки проб определения рутина в выбранном лекарственном средстве физико-химическими методами. В связи с этим предпочтение было отдано визуальному органолептическому анализу, который осуществлялся визуальным описательным методом с применением международного классификатора «PantonePlus». Экстракцию рутина из гелей осуществляли с помощью спиртового раствора. Затем спектрофотометрическим методом определяли оптическую плотность комплекса рутина с 2,0% хлоридом алюминия. Полученные результаты подставляли в формулу для расче-

та. Аналогичные испытания проводили с аналитически чистым веществом – рутином (ГСО).

Нормативы контроля по исследуемым показателям приведены в инструкции по применению к лекарственному средству (табл. 1).

Таблица 1

Результаты анализа по органолептическим показателям и содержание рутина в гелях-венотониках

| Наименование лекарственного средства | Внешний вид (цвет) /консистенция | Концентрация рутина |
|---|---|---|
| Троксевазин | Гель темно-желтого цвета/ Гелеобразная однородная | 1,76±0,44 г/100 г |
| Троксерутин | Гель светло-желтого цвета/ Гелеобразная однородная | 2,69±0,66 г/100 г |

Из табл. 1 видно, что органолептические показатели соответствовали описанию, заявленному в инструкции по применению в двух образцах. Концентрация рутина составила в геле «Троксевазин» 1,76±0,44 г/100 г и геле «Троксерутин» 2,69±0,66 г/100 г. Можно отметить, что содержание рутина во втором образце было несколько выше, чем в первом. Интервал концентраций рутина составил с учетом погрешности для гелей «Троксевазин» 1,32-2,2 мг/100г и «Троксерутин» 2,03-3,35 мг/100г.

Таким образом, по результатам исследований образцы гелей-венотоников «Троксевазин» и «Троксерутин» полностью соответствовали инструкции по применению как по описанию внешнего вида, так содержанию действующего вещества рутина с учетом погрешности. Однако достаточно большой интервал концентраций указывает, что для контроля и разработки готовых лекарственных средств в отечественной фарминдустрии необходим точный контроль действующих веществ физико-химическими методами анализа.

***Литература***

1 Государственная фармакопея СССР: Вып. 2. Общие методы анализа. Лекарственное растительное сырье / МЗ СССР. – 11-е изд., доп. – М.: Медицина, 1989. – 320 с.

## АНАЛИТИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ЭТИЛЕНГЛИКОЛЯ В ПОЧВЕ

*М.В.Ларькина, О.Е. Егорченкова*
*ФБУН «Федеральный научный центр гигиены им. Ф.Ф. Эрисмана» Роспотребнадзора, г. Мытищи, Россия*

Почва является важным компонентом окружающей среды, в которой концентрируются пути миграции по почво-водно-воздушным цепям, и служит местом максимального накопления ксенобиотиков.

Этиленгликоль (ЭГ) – бесцветная жидкость маслянистой консистенции, не имеющая запаха и обладающая слегка сладковатым вкусом. Являясь веществом 3 класса опасности, он взрывоопасен и горюч, обладает наркотическим действием.

Широкое использование ЭГ в промышленности, а также в качестве средства для борьбы с обледенением воздушных судов и теплоносителя в автомобильном транспорте может привести к риску загрязнения этиленгликолем почв, контактирующих с почвой сред и последующей опасности для человека и окружающей среды.

Конкретных стандартизированных методов контроля ЭГ в почве не существует. В связи с этим, очевидна необходимость в разработке простых и эффективных методологий, способных определять этиленгликоль в почве.

Идентификацию и количественное определение вещества осуществляли методом газовой хроматографии с пламенно-ионизационым детектором (ГХ-ПИД).

Основной раствор ЭГ, раствор для градуировки и внесения, рабочие растворы для калибровки готовили в метаноле.

Построена калибровочная характеристика в диапазоне концентраций 1,0-10 мкг/см$^3$, коэффициент корреляции >0,99.

Высокая водорастворимость ЭГ позволила экстрагировать вещество из образцов воздушно-сухой почвы деионизированной водой.

Анализ гликолей, таких как ЭГ, из проб воды традиционно проводится путем прямого введения водного раствора в газовый хроматограф. Ввод пробы воды в испаритель газового хроматографа проблематичен для анализа: возникает нагрузка на испаритель в виде пара, проявляются быстро элюируемые соединения. На хроматограмме появляются размытые (несимметричные) формы пика, повышается предел обнаружения гликолей.

Также присутствие матрицы в образцах воды может легко засорить инжектор или хроматографическую колонку.

В результате проведенных исследований было отработано несколько способов очистки водного экстракта этиленгликоля от коэкстрактивных ингредиентов.

На основании экспериментальных данных было обнаружено, что обращенно-фазный угольный адсорбент ENVI-Carb™Plus способен удерживать этиленгликоль из воды. Использование на стадии очистки водного экстракта двухсторонних картриджей ENVI-Carb™Plus и элюирование вещества из картриджа метанолом позволило добиться повышения чувствительности, улучшения хроматографических характеристик и симметричности пиков по сравнению с прямым введением водного раствора.

Разработанный метод экстракции является воспроизводимым и количественным, и на него не влияет присутствие солевых и углеводородных загрязнений.

Средняя полнота извлечения по всему диапазону концентраций 84,6% при стандартном отклонении 5,2%.

Достигнут нижний предел количественного определения – 1,6 мг/кг (соотношение сигнал/шум ~10:1).

Показатель точности измерений концентраций этиленгликоля в почве, выполняемых по методике измерений, установлен на уровне 47%.

Созданный метод удовлетворяет требованиям ГОСТ Р 8.563-09 [1] и обеспечивает контроль этиленгликоля в почве в соот-

ветствии Федеральным законом РФ «Об охране окружающей среды». 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 ПЕРВИЧНЫХ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ И СОДЕРЖАНИЯ ТЯЖЁЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ВОДОЁМАХ, РАСПОЛОЖЕННЫХ ВБЛИЗИ РАДИАЦИОННО-ОПАСНОГО ОБЪЕКТА

*Д.А. Минаков, Т.В. Мельникова, А.А. Удалова*
*Обнинский институт атомной энергетики – филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», г. Обнинск, Россия*

Радиационно-опасные объекты оказывают комплексную нагрузку на окружающую среду, поэтому важно проводить оценку не только радиационного, но и химического загрязнения.

Целью данной работы является определение содержания Zn, Cd, Pb, Cu и оценка их связи с физико-химическими показателями в водоёмах, расположенных вблизи АО «НИФХИ им. Л.Я. Карпова».

Пробоотбор осуществлялся из 4 искусственных водоёмов и рек Протва и Дырочная весной и летом 2023 г. Содержание тяжёлых металлов, минерализация, содержание хлоридов и pH определялись вольтамперометрическим, кондуктометрическим и потенциометрическим методами соответственно.

В табл. 1 представлены диапазоны значений измеренных физико-химических параметров. По результатам измерений обнаружены концентрации Zn, Cd, Pb и значения pH выше установленных нормативов для рек Протва и Дырочная [1,2]. ПДК для искусственных водоёмов не установлены.

Статистически значимая корреляция ($p>0,05$) обнаружена для Zn и Pb ($r=0,60$), Zn и Cu ($r=0,58$), Pb и Cu ($r=0,84$), Pb и минерализации ($r=0,67$), Pb и Cl ($r=0,64$), Cu и минерализации ($r=0,58$), минерализации и Cl ($r=0,97$).

Методом главных компонент выделены два первых фактора с собственными значениями больше 1. В первую главную компоненту с наибольшим отрицательным весом входят содержание Pb, Cu, Cl, а также минерализация. Во вторую – содержание Cd, pH с наибольшими положительными весами и Zn с наибольшим отрицательным весом. В координатах главных компонент все точки измерений группируются в кластер, за исключением точки, отобранной в р. Протва, что может свидетельствовать о значительной антропогенной нагрузке.

Таблица 1

Диапазоны значений физико-химических параметров

| Параметр | Весна | Лето | ПДК |
|---|---|---|---|
| Zn, мг/л | 0,029÷4,4 | 0,0028÷0,46 | 1* |
| Cd, мкг/л | 0,020÷0,21 | 0,018÷6,1 | 1* |
| Pb, мкг/л | 1,5÷41 | 0,56÷21 | 10* |
| Cu, мг/л | 0,000083÷0,32 | 0,00028÷0,14 | 1* |
| Cl, мг/л | 0,626÷107 | 6,72÷251 | 350* |
| Минерализация, мг/л | 20,60÷584,0 | 64,87÷802,3 | - |
| pH | 6,52÷8,41 | 8,76÷9,06 | 6,5÷8,5** |

* – в соответствии с [1]; ** – в соответствии с [2].

Исследование показало наличие сильных ($r>0,70$) и умеренных ($0,30<r<0,70$) положительных связей между физико-химическими параметрами воды. Исходя из результатов анализа методом главных компонент, выявлено наличие трёх групп физико-химических показателей: 1 – минерализация, содержание хлоридов, Cu, Pb; 2 – pH и содержание Cd; 3 – содержание Zn.

*Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (грант № 23-29-10166).*

***Литература***

1 Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения: Приказ Министерства сельского хозяйства Российской Федерации от 13.12.2016 № 552.

2 СанПиН 2.1.5.980-00. Водоотведение населенных мест, санитарная охрана водных объектов: Гигиенические требования к охране поверхностных вод.

## КВАНТОВО-ХИМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И БИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ТИЛОРОНА

*И.В. Митько, А.В. Бакунович*
*МГЭИ им. А.Д. Сахарова БГУ, г. Минск, Беларусь*

Тилорон – синтетический низкомолекулярный индуктор интерферона, используемый перорально в качестве противовирусного средства. Он обладает иммуностимулирующим эффектом, осуществляет коррекцию соотношения Т-супрессоров и Т-хелперов, повышает активность естественных киллерных клеток [1]. Применяется в комплексной терапии герпеса, инфекционно-аллергических и вирусных энцефаломиелитов, а также для профилактики гриппа и других острых респираторных вирусных инфекциях.

Квантово-химические расчеты с использованием метода функционала плотности (DFT) для молекулы тилорона проведены с применением уровня теории B3LYP в базисе 6-31G** с использованием программного пакета Gaussian 09 и GaussView 06.

Расчет полных электронных плотностей (DOS) для молекулы тилорона показал, что ширина запрещенной зоны (Eg) составляет 0,13332 эВ. Это может указывать на ее стабильность и возможность минимизации побочных эффектов в организме. Общая твердость (η) составляет 0,06667 эВ, что свидетельствует об относительно мягких свойствах, что может быть важным при

взаимодействии с биологическими системами в организме. Энергия ионизации (0,36987 эВ) больше, чем электронная аффинность (0,23654 эВ), что означает, что тилорон имеет склонность отдавать электроны, нежели чем принимать их. Химический потенциал (μ = -0,30321 эВ) отрицательный, а электроотрицательность (χ) составляет 0,30321 эВ, что может дать представление о способности тилорона притягивать электроны в химических связях. Дипольный момент, равный 8,6938535 Дебай, указывает на то, что молекула обладает значительным электрическим дипольным моментом, что может определять ее способность проникать через клеточные мембраны, взаимодействовать с белками или нуклеиновыми кислотами, а также влиять на ее растворимость в различных средах.

Анализ физико-химических и фармакокинетических свойств, проведенный с помощью ресурса SwissADME, показал, что тилорон обладает высокой липофильностью (4,33), что может способствовать его усвоению в организме и позволять проникать через гидрофобные барьеры. Наличие значительного числа вращательных связей (12) указывает на гибкую структуру молекулы тилорона, что может оказывать влияние на его биологическую активность и взаимодействие с молекулярными мишенями. Умеренная растворимость тилорона (-5,28) в воде свидетельствует о его потенциальной способности накапливаться в гидрофобных средах, что может быть важным для его распределения в организме. Высокая абсорбция через желудочно-кишечный тракт и способность проникать через гематоэнцефалический барьер подтверждают потенциал тилорона в качестве лекарственного препарата для лечения вирусных заболеваний, так как это обеспечивает его доступ к клеткам и тканям организма. Низкий логарифм коэффициента распределения для проникновения через кожу (-5,49 см/с) указывает на ограниченную способность тилорона проникать через этот барьер, что может ограничить его применение в трансдермальных препаратах.

Оценки физико-химических и фармакокинетических свойств свидетельствуют о том, что тилорон обладает хорошим потенциалом в качестве лекарственного препарата, а квантово-химические методы расчета позволяют получать надежные про-

гнозы электронного строения и физико-химических параметров, что может помочь улучшить свойства тилорона и сделать его более эффективным.

***Литература***

1 Филиппова Т.О., Головенко Н.Я. Тилорон: профиль биологической активности. Фармакологические свойства // Интерактив. Антропология. – 2006. – № 1. – С. 18–23; № 2. – С. 36–40.

## ИЗУЧЕНИЕ АБСОРБЦИИ ТЕТРАХЛОРИДА ЦИРКОНИЯ РАСПЛАВОМ KCL – $ALCL_3$ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ЭКСТРАКТИВНОЙ РЕКТИФИКАЦИИ ХЛОРИДОВ ЦИРКОНИЯ И ГАФНИЯ

*А.В. Панфилов[1], А.В. Коробков[2], В.В. Бузмаков[2], В.В. Терешин[2]*
*[1] – АО «ТВЭЛ», г. Москва, Россия*
*[2] – АО «Чепецкий механический завод», г. Глазов, Россия*

Содержание гафния в циркониевых реакторных сплавах не должно превышать 0,01%, при его содержании в циркониевых рудах 2-2,5% по отношению к цирконию [1]. Экстрактивная ректификация смеси $ZrCl_4$ и $HfCl_4$ в расплаве $KCl – AlCl_3$ – один из наиболее эффективных методов разделение Zr и Hf [2]. Растворимость разделяемых веществ в разделяющем агенте и ее зависимость от температуры и давления являются ключевыми параметрами процесса [3].

С целью получения необходимых для проектирования установки данных в АО ЧМЗ была создана опытная установка и проведены исследования процесса абсорбции пара $ZrCl_4$ расплавом $KCl – AlCl_3 – ZrCl_4$ на колонных аппаратах различной конструкции в диапазоне температур 324-424 °С и давлений 112,6-122,1 кПа.

На рис. 1 представлена зависимость мольной доли $ZrCl_4$ в расплаве $KCl – AlCl_3 – ZrCl_4$ от температуры в координатах lnx – 1/T. Как известно [4], тангенс угла наклона прямой в данных координатах равен $\Delta H_{исп.}/R$, где $\Delta H_{исп.}$ – энтальпия испарения растворяемого газа, R – универсальная газовая постоянная.

Рассчитанная на основании полученных данных энтальпия испарения $ZrCl_4$ –35,9 кДж/моль удовлетворительно совпадает с известным из литературы значением –43,5±2,1 кДж/моль [5].

Максимальная концентрация $ZrCl_4$ в расплаве в практически важном диапазоне температур 330-346 °С составляет 30 % (вес.) и не зависит от типа колонного аппарата.

Показано, что шести тарелок ситчатого типа с высотой барботируемого слоя расплава 195 мм достаточно для достижения равновесия и практически полного (до 97%) поглощения паров $ZrCl_4$.

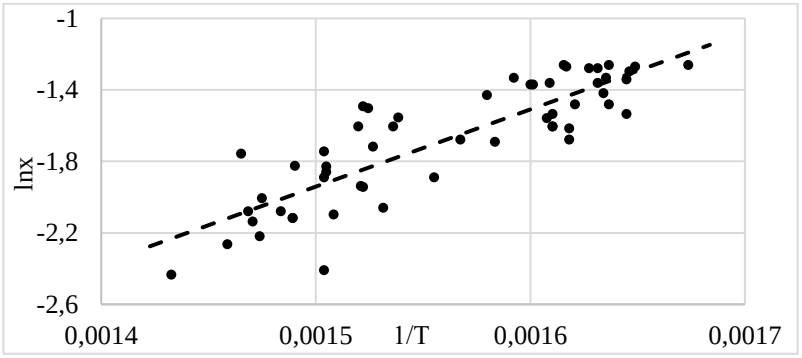



Рис. 1. Зависимость логарифма мольной доли $ZrCl_4$ в расплаве KCl – $AlCl_3$ – $ZrCl_4$ от обратной температуры

Определены соотношения потоков пара и жидкости, необходимые для устойчивой работы дефлегматора колонны экстрактивной ректификации, даны рекомендации по обеспечению работы дефлегматора в режиме недостатка пара.

Полученные результаты нашли применение при проектировании и последующей эксплуатации ректификационной колонны для разделения тетрахлоридов циркония и гафния методом экстрактивной ректификации в АО ЧМЗ.

***Литература***

1 Coleman C.E. The metallurgy of zirconium. IAEA, 2022. – V. 1. – P. 466.

2 Mallikarjunan R., Sehra J.S. Pyrometallurgical processes for the separation of hafnium from zirconium // Bull. Mater. Sci. – 1989. – V. 12. – P. 407-434.

3 Коган В.Б. Азеатропная и экстрактивная ректификация – Л: Химия, 1971. – 432 с.

4 Зуев А. Ю., Цветков Д. С. Химическая термодинамика: учебник. – Екатеринбург, 2020. – 183 с.

5 Нехамкин Л.Г. Металлургия циркония и гафния. М.: Металлургия, 1979. – 208 с.

## АТОМНО-АБСОРБЦИОННОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ СВИНЦА В ЖИДКИХ ЛАКОКРАСОЧНЫХ МАТЕРИАЛАХ

*А.С. Родионов[1], М.В. Егорова[1,2]*
*[1] – ФБУН «Федеральный научный центр гигиены им. Ф.Ф. Эрисмана» Роспотребнадзора, г. Мытищи, Россия*
*[2] – ФГБОУ ДПО Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования Минздрава, г. Москва, Россия*

Поиск решения проблемы ремедиации загрязнения окружающей среды тяжелыми металлами входит в число первостепенных задач современных стратегий экологической безопасности. Среди тяжелых металлов особое беспокойство экспертов в области охраны окружающей среды вызывает свинец в связи с его высокой токсичностью и широким применением в промышленности.

В качестве одного из направлений борьбы с загрязнением свинцом более 40 лет назад дебютировала политика нормирования его содержания в красках бытового назначения. Экспозиции свинцом из лакокрасочных материалов (ЛКМ) подвержены взрослые, связанные с отделочными работами и дети, поглощающие свинец в процессе игр, а таже из воздуха жилых помещений.

На территории Российской Федерации контроль содержания свинца в лакокрасочных материалах осуществляется в соответствии с требованиями нормативной документации [1], устанав-

ливающей норматив содержания свинца в сиккативах и пигментах как 0,5% в пересчете на сухой остаток. Однако исследования европейских специалистов показывают, что безопасной концентрации свинца не существует, и рекомендуют установление международного норматива на уровне 90 ppm (0,009%) свинца в пересчете на сухой вес. В этой связи с 2024 г. на территории РФ вводится новый Технический регламент «О безопасности лакокрасочных материалов» с переходным периодом 5 лет, устанавливающий единый норматив содержания свинца в 90 ppm.

Сложившаяся ситуация ставит вопрос обеспеченности аналитическими методами, способными контролировать столь низкий норматив. Для разрешения указанной проблемы был разработан соответствующий метод, распространяющийся на весь спектр лакокрасочных материалов, с нижним пределом количественного определения свинца 0,0009%.

Целью настоящей работы являлась апробация разработанного метода на жидких лакокрасочных материалах, отличающихся типом и пигментом.

Количественное определение содержания свинца осуществляли методом атомно-абсорбционной спектрометрии с электротермической атомизацией после микроволновой минерализации измельченной стружки, получаемой из соответствующего образца. Стружку собирали пластиковым шпателем после предварительного нанесения лакокрасочных материалов на листы фанеры и их высушивания в обеспыленном помещении.

Результаты исследования показывают зависимость концентрации свинца в ЛКМ от применяемого пигмента, при этом строгой согласованности в ее изменении в зависимости от типа исследуемых ЛКМ проследить не удалось. Проведенное исследование демонстрирует, что содержание свинца в ЛКМ не всегда соответствует предлагаемому к установлению нормативу.

Особую настороженность данная проблема вызывает в связи с отсутствием в настоящее время строгих требований к сертификации производимой лакокрасочной продукции, что подтверждает необходимость актуализации нормативной документации, регламентирующей содержание свинца в ЛКМ и соответствующих методов контроля.

***Литература***

1 Единые санитарно-эпидемиологические и гигиенические требования к продукции (товарам), подлежащей санитарно-эпидемиологическому надзору (контролю)*. Глава II. Раздел Требования к товарам бытовой химии и лакокрасочным материалам (с изменениями на 14.11.2023 г.). – М.: ФЦГиЭ Роспотребнадзора, 2010. – 707 с.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ГРИБА CORDYCEPS MILITARIS И БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ДОБАВОК НА ЕГО ОСНОВЕ

*Д.П. Самсонова, Е.А. Ларионов, В.М. Ларионова*
*КГУ им. К.Э. Циолковского, г. Калуга, Россия*

Проведено сравнительное исследование гриба *Cordyceps militaris* (далее – образец сравнения) и четырех биологически активных добавок в капсулах (присвоены номера: №1, №2, №3 и №4), изготовленных, как заявлялось производителями, из грибов *Cordyceps militaris*. Все объекты приобретались на торговых онлайн-площадках. Наименования производителей биологически-активных добавок не указываются в силу того, что лаборатория не аккредитована на исследование такого рода объектов. Целью проведенной работы являлась разработка экспертного подхода к исследованию биологически активных добавок из грибов.

Сравнивались водные и этанольные экстракты образца сравнения и содержимого капсул объектов №1, №2, №3 и №4 методами тонкослойной хроматографии (ТСХ) [1], УФ спектроскопии [2], спектрофотометрии в видимой области спектра, гравиметрии. Сравнивался также цвет экстрактов, а для сравнения внешнего вида содержимого капсул применялись приборы увеличения (лупа, микроскоп).

В результате исследования методом ТСХ установлено, хроматографический профиль экстрактов образца сравнения и хроматографические профили объектов №1 и №4 сходны по числу

зон адсорбции, их хроматографической подвижности и окраске при видимом свете и при облучении УФ лучами с длиной волны 365 нм. Экстракт образца №3 содержит большее число зон адсорбции, чем образец сравнения. Кроме того, при рассмотрении содержимого капсул образца №3 при помощи приборов увеличения обнаружены частицы с иной морфологией, чем у частиц измельченного гриба *Cordyceps militaris* (образец сравнения). Хроматографический профиль экстракта объекта №2 полностью отличается от профиля образца сравнения, и, вероятнее всего, изготовлен из сырья, отличного от гриба *Cordyceps militaris*.

Исследования методом гравиметрии показали, что содержание сухого остатка в экстрактах образца сравнения и объектах №1, №2 и №4 отличаются незначительно. Экстракты объекта №3 содержат меньшее количество экстрактивных веществ по сравнению с экстрактами образца сравнения.

Использование метода УФ спектроскопии для анализа объектов показало, что характер электронного спектра (наличие максимумов поглощения, расположения плеч) объекта №2 отличается от спектров образца сравнения и объектов №1, №3, №4.

Таким образом, по результатам проведенного комплекса исследований можно сделать вывод о том, что содержимое капсул объектов №1 и №4 изготовлено из измельченного гриба *Cordyceps militaris*. Содержимое капсул объекта №3 содержит измельченный гриб *Cordyceps militaris* и иные частицы. Содержимое капсул объекта №2 изготовлено, вероятнее всего, из сырья, отличного от гриба *Cordyceps militaris*.

***Литература***

1 Проценко М.А. Разработка технологии экспериментальных образцов препаратов из высших базидиомицетов: специальность 03.01.06 «Биотехнология (в том числе бионанотехнологии)» : диссертация на соискание ученой степени кандидата биологических наук; Государственный научный центр вирусологии и биотехнологии «Вектор». – Кольцово, 2017. – 178 с.

2 Алов Н.В. и др. Основы аналитической химии. В 2 т. Т. 2: учеб. для студ. учреждений высш. проф. образования; под ред.

Ю.А. Золотова. – 5-е изд., стер. – М.: Издательский центр «Академия», 2012. – 416 с.

## ОЦЕНКА БЕЗОПАСНОСТИ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ ПЕСТИЦИДОВ

*Д.Н. Соболев*
*ФБУН «Федеральный научный центр гигиены им. Ф.Ф. Эрисмана» Роспотребнадзора, г. Мытищи, Россия*

Использование пестицидных препаратов для защиты растений приводит к значительному повышению урожайности сельскохозяйственных угодий – недостижимому без применения таких препаратов.

На сегодняшний день опрыскивание полей относится к самым распространенным способам применения пестицидных препаратов. Ввиду особенностей этого процесса, в числе которых: невозможность повлиять на условия окружающей среды, использование оборудования в движении – необходимо тщательно контролировать эффективность и безопасность проводимых мероприятий.

Во время проведения опрыскивания происходит снос препарата воздушными потоками за пределы обрабатываемых площадей. Это явление неминуемо влечет за собой загрязнение окружающей сельскохозяйственные поля экосистемы – в первую очередь воздуха, почвы и воды [1].

Совокупность представленных факторов указывает на значимость исследований в области контроля пестицидов, унесенных воздушными потоками за пределы обработки.

В процессе опрыскивания происходит диспергирование раствора пестицидного препарата под давлением. В результате образуются капли диаметром 50-500 мкм, оседающие на обрабатываемые поверхности растений и почвы, и переносимые потоками ветра и турбулентности за пределы обрабатываемых территорий. При этом некоторые вещества, обладающие высокой степенью естественной летучести, образуют в воздушной среде

парообразную и аэрозольную фракцию – чем повышают степень миграции по воздуху.

Согласно регламенту [2], для контроля воздушных сносов применяют коллекторы, размещаемые за границей проводимой обработки на расстоянии, зависящем от используемого при опрыскивании оборудования. Коллекторы в виде чашек Петри с помещенной внутрь фильтровальной или хроматографической бумагой, размещаемые в горизонтальной плоскости, позволяют оценить риск загрязнения поверхности окружающей среды [3]. Также возможен контроль сносов в вертикальной плоскости: коллекторы струнного типа, [3] представляющие собой нити, веревки и ленты, из разных материалов (акрил, хлопок, шерсть, силикон) и разного диаметра (от 0,5 до 25 мм) – позволяют оценить риск ингаляционного воздействия пестицидов.

В практике экспериментальных исследований ФБУН «ФНЦГ им. Ф.Ф. Эрисмана» использует размещение пассивных коллекторов в горизонтальной плоскости, что позволяет оценить риск сноса препарата за пределы обрабатываемой площади. Эксперимент в подсобных хозяйствах позволяет размещать пробоотборники на расстоянии 5-30 м, при работе в поле эта величина возрастает до 50-300 м. Проведение авиационной обработки требует размещения коллекторов на расстоянии до 2 км. Разница расстояния области размещения пробоотборных систем вызвана различиями скорости обработки в зависимости от типа обрабатывающей техники увеличением влияния условий окружающей среды

При этом вызывает интерес возможность выразить математическую зависимость между данными, полученными в горизонтальной и вертикальной плоскостях – таким образом можно будет использовать менее трудозатратный вертикальный способ контроля. Возможность рассчитать риск загрязнения объектов окружающей среды на различных расстояниях от участка обработки будет являться основополагающим преимуществом этого метода отбора.

***Литература***

1 Bolz H. et al. Spray drift-based pesticide residues on untreated edible crops grown near agricultural areas // Journal of Consumer Protection and Food Safety. – 2022. – V. 17 (21) – P. 31.

2 ISO 22866. Equipment for crop protection — Methods for field measurement of spray drift.

3 Lee S.-Y. et al. Quantifying airborne spray drift using string collectors // Agronomy. – 2023. – V. 13. – P. 2738.

## МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ЭМАМЕКТИНА БЕНЗОАТА В ПЛОДОВЫХ КОСТОЧКОВЫХ

*Н.А. Степанова*
*ФБУН «Федеральный научный центр гигиены им. Ф.Ф. Эрисмана» Роспотребнадзора, г. Мытищи, Россия*

Внедрение в сельское хозяйство химических средств защиты растений возможно лишь после их всестороннего токсикологогигиенического изучения и гигиенической регламентации, что является основой для предотвращения неблагоприятного воздействия пестицидов на здоровье работающих и населения, а также санитарное состояние окружающей среды.

Эмамектин бензоат – несистемный инсектицид кишечноконтактного действия для защиты томатов, виноградной лозы, капусты и других культур от широкого спектра личинок лепидоптеры. Вещество воздействует на два участка в центральной нервной системе насекомого: оно связывает рецепторы гаммааминомасляной кислоты (ГАМК) в синапсе и h-рецепторы в мышечных клетках. Это приводит к расслаблению мышц (они не могут сокращаться), через 1–4 час гусеницы перестают питаться и насекомое в течении 1-4 сут погибает. Преимуществом препаратов на основе эмамектина бензоата является его инновационная препаративная форма, обеспечивающая повышенную эффективность, быстрое действие и продолжительную защиту. Также препараты проявляют высокую биологическую актив-

ность против гусениц яблонной плодожорки, безопасны для полезной энтомофауны, нефитотоксичны для обрабатываемых растений, не влияют на товарный вид продукции, имеют короткий период ожидания. За счет особого механизма действия высокоэффективны против популяций насекомых, резистентных к инсектицидам других химических классов.

На сегодняшний день разработаны методы определения данного действующего вещества в различных средах таких как томаты, плодовые семечковые, виноград, капуста. Данные методы легли в основу для контроля уровней содержания эмамектина бензоата в других средах, а именно, плодовых косточковых. С этой целью была проведена исследовательская работа по адаптации метода определения эмамектина бензоата на примере репрезентативной типичной культуры – персиков.

Измерение уровней эмамектина бензоата в персиках и персиковом соке проводилось методом высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ) на обращенной фазе с флуориметрическим детектором после экстракции вещества из анализируемых проб плодов и сока плодовых органическим растворителем, очистки аликвоты экстракта на концентрирующих патронах, превращения вещества во флуорогенное (N-трифторацетилированное) производное.

В ходе проведения исследовательской работы были выявлены несколько факторов, влияющих на процесс пробоподготовки образцов. Важным этапом адаптации метода являлся подбор органического растворителя для проведения экстракции из образцов персиков и персикового сока. Опытным путем было доказано, что применение метанола обеспечило более высокую степень извлечения действующего вещества чем ацетонитрил, используемый в методах, разработанных раннее. Также для более высокой полноты извлечения и ослабления эффекта матрицы потребовалась дополнительная стадия пробоподготовки, а именно, вымораживание образцов экстрактов в морозильной камере в течение часа перед центрифугированием. Более высокому показателю полноты извлечения действующего вещества поспособствовал и подбор оптимального объема ацетонитрила для элюирования с концентрирующего патрона. Эксперимен-

тально было показано, что увеличение объема элюирующего агента с 2 до 5 см$^3$ положительно сказывается на полноте извлечения вещества.

Разработанная методика обеспечивает нижний предел количественного определения в персиках и персиковом соке 0,005 мг/кг. Средняя полнота извлечения: плоды – 85,2%, сок – 84,4%.

По результатам выполненных работ сформированы соответствующие методические указания по разделу 4.1. Методы контроля. Химические факторы.

## АЛГОРИТМ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ ХЛОРОРГАНИЧЕСКИХ ПЕСТИЦИДОВ В ПРОДУКЦИИ ЖИВОТНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ

*Н.Е. Федорова, Н.И. Добрева, А.В. Суслова*
*ФБУН «Федеральный научный центр гигиены им. Ф.Ф. Эрисмана» Роспотребнадзора, г. Мытищи, Россия*

Хлорорганические пестициды (ХОП), такие как 4,4'-дихлордифенилтрихлорэтан (ДДТ) и его метаболиты (4,4'-ДДД и 4,4'-ДДЭ) и изомеры гексахлорциклогексана (α, β и γ – ГХЦГ), относятся к стойким органическим загрязнителям согласно перечню Стокгольмской конвенции. В настоящее время спектр стран, откуда импортируется продовольственная продукция охватывает практически все континенты мира, включая некоторые страны Азии, Африки и Латинской Америки, где запрещенные хлорорганические пестициды используются по сей день.

Перечисленные ХОП относятся к липофильным соединениям, которые аккумулируются в продукции животного происхождения. В Российской Федерации контроль за содержанием ХОП в пищевой продукции является обязательным, что делает актуальным разработку современных методов их определения.

Анализ существующих действующих методов показывает, что многие методики устарели и не соответствуют современным критериям так называемой «зеленой аналитической химии», а именно, при использовании данных методов необходимо использовать большие количества токсичных органических рас-

творителей и реагентов, в результате чего подготовка проб к анализу может занимать несколько дней. В то же время, большинство лабораторий, проводящих исследования безопасности продукции, оснащены современным высокоточным оборудованием и должны проводить анализы десятков и сотен образцов пищевой продукции в день. Традиционные методы такой возможности не дают. Поэтому разработка универсальных методов анализа пищевой продукции, обеспечивающих сокращение продолжительности анализа и его стоимости за счет исключения токсичных реагентов, сокращения использования органических растворителей и химических реагентов, экономия потребления электроэнергии и повышение безопасности химиков-аналитиков и окружающей среды является актуальной и востребованной.

Продукция животного происхождения представлена широким спектром сырья и готовой продукции, включая мясо и мясопродукты, молоко и молочную продукцию, жиры и масла. Целью данной работы была разработка метода, позволяющего проведение анализа ХОП в практически любом виде продукции животного происхождения, в том числе жире и масле.

Для реализации поставленной задачи в качестве метода пробоподготовки был выбран метод матричной твердофазной дисперсии. В результате была разработана схема подготовки проб, представляющая собой алгоритм определения содержания ХОП в продукции животного происхождения.

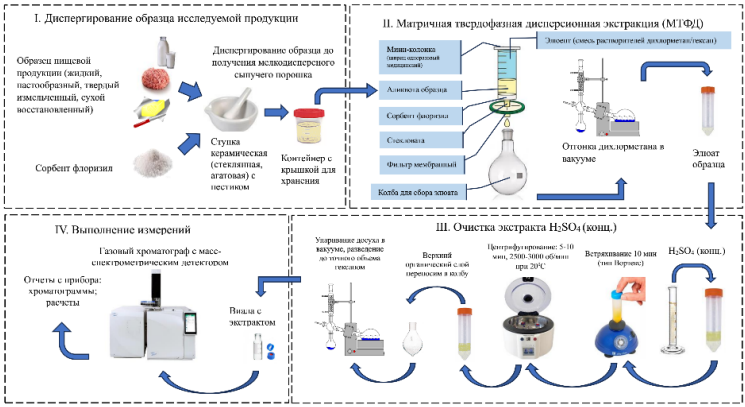



Рис. 1. Схема «Алгоритм определения содержания хлорорганических пестицидов (ХОП) в пищевых продуктах и продовольственном сырье с целью оценки их безопасности»

Предложенная схема позволяет с высокой степенью информативности определять концентрацию ХОП в большом перечне пищевой продукции и продовольственного сырья, а также перспективна для идентификации других органических соединений устойчивых к обработке концентрированной серной кислотой, и позволяет обеспечивать санитарно-гигиенический контроль.

## АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ ПРИЕМЫ ГАЗОХРОМАТОГРАФИЧЕСКОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГОМОЛОГОВ АЛИФАТИЧЕСКИХ КИСЛОТ

*Н.Е. Федорова, М.Д. Молчанов, Д.Н. Соболев*
*ФБУН «Федеральный научный центр гигиены им. Ф.Ф. Эрисмана» Роспотребнадзора, г. Мытищи, Россия*

В вопросах обеспечения безопасности производственной и окружающей среды аналитический контроль химической контаминации имеет важное значение. Выход на рынок новых химических средств защиты растений на основе н-нонановой (пеларгоновой) кислоты, а также расширение использования в химической промышленности 2-этилгексановой кислоты, содер-

жание которых регламентировано в воздушной среде, поставило задачу разработки доступных и надежных методов контроля в воздухе рабочей зоны и атмосферном воздухе городских и сельских поселений.

Обе кислоты являются гомологами, по брутто-формулам отличаются одной $CH_2$ группой. Вместе с тем, имеют различия в физико-химический свойствах.

Цель работы – экспериментально продемонстрировать значимость физико-химических свойств веществ ближайших гомологов алифатических кислот при выборе способа отбора проб воздушной среды с последующей хромато-масс-спектрометрической идентификацией

В основу разработок был взят метод газовой хроматографии (ГХ) с масс-спектрометрическим детектором, реализуемый на отечественном газовом хроматографе (Кристалл 5000.2), широко распространенном в аналитических лабораториях.

Критическим показателем для оценки возможности определения полярных соединений (кислот) с применением ГХ является их летучесть.

В соответствии с литературными данными давление насыщенного пара (20 °С) составляет для н-нонановой кислоты 450 мПа, для 2-этилгексанойвой – 4000 мПа. Разница в показателе менее чем в 10 раз существенно сказалась на методическом подходе к определению веществ. Высокое значение давления паров 2-этилгексановой кислоты сделало возможным определение непосредственным введением экстракта в газохроматографическую систему (ионы: m/z 73 количественный, 88, 101 подтверждающие). В случае н-нонановой кислоты четкого пика вещества при использовании различных хроматографических колонок получить не удалось. В анализ была включена стадия дериватизации, которая позволяет исключить потери веществ из-за низкой летучести или сильной полярности.

Прием метилирования вещества действием метилата натрия в метиловом спирте или метанольного раствора щелочи не оправдал себя, приемлемая интенсивность сигнала детектируемых ионов метилпеларгоната на уровне необходимой чувствительности определения не была достигнута.

Было принято решение использовать пентафторбензилбромид – более стабильный по сравнению с метилатом натрия дериватизирующий агент, который при фрагментации в камере масс-спектрометрического детектора позволяет получать интенсивный ион с отношением масса-заряд (m/z) 139 (количественный), с подтверждающими ионами 121, 157.

При обосновании способа отбора проб воздушной среды показана оптимальность аспирации воздуха через поглотительный сосуд, заполненный смесью вода—изопропанол в соотношении 95:5, с последующей переэкстракцией в гексан.

На основе теоретического и экспериментального обоснования методических подходов и статистической обработки полученных результатов сформированы Методические Указания (МУК) по измерению концентраций пеларгоновой (нонановой) и 2-этилгексановой кислот методом газовой хроматографии с масс-спектрометрическим детектированием в воздушной среде, которые прошли метрологическую экспертизу и будут внесены в Единый информационный фонд по обеспечению единства измерений. Аттестованные методики.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ СОРБЦИИ $^{137}$Cs НОВЫМИ СОРБЕНТАМИ НА ОСНОВЕ ПОЛИАКРИЛАТНОГО ВОЛОКНА И ГЕКСАЦИАНОФЕРРАТОВ ПЕРЕХОДНЫХ МЕТАЛЛОВ

*Ю.Г. Шибецкая[1], В.А. Разина[1], Н.А. Бежин[1], И.Г. Тананаев[1,2]*
*[1] – ФГАОУ ВО Севастопольский государственный университет, г. Севастополь, Россия*
*[2] – ИХТРЭМС РАН им. И.В. Тананаева, г. Апатиты, Россия*

Разработка новых методов извлечения $^{137}$Cs из низко- и среднеактивных отходов, а также методов радиоаналитического мониторинга $^{137}$Cs в объектах окружающей среды является актуальной задачей.

Поэтому ранее [1] нами были получены новые сорбенты на основе полиакрилонитрильного (ПАН) волокна и ферроцианидов переходных металлов. Их основным отличием от суще-

ствующих является стадия предварительной подготовки исходного носителя путем осаждения гидроксида железа(III) аммиаком на предварительно гидролизованном ПАН или путем обработки перманганатом калия, благодаря чему идет образование дополнительных ионообменных групп (карбоксильных, карбонильных и др.). Это увеличивает количество прививаемого к носителю ферроцианида. Установлены оптимальные рецептуры синтеза сорбентов. Показано, что наилучшими сорбционными характеристиками обладают сорбенты CoFeFC-PAN, CoMnFC-PAN, FeMnFC-PAN.

Для оценки эффективности сорбентов можно использовать коэффициент распределения, который характеризует эффективность сорбента в равновесных условиях. Однако на практике сорбционные процессы протекают в динамических условиях, а эффективность сорбентов определяется емкостями до проскока и до насыщения. Сведения о зависимости эффективности извлечения $^{137}Cs$ от количества пропущенного раствора позволяют рассчитывать полноту извлечения радионуклида для проб различного объема.

Изучение сорбции цезия полученными сорбентами в динамических условиях проводили из морской воды и модельного раствора с концентрацией нитрата натрия 0,1 моль/л и pH 6. Исследуемые растворы пропускали через 10 мл сорбента со скоростью 1 к.о./мин. По полученным данным были установлены значения динамической (ДОЕ) и полной динамической обменных емкостей (ПДОЕ), представленные в табл. 1.

Таблица 1

Значения ДОЕ и ПДОЕ полученных сорбентов
при извлечении цезия из различных растворов

| Сорбент | Исследуемые растворы | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 0,1 моль/л $NaNO_3$ | | Морская вода | |
| | ДОЕ, мг/г | ПДОЕ, мг/г | ДОЕ, мг/г | ПДОЕ, мг/г |
| CoFeFC-PAN | 3,67 | 26,9 | 2,94 | 23,2 |
| CoMnFC-PAN | 2,64 | 23,1 | 1,10 | 15,5 |
| FeMnFC-PAN | 2,13 | 19,9 | 1,84 | 19,1 |

Показано, что полученный сорбент CoFeFC-PAN не уступает известному сорбенту Анфеж, ПДОЕ которого составляет 24 мг/г при извлечении цезия из морской воды [2]. Кроме того, за счет волокнистой структуры для полученного сорбента отсутствует гидродинамическое сопротивление, что позволит эффективно использовать его при сорбции цезия из больших объемов природных вод при высокой скорости пропускания.

*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 $^{137}Cs$ recovery from various composition solutions // Applied Sciences. – 2024. – V. 14, No. 2. – P. 627.

2 Bezhin N.A., Dovhyi I.I., Milyutin V.V. et al. Study of sorbents for analysis of radiocesium in seawater samples by one-column method // Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry. – 2021. – V. 327. – P. 1095–1103.

## СЕКЦИЯ 6. ЭФФЕКТЫ ДЕЙСТВИЯ ИОНИЗИРУЮЩЕГО И НЕИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ

# COMPARISON OF NUMERICALLY SIMULATED AND MEASURED DOSE RATE FOR GAMMA IRRADIATION FACILITY

*E. Niyonsenga [1], A.N. Pavlov [2]*
*[1] – Obninsk Institute for Nuclear Power Engineering, Obninsk, Russia*
*[2] – SIC "Kurchatov Institute" VNIIRAE, Obninsk, Russia*

In gamma irradiation facility, in order to ensure the quality of irradiation, the assessment of the absorbed dose is crucial and important. The use of mathematical models could be a solution in situations when there is not enough equipment or human resources to undertake dosimetry in each product that has been exposed to radiation. If validated using dosimetry tests allow for the prediction of the delivered dose in a certain product irradiated in a specific position, and during a specific period of time [1]. For GUR-120 gamma irradiation facility (Obninsk) to compare numerically simulated and measured doses, numerical simulation was carried out with the help of software toolkit MCNP and the results were compared with dose measurements that were made by Fricke dosimeter irradiated under same conditions of the simulation [2-3]. Results are in table 1 and figure 1.

Table 1

Results of numerical simulated and measured absorbed dose at different distances from the source

| Distance, cm | Time, min | Dose rate, kGy/h | | Absorbed dose, Gy | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Fricke | MCNP | Fricke | MCNP |
| 0 | 1 | 10.70 | 10.58 | 178.36 | 176.4 |
| 5 | 4 | 4.85 | 4.94 | 323.44 | 329.5 |
| 10 | 6 | 2.37 | 2.34 | 237.44 | 233.9 |
| 15 | 15 | 1.31 | 1.27 | 328.67 | 316.6 |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 20 | 15 | 0.80 | 0.78 | 198.84 | 194.9 |
| 25 | 20 | 0.57 | 0.55 | 190.41 | 182 |
| 30 | 20 | 0.41 | 0.41 | 135.31 | 137.7 |
| 35 | 30 | 0.33 | 0.30 | 164.82 | 149.1 |
| 40 | 30 | 0.24 | 0.24 | 120.27 | 121.4 |
| 45 | 30 | 0.20 | 0.22 | 99.90 | 108.3 |
| 50 | 30 | 0.15 | 0.18 | 77.05 | 91 |
| 55 | 60 | 0.14 | 0.13 | 141.83 | 132.4 |
| 60 | 60 | 0.12 | 0.12 | 116.64 | 123.4 |

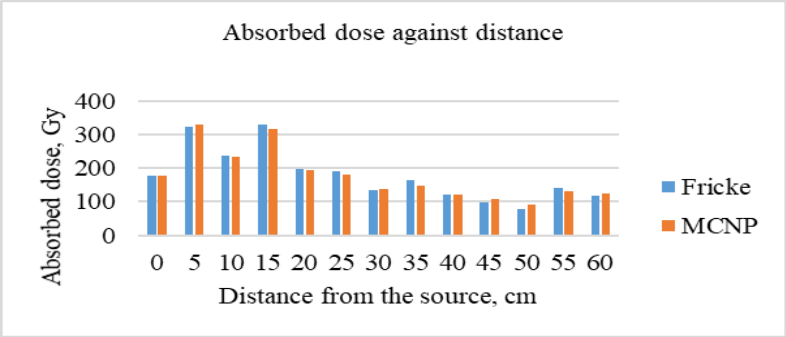



Fig. 1 Absorbed dose at different distances using simulation (and fricke dosimeter

Conclusion: The results comparison shows a good agreement between simulated and measured values, the accuracy of simulated results in comparison with measured ones is in the range 1.1–18.1%.

***References***

1 International Atomic Energy Agency (IAEA). Dosimetry for radiation processing. Vienna, 2002. 168 p.

2 Morgunov V., Madar I., Lytovchenko S.V. et al. Comparison of numerically simulated and measure dose rates for gamma irradiation facility // East European Journal of Physics. 2022. V. 2. P. 118-123. doi.org/10.26565/2312-4334-2022-2-15.

# COMPARATIVE ASSESSMENT OF CHANGES IN THE MORTALITY RATE OF *FRUTICICOLA FRUTICUM MULL.* WITH *β*- AND *γ*-IRRADIATION

*M.B. Hirwa [1], R.R. Shoshina [1], E.E. Cherkasova [1], G.V. Lavrentyeva[3], S.N. Koryakin[2], V.O. Saburov[2]*
*[1] – Obninsk Institute for Nuclear Power Engineering, Obninsk, Russia*
*[2] – MRSC named after A.F. Tsyba - branch of the Federal State Budgetary Institution "NMHC of Radiology", Obninsk, Russia*
*[3] – KSU named after K. E. Tsiolkovsky, Kaluga, Russia*

The ecocentric approach to assess radiation impact based on the concept of “reference animals and plants” proposed by the International Commission on Radiological Protection (ICRP) [1] requires expanding the set of reference species and experimental bases of radiation-induced effects on biota.

Species like mollusks are not yet on the list of reference animals, but have been long used for bioindication of environmental pollution, since they have all the necessary parameters for a test object according to ICRP requirements.

*Fruticicola fruticum* as the object of study is a terrestrial mollusk with a cuboid shell. It belongs to the Gastropods class, family *Camaenidae.* It is found in temperate climate zones like the floodplain forests part of Russia. Sampling was carried out without anthropogenic influence in the Kaluga region of Russia, and sexually mature individuals were selected without visible external damage to the shell. Maintenance and rearing were carried out in the laboratory under favorable conditions. Irradiation with beta and gamma radiation at doses of 10-300 Gy was conducted. Mortality was determined by the following signs: mollusk does not respond to irrigation or spray with water, the soft body is deep in the shell and there is no epiphragm, the soft body becomes formless, the snail emits an unpleasant smell, the soft body is absent in the shell. Figure 1 shows the changes in mortality of *Fruticicola fruticum Mull*. after *γ*-irradiation at doses from 10-300 Gy for 210 days. Figure 2 shows the

changes in mortality of *Fruticicola fruticum Mull* after *β*-irradiation at doses from 10-300 Gy for 150 days [2].

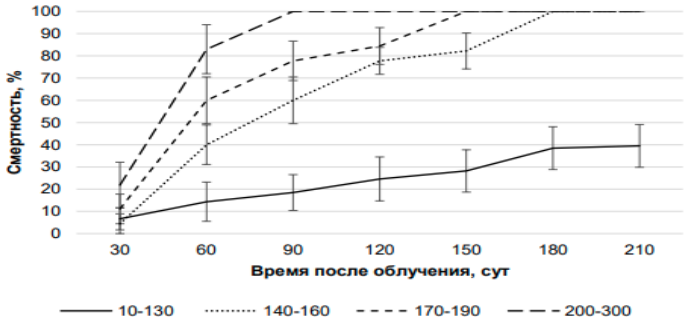



Fig. 1. Dynamics of change in mortality after *γ*-irradiation [2]

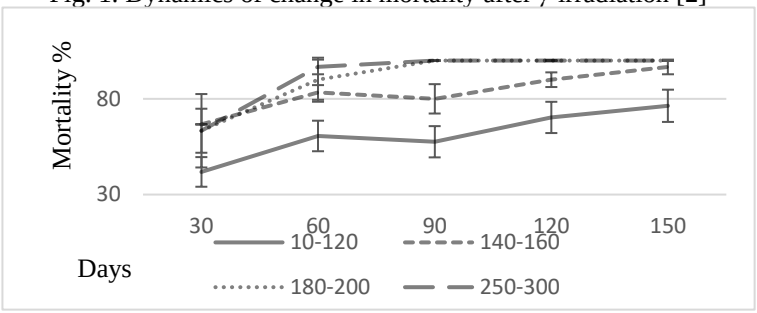



Fig 2. Dynamic of change in mortality after *β*-irradiation

In conclusion, mortality rate increased with an increase in irradiation dose. Within 150 days for dose of 10-140 Gy after both *β*- and *γ*-irradiation, there was no absolute mortality achieved, as for dose 200-300 Gy there is 100% mortality within 90 days.

***References***

1 ICRP Publication 108. Environmental Protection: The Concept and Use of Reference Animals and Plants // Annals of the ICRP. – 2008. – 251 p.

2 Cherkasova E.E., Lavrentyeva G. V., Synzyns B. I. et al. The effect of γ-irradiation on mortality and biomass of the terrestrial mol-

lusk F. fruticum M. // Biology Bulletin. – 2023. – V. 50. – No. 12. – P. 3232-3245.

## THE STUDY OF CHANGES IN THE MORTALITY RATE OF *FRUTICICOLA FRUTICUM MULL.* UNDER $\frac{\beta}{}$ – IRRADIATION

*C. Kwizera[1], R.R. Shoshina[1], E.E. Cherkasova[1], G.V. Lavrentyeva[3], S.N. Koryakin[2], V.O. Saburov[2]*

*[1] – Obninsk Institute for Nuclear Power Engineering, Obninsk, Russia*

*[2] – MRSC named after A.F. Tsyba - branch of the Federal State Budgetary Institution "NMHC of Radiology", Obninsk, Russia*

*[3] – KSU named after K.E. Tsiolkovsky, Kaluga, Russia*

As the nuclear industry grows bigger, assurance of the public and the environment becomes crucial [1, 2], in which biomonitoring is one of the techniques used. The ICRP [1] introduced the concept of Reference Organisms and Plants but the proposed list has been criticized by the scientific community on which new organisms can be added if they aspire to be [4]. Mollusk is one of such organisms due to their excellent bioindication ability [5].

Samples with no physical damage were collected around a natural reserve in Kaluga region and irradiated at the A.F. Tsyb Medical Radiological Research Center in Obninsk on the NOVAC 11 linear electron accelerator installation. Samples of the mollusk *Fruticicola Fruticum* were subjected to beta radiation with doses ranging from 10 to 300 Gy (in increments of 10 Gy to 100 Gy, in increments of 20 Gy to 200 Gy, in increments of 50 Gy to 300 Gy) and the mortality rates were observed for 120 days.

Results of the experiment were as follows. The mollusks were divided into groups. Group 1 consisting of the molluscs irradiated in the range of 10–90 Gy and group 2 irradiated in the range of 100–300 Gy. It is important to note that these sub-groups are in no way scientifically relevant. They are just used as psychological levels for the observer of the experiment. From the mortality data, it can be

observed that there was less lethality in the first group than in the second group on average which is expected as dose and lethality are proportional to each other which doesn't necessarily mean they have a linear dependence. Less than 20% mortality was recorded in the lowest dose of 10 Gy in the first 10 days. A consistent increase in deaths was observed as the dose increased. No significant number of deaths was recorded on average at 10–90 Gy after 40 days which would be due to stabilized biological processes in the organisms. Deaths in the second group, 100-300 Gy were consistent throughout the whole duration of the experiment. Notably, 30 days after irradiation there was on average 50% survival or less in the second group which dropped to less than 20% after 60 days. At the end of the study period of 120 days, there was on average 72% mortality in the 10-90 Gy irradiated group while 97% mortality was observed in the 100-300 Gy irradiated group.

***References***

1 ICRP. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection / ICRP Publication 103 // Ann. ICRP. 2007. V. 37(2–4).

2 Rio Declaration on Environment and Development / United Nations "Conference on Environment and Development", New York, 992.

3 Cuculovic A., Cuculovic R., Cvetic-Antic T., Veselinovic D. Mosses as biomonitors for radioactivity following the Chernobyl accident // Archives of Biological Sciences. 2011. V. 63. No. 4. P. 1117–1125.

4 Trofimova L.A., Cherkasova E.E., Lavrentyeva G.V. Influence of gamma irradiation on mortality of two age groups of the terrestrial mollusk *F. Fruticum* // Journal of Physics: Conference Series. 2020. V. 1701 (1).

5 Oehlmann J., Schulte-Oehlmann U. Chapter 17. Molluscs as bioindicators // Trace Metals and Other Contaminants in the Environment. 2003. P. 577–635.

# COMPARATIVE ANALYSIS OF $LD_{50}$ CALCULATION METHODS BASED ON EXPERIMENTAL DATA

*L.K. Tanui, A.A. Udalova, E.E. Cherkasova, R.R. Shoshina*
*Obninsk Institute for Nuclear Power Engineering, Obninsk, Russia*

One of the biggest issues facing the world right now is environmental pollution. Naturally occurring biological indicators are frequently employed to evaluate a particular ecosystem and identify both positive and negative changes.

The study uses graphical method to analyse the death rate in irradiated mollusks, and Probit analysis to establish terrestrial mollusk $LD_{50}$. The primary study questions are whether $LD_{50}$ calculation methods work for terrestrial mollusks. The aim of the work was to calculate $LD_{50}$ for terrestrial mollusks using least square method and graphical method based on Probit analysis using dataset obtained after irradiation of mollusks for a period of approximately 90 days.

Terrestrial mollusks are integral to ecosystems, contributing to nutrient cycling and soil structure and serving as indicators of environmental health [1].

Recognizing the toxicity thresholds for these organisms is crucial for assessing the impacts of contaminants on ecosystems [2]. The object investigated was *F. fruticum* mollusks.

The $LD_{50}$ point is used to estimate the potential damage of a substance to living organisms. It is critical in ecological hazard assessment to determine the potential chance of chemical exposure to different species and ecosystems [3].

$LD_{50}$ was computed for 50 days after irradiation and observation of mollusks. In order to record the delayed death below is a comparison of $LD_{50}$ within 50 days after irradiation.

Semi lethal dose $LD_{50}$ was obtained using Probit analysis based on graphical method and calculation method (Table 1).

Table 1

Results of $LD_{50}$ estimation with two methods

| | $LD_{50}$, Gy | | | |
|---|---|---|---|---|
| Duration of observation after exposure, days | 20 | 30 | 40 | 50 |
| Graphical method | 1041837 | 1415 | 85 | 138 |
| Calculation method | 205273 | 1628 | 27 | 63 |

There is large difference between the estimates obtained by two methods. Computing $LD_{50}$ using calculation by Least square method shows a more accurate results compared to calculation by graphical method. The main disadvantage of the graphical method for calculating $LD_{50/50}$ is that it is done directly visually; thus, for a more accurate calculation of $LD_{50/50}$, other methods namely, calculation methods must be used.

***References***

1 Poppe G.T., Tagaro S.P., Poppe P. The Conchological Albums - Terrestrial Molluscs. ConchBooks, 2023. V. 13. Clausiliidae (1).

2 Осипова Е.М., Данукалова Г.А. Первые сведения о субфоссильных наземных и пресноводных моллюсках памятников природы Торатау, Куштау и Юрактау // Геологический вестник. 2023. No. 2. P. 167-181.

3 Morris-Schaffer K., McCoy M.J. A review of the $LD_{50}$ and its current role in hazard communication // ACS Chemical Health & Safety. 2021. V. 28(1). P. 25-33.

## ОЦЕНКА МАКСИМАЛЬНОГО ВКЛАДА БАЗОВЫХ СТАНЦИЙ СТАНДАРТА LTE В ОКРУЖАЮЩУЮ ЭЛЕКТРОМАГНИТНУЮ ОБСТАНОВКУ

*О.В. Белая, А.В. Митрюшина*

*ФГБНУ «Научно-исследовательский институт медицины труда имени академика Н.Ф. Измерова», г. Москва, Россия*

В условиях непрерывного развития беспроводных технологий базовые станции сотовой связи (БС) становятся основными

антропогенными источниками электромагнитных полей радиочастотного диапазона (ЭМП) в окружающей среде и характеризуются значительной временной вариабельностью уровней ЭМП, зависящих от степени загрузки сети и объема передаваемых данных абонентам [1]. Сложная временная динамика электромагнитной обстановки накладывает ограничения на условия проведения гигиенической оценки, целью которой является определение наихудших (максимальных) уровней ЭМП в окружающей среде. В отношении БС, в электромагнитном сигнале которых присутствуют постоянные компоненты, не зависящие от загрузки БС, современные селективные методы измерений позволяют провести оценку максимально возможных уровней в реальных условиях эксплуатации.

Цель работы: сравнительная оценка уровней ЭМП, создаваемых БС стандарта LTE, с применением широкополосных и селективных методов измерений.

Оценка уровней ЭМП, создаваемых антенной БС, работающей по стандарту LTE 2600 с центральной частотой 2665 МГц и шириной канала 10 МГц, проводилась в лабораторных условиях при тестовом режиме эксплуатации БС, моделирующем полную загрузку при максимальной интенсивности трафика передачи данных.

Для инструментальной оценки уровней ЭМП был использован широкополосный измеритель параметров электромагнитного поля Narda NBM-550 (Narda Safety Test Solutions GmbH, Германия) с антенной в диапазоне частот 100 кГц – 6 ГГц и селективный измеритель электромагнитных полей Narda SRM-3006 (Narda Safety Test Solutions GmbH, Германия) с антенной в диапазоне частот 27 МГц – 3 ГГц и опцией демодуляции LTE.

Инструментальная оценка включала широкополосные измерения общего уровня плотности потока энергии (ППЭ), частотно-селективные измерения ППЭ в радиоканале стандарта LTE шириной 10 МГц и кодо-селективные измерения ППЭ опорного сигнала RS, которые проводились в пяти точках на расстояниях 0,2 – 3 м от центра антенны БС, данные регистрировались в течение 1 минуты. Для оценки максимального уровня ППЭ, создаваемого БС при полной загрузке базовой станции, результаты

кодо-селективных измерений были пересчитаны с учетом коэффициента экстраполяции К, равного 600 в соответствии с шириной радиоканала LTE 10 МГц [2].

При сопоставлении результатов различных типов измерений ЭМП было получено, что на различных расстояниях от антенны БС уровни ППЭ, полученные с применением широкополосных измерений, превышали в 2–5 раз уровни ППЭ, полученные в ходе селективных измерений. При этом расхождение результатов оценок максимальных уровней ППЭ между частотно-селективными и кодо-селективными измерениями находилось в диапазоне 0,77–12,28% в зависимости от точки измерения. Результаты лабораторных исследований уровней ЭМП вблизи антенны БС, работающей в тестовом режиме, показали возможность оценки максимальных уровней ППЭ на основе кодо-селективных измерений, что может быть использовано как альтернативный метод инструментального контроля электромагнитной обстановки.

***Литература***

1 Franci D., Coltellacci S., Grillo E. et al. Experimental procedure for fifth generation (5G) electromagnetic field (EFM) measurement and maximum power extrapolation for human exposure assesment // Environments. 2020. V. 7, N 3. 22.

2 Wuschek M. Measuring RF. Electromagnetic Fields at Mobile Communications Base Station and Broadcast Transmitter Sites. Pfullingen: Narda Safety Test Solutions GmbH, 2019. 239 p.

# КРОСС-ВЕРИФИКАЦИЯ КОДА GEANT4 МОДЕЛИРОВАНИЯ ОБЛУЧЕНИЯ ГАММА-КВАНТАМИ ОБЪЕКТОВ ПРИ РАДИАЦИОННОМ ЗАГРЯЗНЕНИИ

*И.М. Губайдуллин, В.В. Колесов*
*Обнинский институт атомной энергетики – филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», г. Обнинск, Россия*

Работа посвящена сравнению воздействия облучения на референсные модели (объектов оленя и крысы) при гипотетическом радиационном загрязнении, приведенные в работе [1]. Расчеты проводились с использованием фреймворка Geant4 [2], разработанного в CERN. Произведен расчет поглощенной дозы объектами в зависимости от энергии фотонов. На текущий момент в справочной базе приведены данные по воздействию фотонного излучения не для всех животных. Поставлена задача - верифицировать настоящую модель по известным данным, чтобы в перспективе дополнить базу другими объектами.

Задан моноэнергетический изотропный источник гамма квантов, который представляет собой гамма-активный образец. Источник представляет собой параллелепипед объемом 10,816 $м^3$, находящийся в бесконечно большом пространстве, заполненнjм воздухом. Облучаемые модели (олень и крыса) задаются эллипсоидами объемом 0,468 $м^3$ и 0,0006 $м^3$. Плотность материала мишени 0,523504 $г/см^3$ и 0,516 $г/см^3$. Состав мишени: $H_2O$ – 75%, C – 22%, N – 3%. Распределение запускаемых квантов происходит равномерно по времени моделируемого мира.

На рис. 1-2 приведено сравнение полученной дозы (мкГр/сут) с помощью фреймворка Geant4 с данными международной комиссии по радиационной защите (МКРЗ).

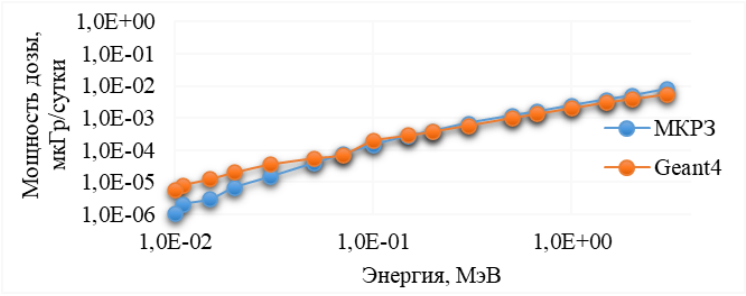



Рис. 1. Зависимость поглощенной дозы внешнего облучения от энергии для оленя

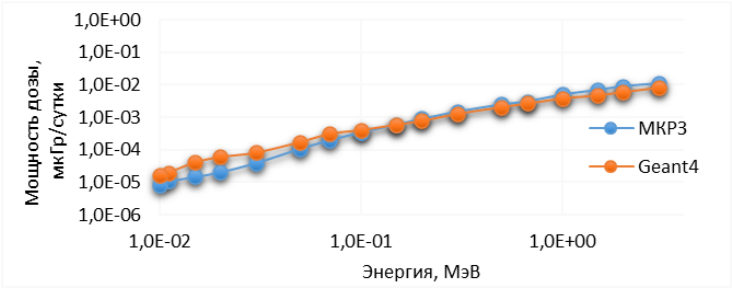



Рис. 2. Зависимость поглощенной дозы внешнего облучения от энергии для крысы

По результатам очевидно, что при энергиях ниже 0,1 МэВ значения имеют значительные отклонения от референсных данных. Предположительно, необходимо использовать уточненную библиотеку ядерных данных взаимодействия низкоэнергетических гамма квантов с веществом.

***Литература***

1 Environmental Protection - the Concept and Use of Reference Animals and Plants. ICRP Publication 108 // Ann. ICRP. 2008. V. 38 (4-6).

2 Geant4 User's Guide Book for Application Developers – 2021. – 477 p.

# ОТВЕТНАЯ РЕАКЦИЯ ЯЧМЕНЯ ПРИ СОЧЕТАННОМ ОСТРОМ УФ (А+В) ОБЛУЧЕНИИ В РАЗНЫХ ФАЗАХ ОРГАНОГЕНЕНЗА

*О.А. Гусева, П.Н. Цыгвинцев*
*НИЦ «Курчатовский институт» ВНИИРАЭ, г. Обнинск, Россия*

Исследования реакции вегетирующих растений на острое УФ облучение на разных этапах органогенеза необходимы для получения направленных изменений морфологического характера в зависимости от срока облучения [1]. Была предпринята попытка определить морфологическую реакцию ячменя при действии острого УФ-А и УФ-В облучения в разных фазах онтогенеза.

В первом вегетационном эксперименте (2012 г.) облучение ячменя сорта «Владимир» проводили на стадиях органогенеза Z13, Z25, Z34 и Z43 согласно [2]. В каждом варианте, включая контроль, были использованы 6 повторностей. Режим облучения: однократное сочетанное УФ (А+В) излучение, в течение 5 часов, при дозах УФ-А и УФ-В по 18 кДж/м$^2$. Во втором вегетационном эксперименте облучение ячменя того же сорта проводили на стадиях Z13, Z25, Z34, Z43 и Z53 согласно [2]. Повторность трехкратная. Режим облучения: острое сочетанное УФ (А+В) облучение при дозах УФ-А и УФ-В 35 и 10 кДж/м$^2$, соответственно, в течение 5 часов.

Результаты первого эксперимента показали снижение показателя продуктивных стеблей ячменя при облучении на этапах Z31 и Z34 в среднем на 40% (табл. 1). Облучение на этапах Z21, Z31 и Z45 приводило к снижению озерненности колоса главного стебля в среднем на 29% по отношению к контролю. На всех вариантах облучения наблюдалось снижение по массе соломы в среднем на 40%.

Результаты второго вегетационного эксперимента показали уменьшение содержания МДА на 26% ($p < 0,05$) после облучения на этапе Z13. При этом на этапе Z25 облучение УФ (А+В) способствовало активизации процесса ПОЛ в среднем в 2 раза ($p < 0,01$). Облучение на стадии Z34 способствовало увеличению

содержания МДА в 2 раза ($p < 0,001$). На этапах Z43 и Z52 применение сочетанного УФ вызвало снижение содержания МДА в среднем на 25% ($p < 0,01$). Воздействие УФ (А+В) радиации увеличило содержание флавоноидов в среднем в 1,5 раза ($p < 0,01$). Действие УФ облучения на этапах Z13 и Z25 способствовало увеличению урожая зерна в среднем на 42% ($p < 0,05$), а в генеративный период развития – в среднем на 22%. Применение сочетанного действия УФ (А+В) излучения на этапах Z25 и Z34 стимулировало развитие продуктивной кустистости в течение всей вегетации в среднем на 22% (табл. 1). Наблюдаемое увеличение продуктивной кустистости привело к увеличению урожая зерна с боковых стеблей в среднем в 2 раза ($p < 0,001$), что обусловило общую прибавку массы зерна с растения в среднем в 1,3 раза ($p < 0,05$).

Таким образом, последствия острого сочетанного УФ-облучения ячменя могут иметь значительные различия в зависимости от соотношения доз и спектров УФ-А и УФ-В излучений.

Таблица 1

Число продуктивных стеблей, % от контроля

| Опыт 1 | УФ (А+В), 36 кДж/м$^2$ | Опыт 2 | УФ (А+В), 45 кДж/м$^2$ |
|---|---|---|---|
| К | 100±2,1 | К | 100±0,11 |
| 13 этап | 77,4±6,5 | 13 этап | 120±0,13 |
| 25 этап | 61,2±10,5 | 25 этап | 129±0,15 |
| 34 этап | 57,5±2,2 | 34 этап | 115±0,12 |
| 43 этап | 67,1±8,3 | 43 этап | 102±0,11 |
| | | 52 этап | 122±0,14 |

***Литература***

1 Батыгин Н.Ф. Онтогенез высших растений. М.: Агропромиздат, 1986. 100 с.

2 Zadoks J.C., Chang T.T., Konzak C.F. A decimal code for the growth stages of cereals // Weed Res. 1974. V. 14(6). P. 415-421. DOI 10.1111/j.1365-3180.1974.tb01084.x.

## ФИЗИОЛОГО-ГИГИЕНИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОГО ПЕРСОНАЛА ПРИ РАБОТЕ ВБЛИЗИ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ 750 КВ С УЧЕТОМ ТЕРМИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ СРЕДЫ

*А.И. Дремин[1], Е.Н. Макарова-Землянская[2]*
*[1] – ФГБНУ «Научно-исследовательский институт медицины труда имени академика Н.Ф. Измерова», г. Москва, Россия*
*[2] – ФГАОУВО «Российский университет транспорта», г. Москва, Россия*

В течение рабочей смены электротехнический персонал, занимающийся обслуживанием, ремонтом, обходом воздушных линий электропередачи подвергается воздействию ведущих вредных физических факторов, таких как, электрическое (ЭП) и магнитное (МП) поля промышленной частоты (ПЧ). Однако в теплое время года работники подвергаются сочетанному воздействию основного производственного фактора и тепловой нагрузке среды, что может оказывать потенциально негативное влияние на здоровье.

Обеспечение электромагнитной безопасности персонала достигается путем соблюдения предельно допустимого уровня (ПДУ) ЭП на рабочем месте, который для всей рабочей смены составляет 5 кВ/м. При уровнях ЭП, превышающих 25 кВ/м, электротехнический персонал обязан использовать средства индивидуальной защиты (СИЗ), которые при использовании на открытой территории для снижения негативного действия ведущего вредного фактора в теплое время года вносят дополнительную термическую нагрузку на персонал, которую необходимо учитывать при проведении работ.

Целью работы являлась гигиеническая оценка уровней ЭП ПЧ на рабочих местах электрического персонала при обслуживании высоковольтных линий электропередачи с учетом термической нагрузки в теплое время года.

Оценка уровней ЭП ПЧ проводилась в санитарно-защитной зоне прохождения воздушной линии 750 кВ. Оценка теплового состояния человека проводилась по средневзвешенной температуре (СВТК) и влажности кожи (СВВК) в процессе выполнения работы и термической нагрузки среды, а также рассчитывалось изменение теплосодержания.

Результаты гигиенической оценки уровней ЭП ПЧ на рабочих местах персонала показали превышение ПДУ ЭП ПЧ для всей рабочей смены более чем в 2 раза (10,2 кВ/м).

Среднее значение THC-индекса (26,3±1,5 °С) за время проведения исследований превышало допустимое значение при выполнении работ категории IIа на 1,2 °С.

Таблица 1

Медианные показатели функционального состояния организма добровольцев

| Показатель, единицы измерения | Периоды исследования | | |
|---|---|---|---|
| | Фон | Работа | Восстановление |
| Изменение теплосодержания, кДж/кг | 0,66 [0,58:1,49] | 2,79 [2,59:3,22] | 1,51 [1,12:1,89] |
| Средневзвешенная температура кожи, °С | 34,23 [33,97:34,76] | 34,74 [34,20:35,11] | 34,14 [34,01:34,37] |
| Средневзвешенная влажность кожи, % | 31,64 [30,59:41,26] | 60,51 [54,78:66,99] | 66,93 [60,46:67,67] |

В результате анализа полученных данных за периоды выполнения работы и последующего восстановления значительно увеличились такие показатели, как СВВК – больше чем в 2 раза, а также изменение теплосодержания – в 3-4 раза.

На основании гигиенической оценки ЭП ПЧ на рабочих местах персонала допустимое время работ не должно превышать 2,9 часа без использования СИЗ.

При оценке теплового состояния добровольцев изменение теплосодержания и повышение средневзвешенной температуры кожи может быть связано с компенсаторным ответом организма человека на термическую нагрузку из-за низкой воздухо- и влагопроницаемости комплекта в процессе работ с использованием СИЗ.

## РЕКОМБИНАЦИОННЫЕ ЭФФЕКТЫ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ МИЛЛИМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА ДЛИН ВОЛН У *DROSOPHILA MELANOGASTER*

*Н.В. Ергольская*
*КГУ им. К.Э. Циолковского, г. Калуга, Россия*

В процессе эволюции жизнь на Земле развивалась в условиях воздействия определенного природного электромагнитного фона, включающего электромагнитное излучение (ЭМИ) миллиметрового диапазона длин волн (ММДВ) [1]. В XX веке возникли новые антропогенные источники ЭМИ ММДВ, влияющие на гомеостаз живых систем различных уровней организации, затрагивая функционирование наследственных структур [2]. Целью настоящей работы явилось исследование ЭМИ ММДВ на уровне мейотической рекомбинации как проявления генетического действия различных факторов.

Воздействию ЭМИ подвергали гетерозигот *Drosophila melanogaster* (+++/*bcnvg)* на стадии куколки. Обработку объекта осуществляли с помощью ЭМИ ММДВ с частотой выходного сигнала от 40 до 50 ГГц в течение 1, 10 или 30 мин.

В результате облучения гетерозигот продолжительностью 1 мин изменения частоты кроссинговера наблюдались лишь в некоторых случаях при использовании определенных значений частоты выходного сигнала ЭМИ. Так, в интервале *b-cn* в первые 4 сут размножения было отмечено достоверное снижение

частоты рекомбинационных событий в результате применения ЭМИ ММДВ с частотой 41, 42, 43 и 47 ГГц. В следующие 4 сут размножения в районе *b-cn* наблюдалась активация рекомбинационного процесса в случаях применения ЭМИ ММДВ с частотой 45, 46 и 47 ГГц. В интервале *cn-vg* использование ЭМИ ММДВ в диапазоне 40-50 ГГц не привело к достоверным изменениям частоты рекомбинационных событий.

В случаях облучения гетерозигот продолжительностью 10 мин ЭМИ ММДВ оказывало рекомбиногенное действие при использовании почти всех частот указанного диапазона. Так, в интервале *b-cn* статистически значимое повышение уровня рекомбинации наблюдалось в течение всего периода размножения при воздействии ЭМИ с частотой выходного сигнала 40, 43, 44, 45, 46, 48 и 49 ГГц. В интервале *cn-vg* наблюдалась активация рекомбинационного процесса на 5-8 сутки размножения в случаях применения ЭМИ с частотой 41, 42, 44, 48, 49 и 50 ГГц. По данным всего периода исследования достоверное повышение частоты кроссинговера было отмечено в результате воздействия ЭМИ с частотой 42, 44, 46, 48 и 49 ГГц.

При облучении объекта в течение 30 мин в ряде случаев наблюдалось антирекомбиногенное действие ЭМИ ММДВ. В интервале *b-cn* ЭМИ оказалось эффективным только при использовании частоты 50 ГГц, вызвав снижение частоты рекомбинации в первые 4 сут размножения. В интервале *cn-vg* в указанный период антирекомбиногенное действие ЭМИ ММДВ наблюдалось при использовании частоты 47 ГГц. На 5-8 сут размножения было обнаружено повышение частоты перекреста в случаях применения частот 46, 47 и 50 ГГц. По данным всего периода размножения ЭМИ ММДВ вызвало статистически значимое повышение частоты кроссинговера при использовании частоты 40 ГГц, тогда как при воздействии частоты 44 ГГц наблюдалось снижение уровня рекомбинации.

Выявленные особенности действия ЭМИ ММДВ свидетельствуют об их прямом или косвенном влиянии на процессы, обеспечивающие оптимальный уровень наследственной изменчивости, и обусловливают необходимость исследования отдаленных последствий применяемого ЭМ воздействия.

***Литература***

1 Семёнов С.Ю., Астафуров В.И., Маренный А.М. О физической природе и биологическом действии природного электромагнитного излучения в области миллиметровых длин волн // Актуальные вопросы биологической физики и химии. – 2017. – Т. 2, №1. – С. 80–84.

2 Брилль Г.Е., Панина Н.П., Невская Е.Ю. Действие электромагнитного излучения миллиметрового диапазона на политенные хромосомы *Chironomus plumosus* // Миллиметровые волны в биологии и медицине. – 2000. – № 1. – С. 3–6.

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ УСЛОВИЙ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ОБСТАНОВКИ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

*А.Е. Калачева*

*ФГБНУ «Научно-исследовательский институт медицины труда имени академика Н.Ф. Измерова», г. Москва, Россия*

Электрические (ЭП) и магнитные (МП) поля промышленной частоты (ПЧ) вблизи установок, генерирующих, передающих и использующих электрическую энергию (воздушные (ВЛ) и кабельные линии (КЛ) электропередачи, внутридомовые трансформаторные и распределительные подстанции, электробытовые приборы и др.) являются одним из самых распространенных неблагоприятных факторов, воздействующим на здоровье работающих и население.

В настоящее время электромагнитная безопасность вблизи линий электропередачи обеспечивается принципом защиты расстоянием путем создания санитарно-защитных зон (СЗЗ), но только для ВЛ напряжением от 330 кВ и выше [1]. Стоит отметить, что требования по организации СЗЗ существуют исключительно для ЭП ПЧ, в то время как в 2002 г. Международным агентством по исследованию рака МП ПЧ было признано потенциальным канцерогеном по лейкозам для детей [2]. Также уровни МП ПЧ ВЛ 110 и 220 кВ, для которых регламентируются только охранные зоны, в местах проживания населения могут

быть сопоставимы с уровнями от ВЛ больших классов напряжения. Однако проведение инженерно-технических мероприятий, позволяющих снизить воздействие ЭП и МП ПЧ – наиболее компромиссная мера к обеспечению электромагнитной безопасности.

Цель работы – разработка математической модели электромагнитной обстановки, создаваемой ВЛ, для оценки эффективности новых конструктивных решений по снижению воздействия ЭП и МП ПЧ на человека.

Анализ эффективности использования существующих и перспективных технических решений для снижения воздействия ЭП и МП ПЧ предлагается проводить путем расчетов с применением математических моделей. Таким образом, можно оценить эффективность защитных конструкций с применением пассивных, активных и резонансных тросовых экранов, снижающих уровни ЭП, пассивных, активных и резонансных направленных контурных экранов, снижающих уровни МП, прототипы компактных двухцепных коаксиальных и однорадиусных ВЛ, которые полностью компенсируют ЭП и МП ПЧ, воздействующих на человека и окружающую среду [3].

В качестве инструмента оценки используется среда для трехмерного моделирования SEMCADX V 19.2.2.5984 (SPEAG AG, Швейцария) на основе метода конечных разностей в частотной области. Верификация моделирования производится путем сравнения данных с результатами натурных измерений ВЛ того же класса напряжения. Уровни ЭП и МП ПЧ сопоставляются в точках по методике «матричной оценки», разработанной в ФГБНУ «НИИ МТ», с учетом расположения фаз и границ санитарных разрывов ВЛ.

Эмпирическая модель условий электромагнитной обстановки помогает оценивать целесообразность применения различных конструктивных решений, связанных с воздействием ЭП и МП ПЧ на работающих и население, находящихся вблизи прохождения ВЛ.

***Литература***

1 СанПиН 2.2.1./2.1.1.1200–03 «Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов» / Информационно-справочная система «КонсультантПлюс».

2 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.

3 Мисриханов М.Ш., Рубцова Н.Б., Токарский А.Ю. Обеспечение электромагнитной безопасности электросетевых объектов – М.: Наука, 2010. – 870 с.

## ВЛИЯНИЕ МОЩНОСТИ ДОЗЫ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА РАДИОПРОТЕКТОРНЫЙ ЭФФЕКТ ЭКЗОГЕННОГО ПЕРОКСИРЕДОКСИНА 6 ПРИ ОДНОКРАТНОМ ТОТАЛЬНОМ ОБЛУЧЕНИИ МЫШЕЙ

*Е.Е. Карманова[1], Р.Г. Гончаров[1], В.О. Кобялко[2], А.Н. Павлов[2], В.И. Брусков[3], М.Г. Шарапов[1]*

*[1] – Институт биофизики клетки ФИЦ ПНЦБИ РАН, г. Пущино, Россия*

*[2] – НИЦ «Курчатовский институт» - ВНИИРАЭ, г. Обнинск, Россия*

*[3] –Институт теоретической и экспериментальной биофизики РАН, г. Пущино, Россия*

Поиск эффективных и безопасных радиомодулирующих агентов остается актуальной проблемой в рамках лучевой терапии и диагностики. Пероксиредоксин 6 (Prx6) является представителем семейства тиол-зависимых пероксидаз (Prx1–6). Ранее нами были показаны радиопротекторные свойства экзогенного Prx6. В обзоре [1] мы обсудили потенциал Prx6 как радиомодулятора, в т.ч. и при лучевой терапии. Однако при исследовании радиомодулирующих свойств Prx6 фактор мощности дозы не был исследован, тогда как в контексте лучевой терапии этот параметр может оказаться критическим. Поэтому целью этой ра-

боты было изучение влияния различной мощности дозы на радиопротекторный эффект экзогенного Prx6.

Исследование проводили стандартным тестом на 30-ти суточную выживаемость. Самцам мышей Kv:SHK за 15 мин до облучения внутривенно вводили раствор Prx6 в объеме 0,1 мл из расчета 20 мкг/г белка на мышь. Тотальное облучение животных в дозах 7 и 10 Гр осуществлялось на рентгеновской установке РУТ-15 (1 Гр/мин, расстояние 0,375 м, 20 мА, 200 кВ) и гамма-установке ГУР-120 ($^{60}$Co, 0,125 Гр/мин). В итоге разница в мощности дозы и времени облучения составила 8 раз.

Результаты эксперимента представлены в табл. 1. Доза 7 Гр при рентгеновском облучении 1 Гр/мин являлась минимальной абсолютно летальной ($LD_{100/30}$), однако сравнение радиопротекторного эффекта Prx6 было затруднено из-за его высокой эффективности. Поэтому по результатам предыдущих работ [2] была выбрана доза 10 Гр, т.к. при ней наблюдается ненулевая смертность при γ-облучении, но при этом она еще не является $LD_{100/30}$ в случае рентгеновского облучения.

Таблица 1

Влияние пероксиредоксина-6 (Prx6) на выживаемость и среднюю продолжительность жизни (СПЖ) мышей при тотальном рентгеновском облучения (X-ray) или γ-облучении в дозе 7 и 10 Гр.

| Группа | СПЖ, сут | Выживаемость, % |
|---|---|---|
| Контроль 0 Гр | 30 | 100 |
| Контроль 7 Гр X-ray | 7,7 | 0 |
| Контроль 7 Гр γ | 25,4 | 70 |
| Prx6 20 мкг/г + 7 Гр X-ray | 27,9 | 90 |
| Prx6 20 мкг/г + 7 Гр γ | 30 | 100 |
| Контроль 10 Гр γ | 14,1 | 0 |
| Prx6 20 мкг/г + 10 Гр X-ray | 7,2 | 10 |
| Prx6 20 мкг/г + 10 Гр γ | 28,2 | 80 |

Таким образом, снижение мощности дозы (с пропорциональным увеличением времени облучения) приводит к снижению

степени летальности одной и той же дозы и соответствующему повышению эффективности радиозащитного действия Prx6.

*Работа выполнена при поддержке гранта Российского научного фонда №24-24-00070.*

***Литература***

1 Sharapov M. G., Novoselov V. I., Gudkov S. V. Radioprotective role of peroxiredoxin 6 //Antioxidants. – 2019. – V. 8. – No. 1. – P. 15.

2 Sharapov M. G. et al. The role of peroxiredoxin 6 in neutralization of X-ray mediated oxidative stress: effects on gene expression, preservation of radiosensitive tissues and postradiation survival of animals // Free Radical Res. – 2017. – V. 51. – No. 2. – P. 148-166.

## ИДЕНТИФИКАЦИЯ РАДИАЦИОННО-ИНДУЦИРОВАННЫХ ОДНОНУКЛЕОТИДНЫХ ПОЛИМОРФИЗМОВ В ГЕНОМАХ РАСТЕНИЙ *ARABIDOPSIS THALIANA*, ПРОИЗРАСТАВШИХ НА ТЕРРИТОРИЯХ, ЗАГРЯЗНЕННЫХ В РЕЗУЛЬТАТЕ АВАРИИ НА ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС

*М.С. Подлуцкий, В.С. Воронежская, Е.М. Шестерикова, Я.А. Блинова, А.В. Подлуцкая, Е.А. Казакова*
*НИЦ «Курчатовский институт» - ВНИИРАЭ, г. Обнинск, Россия*

Однонуклеотидные полиморфизмы (SNP) являются наиболее распространенными видами генетических вариаций, способных влиять на регуляцию экспрессии генов, функциональные свойства белков, а также фенотипические особенности организмов.

Учитывая данные о том, что хроническое радиационное воздействие может изменять генетическую структуру в популяциях растений *Pinus sylvestris* [1, 2], была проведена идентификация радиационно-индуцированных SNP у потомков хронически облученных растений *A. thaliana*, произраставших на двух экспериментальных участках, расположенных на территориях, по-

страдавших в результате аварии на ЧАЭС и характеризующихся различными уровнями радиоактивного загрязнения (табл. 1).

Таблица 1

Уровни радиоактивного загрязнения экспериментальных участков

| | Плотность потока | | Удельная активность | |
|---|---|---|---|---|
| | α-частиц | β-частиц | $^{137}$Cs в почве | $^{90}$Sr в почве |
| | частиц/(мин*см2) | | Бк/кг | |
| Бабчин | 1.2 | 1.2 | 126 ± 5 | 10 ± 2 |
| Масаны | 25.3 | 21.1 | 11510 ± 294 | 234 ± 35 |

В экспериментах использовали семена *A. thaliana* 6-ти лабораторных линий второго поколения, показавших в предварительных экспериментах высокие показатели всхожести (> 80%).

Отобранные семена *A. thaliana* стратифицировали и высаживали на питательную среду Мурасиге-Скуга и проращивали в климатической камере в течение 13-ти дней в режиме длинного светового дня для последующего выделения геномной ДНК с использованием набора реагентов «СОРБ-ГМО-Б». Полученные образцы ДНК передавали в компанию ЗАО «Евроген» для последующей подготовки библиотек и выполнения секвенирования в 6-ти повторностях на платформе Illumina NovaSeq 6000.

Идентификацию радиационно-индуцированных SNP в геномах растений *A. thaliana* проводили в два этапа, используя Genome Analysis Toolkit. На первом этапе производили перекалибровку показателей качества для промаркированных данных картирования. На втором этапе выполняли коллинг и идентификацию SNP, а также фильтрацию полученных вариантов.

Аннотацию полученных результатов проводили с использованием программы SnpEff, оставляя только те варианты, которые не были представлены в каталоге генетической изменчивости растений «1001Genomes» для того, чтобы выявить SNP, которые могут быть связаны с ответом на хроническое облучение.

В результате проведенных биоинформатических вычислений, для потомков растений *A. thaliana*, произраставших на участках Бабчин и Масаны, были обнаружены 23.477 и 33.471 неаннотированных SNP, соответственно. 9.081 SNP были общим для двух

участков и были исключены из дальнейшего анализа, поскольку, могут представлять пример географического полиморфизма.

Таким образом, 14.396 SNP с участка Бабчин и 24.390 SNP с участка Масаны представляют особый интерес для дальнейшего изучения радиационно-индуцированного полиморфизма.

***Литература***

1 Volkova P., Geras'kin S., Kazakova E. Radiation exposure in the remote period after the Chernobyl accident caused oxidative stress and genetic effects in Scots pine population // Scientific Reports. – 2017. – V. 7, 43009 – P. 1-9.

2 Volkova P., Geras'kin S., Horemans N., et al. Chronic radiation exposure as an ecological factor: Hypermethylation and genetic differentiation in irradiated Scots pine populations // Environmental Pollution. – 2018. – V. 232 – P. 105-112.

## ИЗУЧЕНИЕ МЕХАНИЗМА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ P53-ЗАВИСИМОГО ЭНХАНСЕРА 75C6 И ГЕНА *XRP1* У ДРОЗОФИЛЫ В ОТВЕТ НА СТИМУЛЯЦИЮ γ-ОБЛУЧЕНИЕМ

*М.К. Попова[1,2], А.В. Конопатов[1], К.Ю. Конова[1], Л.А. Лебедева[1], Ю.В. Шидловский[1,3]*

*[1] – Институт биологии гена РАН, г. Москва, Россия*

*[2] – Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет), г. Долгопрудный, Россия*

*[3] – ГАОУ ВО Первый МГМУ им. И. М. Сеченова Минздрава России, г. Москва, Россия*

Под воздействием γ-облучения активируется белок p53, который связывается в геноме с энхансером p53RE в локусе 75C6. После чего индуцируется экспрессия проапоптотических генов (*reaper*, *hid)*, близлежащих к исследуемому энхансеру, а также гена *Xrp1*. Контакт p53RE с *Xrp1* относят к уникальному примеру супер-дальнего взаимодействия, поскольку *Xrp1* находится от энхансера на другом плече хромосомы более чем в 20 Mb [1].

Архитектурные белки хроматина, такие как CTCF и GAF, могут играть определенную роль в молекулярном механизме контакта p53RE с *Xrp1*. Так, в регуляции дистальных взаимодействий, возможно, принимает участие CTCF, а GAF делает более доступным хроматин [2, 3]. Ввиду этого в работе осуществляется анализ локуса 75C6 энхансера с целью поиска областей, ответственных за формирование исследуемого контакта.

В результате проведения мутагенеза с помощью CRISPR/Cas9 и сайт-специфической рекомбинации были удалены CTCF, GAF и p53-связывающие участки. Затем были получены мутантные линии в гомозиготной форме. Объектом исследования стали эмбрионы *Drosophila melanogaster* 7-8 стадии развития. Измерение расстояния p53RE – *Xrp1* в пространстве ядер осуществлялось в исследуемых линиях до и после γ-облучения в дозе 40 Гр с помощью флуоресцентной гибридизации *in situ*. По полученным данным, после облучения сближение наблюдалось только в дикой линии и в 35 линии (энхансер rescue), но нарушалось у мутантов с делецией областей либо CTCF, либо GAF сайта / делецией CTCF и GAF сайтов / делецией полного p53RE. Соответственно, от этих областей может зависеть функциональность исследуемого энхансера.

Мы изучили связывание факторов CTCF, GAF и p53 в локусе гена *Xrp1* на основании баз данных ChIP-seq. В соответствии с этим, разделили ген *Xrp1* на шесть частей, чтобы найти, какая из областей участвует в формировании изучаемого взаимодействия. Для ответа на этот вопрос были созданы репортерные конструкции с геном *GFP* с каждым полученным фрагментом *Xrp1*. В результате, после γ-облучения мы пока наблюдаем активацию экспрессии *Xrp1* и *GFP* в 1 и 3 фрагменте гена *Xrp1*. Соответственно, эти участки гена-мишени могут быть необходимы для дальнего взаимодействия с p53-зависимым энхансером.

Работа поддержана грантом РНФ проект № 20-14-00201.

***Литература***

1 Link N., Kurtz P., O'Neal M., et al. A p53 enhancer region regulates target genes through chromatin conformations in cis and in trans // Genes & Development. – 2013. – V. 27 (22) – P. 2433-2438.

2 Dehingia B., Milewska M., Janowski M., Pękowska A. CTCF shapes chromatin structure and gene expression in health and disease // EMBO Reports. – 2022. – V. 23 (9) – P. e55146.

3 Gaskill M.M., Gibson T.J., Larson E.D., Harrison M.M. GAF is essential for zygotic genome activation and chromatin accessibility in the early Drosophila embryo // Elife. – 2021. – V. 10 – P. e66668.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ СИТУАЦИИ ОБЛУЧЕНИЯ ТОРСА

*А.А. Сёмкина [1], А.Н. Соловьев[2]*
*[1] – Обнинский институт атомной энергетики – филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», г. Обнинск, Россия*
*[2] – Медицинский радиологический научный центр им. А.Ф. Цыба – филиал ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России, г. Обнинск, Россия*

Для решения практических задач, связанных с экспериментами по облучению объектов излучением, эффективным средством является математическое моделирование процессов переноса и регистрации ионизирующего излучения. Данный метод оказывается полезным при развитии экспериментальных методик, оптимизации параметров излучения. Кроме того, применение моделирования дает возможность снизить количество необходимых экспериментов и позволяет достигнуть существенного снижения затрат.

Целью работы является моделирование ситуации облучения торса.

Моделирование ситуации облучения является важной задачей в области медицинской физики и радиационной терапии. Для проведения подобных расчетов используются специализированные программы и методы. Создание трехмерной анатомической модели торса пациента, полученной из медицинских изображений, таких как компьютерная томография (CT) или магнитно-резонансная томография (MRI). Сегментация органов и определение области, подлежащей облучению (целевой объем) и органов, которые нужно защитить от облучения (органы

риска). Далее идет планирование облучения и моделирование дозного поля [1].

Для моделирования источника излучения используется программа TOPAS MC [2], трехмерная модель торса была взята из стандартных наборов данных.

Далее последует моделирование источника излучения, подборка данных с учетом доз, как в реальной установке. Затем будет проведение расчетов доз для целевого объема и органов риска с использованием математических моделей и алгоритмов.

***Литература***

1 Chetty I.J., Curran B., Cygler Et Al J.E. Планирование фотонной и электронной дистанционной лучевой терапии методом монте-карло // Медицинская физика. – 2012. – №53. – С. 101-116.

2 TOPAS MC – программа для моделирования всех форм лучевой терапии методом Монте-Карло // Сайт «TOPAS Tool for Particle Simulation» [Электронный ресурс] Режим доступа: https://www.topasmc.org/ (дата посещения 20.03.2024)

## ВЛИЯНИЕ ФРАКЦИОНИРОВАННОГО ОБЛУЧЕНИЯ НА АКТИВНОСТЬ КАТАЛАЗЫ В БИОМАССЕ ЦИАНОБАКТЕРИИ СПИРУЛИНЫ *(ARTHROSPIRA PLATENSIS)*

*Ю.К. Симончик, Е.А. Танкевич, Г.А. Леферд*
*Государственное научное учреждение «Институт радиобиологии Национальной академии наук Беларуси», г. Гомель, Республика Беларусь*

Цианобактерии спирулины (*Arthrospira platensis)* могут рассматриваться как биопротектор и биокорректор системного действия. Биологически активные вещества ее биомассы могут повлиять на возможность устранение различных постлучевых нарушений, возникающих во внутренней среде живого организма [1, 2].

Основной гипотезой данных исследований явилось предположение, что фракционированное облучение цианобактерий при ее культивировании может увеличить активность ферментов антиоксидантной защиты.

Была проведена серия экспериментов для изучения влияния фракционированного облучения на активность каталазы, как важнейшего из ферментов антиоксидантной защиты, в клетках цианобактерий *Arthrospira platensis.*

Для облучения использовался рентгеновский аппарат биологического назначения X-Rad 320 (Precision X-rayInc) [3] при мощности дозы 98,8 сГр/мин с фильтром №2 (1,5 мм Al, 0,25 мм Cu, 0,75 мм Sn), расстояние до объекта 50 см. Облучение проводилось равными фракциями в течение 12 дней по 1, 50 и 100 Гр в сутки.

Контрольные и экспериментальные образцы культивировались одновременно и содержались в одинаковых условиях. Эксперимент проводился в трехкратной повторности для экспериментальных и контрольных образцов. Эксперимент с облучением в дозе 1, 50 и 100 Гр проводился 3 раза.

Полученные результаты показали, что активность каталазы в биомассе цианобактерий спирулины снижалась при ее фракционированном облучении с увеличением дозы облучения с 0,012 кГр до 3 кГр (на 30%), что может говорить о негативном влиянии стресса в виде фракционированного облучения на антиоксидантную защитную систему цианобактерий *Arthrospira platensis*.

***Литература***

1 Петряков В.В. Радиозащитные свойства микроводоросли *Spirulina platensis* при радиоактивном облучении крыс // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2016. – № 1 (57). – С. 175–178.

2 Петряков В.В. Сельскохозяйственная радиобиология с основами радиологии. – Самарская государственная сельскохозяйственная академия, 2011. – 355 с.

3 Azimi R. et al. Characterization of an ortho-voltage biological irradiator used for radiobiological research // J. Rad. Res. – 2015. – V. 56. – No. 3. – P. 485–492. doi: 10.1093/jrr/rru129.

## ИЗМЕНЕНИЕ ПУЛА СТВОЛОВЫХ КЛЕТОК РАКА ШЕЙКИ МАТКИ ЛИНИИ SiHa ПОСЛЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ γ-ИЗЛУЧЕНИЯ

*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*

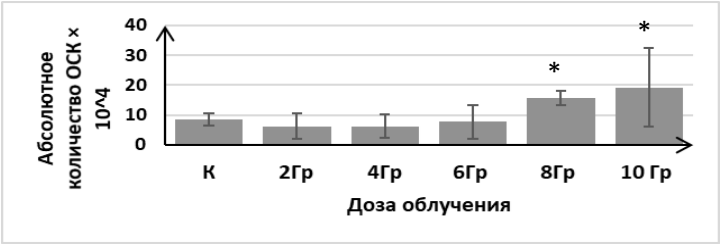
В настоящее время накапливается все больше данных о том, что опухолевые стволовые клетки (ОСК): а) играют ключевую роль в инициации и развитии опухолевого процесса; б) являются более радиорезистентными, чем остальные опухолевые клетки [1]; в) могут приводить к рецидивированию онкологических заболеваний [2]. Поэтому выяснение закономерностей и механизмов формирования пула ОСК после действия ионизирующих излучений представляется актуальной проблемой радиобиологии.

Целью данной работы является изучение абсолютного количества ОСК шейки матки стабильной линии SiHa через 24 и 48 час после γ-облучения в дозах от 2 до 10 Гр *in vitro*.

ОСК идентифицировали с помощью проточной цитометрии по способности исключать флуоресцентный краситель Хёхст 33342 и формировать так называемую боковую популяцию (side population, SP).

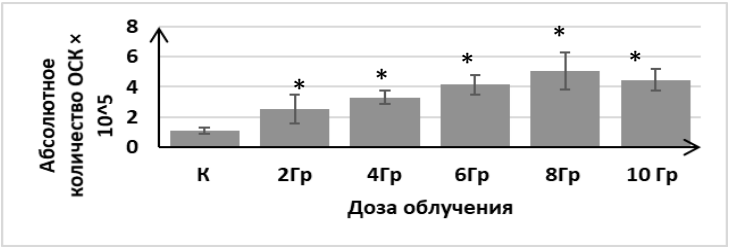
Показано, что абсолютное количество ОСК статистически значимо увеличивается через 24 час после облучения в дозах 8 и 10 Гр по сравнению с контролем (рис.1). Через 48 час наблюдается существенное усиление этого эффекта, заключающееся в значимом повышении количества ОСК при облучении в меньших дозах, начиная с 2 Гр, а также в увеличении этого показателя в 2-3 раза по сравнению с таковым через 24 час после облучения в дозах 8 и 10 Гр (рис.2). При этом, как и следовало ожи-

дать, общее количество опухолевых клеток снижалось в облученных образцах по сравнению с контрольными вследствие цитотоксического и цитостатического действия ионизирующего излучения. К числу возможных причин пострадиационного увеличения пула ОСК относится не только пролиферация этих клеток, сохранивших жизнеспособность после облучения вследствие высокой эффективности репарации повреждений ДНК, антиоксидантной защиты и др. молекулярных особенностей, но и дедифференцировка нестволовых клеток, приводящая к пополнению пула ОСК.




* p < 0,05 по сравнению с контролем

Рис.1. Изменение количества ОСК через 24 ч после γ-облучения




* p < 0,05 по сравнению с контролем

Рис.2. Изменение количества ОСК через 48 ч после γ-облучения

Заключение. Установленные в работе закономерности изменения пула ОСК после воздействия γ-излучения являются основой для разработки в дальнейшем комбинированных методов лечения, направленных на элиминацию и/или повышение радиочувствительности этих клеток.

***Литература***

1 Матчук О.Н. и др. Радиорезистентность опухолевых стволовых клеток – одна из ключевых проблем радиационной онкологии // Research'n Practical Medicine Journal. – 2019. – Т. 6. – №. Спецвыпуск. – С. 189-1.

2 Yin W. et al. Cancer and stem cells // Experimental Biology and Medicine. – 2021. – V. 246. – №. 16. – P. 1791-1801.

## ОЦЕНКА ГЕНОТОКСИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ ХРОНИЧЕСКОГО НИЗКОИНТЕНСИВНОГО ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ И РАДИОАКТИВНОГО СТРОНЦИЯ НА ЭРИТРОЦИТЫ КОСТНОГО МОЗГА МЫШЕЙ

*Н.С. Стрельникова[1], О.М. Розанова[2], Е.Н. Смирнова[2], Т.А. Белякова[2]*

*[1] – ФТЦ ФГБУНФИ им. П.Н. Лебедева РАН, г. Протвино, Россия*

*[2] – ФГБУН ИТЭБ РАН, г. Пущино, Россия*

В настоящее время по-прежнему одной из актуальных проблем радиоэкологии и промышленной медицины остается оценка биологического действия малых доз длительного низкоинтенсивного ионизирующего излучения (НИИ), а также его сочетанного действия с хроническим действием тяжелых металлов.

Целью настоящей работы является исследование дозовой зависимости и возможности индукции радиационного адаптивного ответа (РАО) при сочетанном воздействии НИИ и $^{90}Sr$ в клетках костного мозга мышей *in vivo*.

Облучение мышей линии CBA/lac проводили от источника $^{137}Cs$ (0,17 сГр/сут) в течение 40, 120, 210 сут, что соответствовало дозам 6,8; 20,4 и 35,7 сГр. Острое облучение в дозе 1,5 Гр проводили от источника $^{137}Cs$ (28,2 Гр/ч). Раствор $SrCl_2$ (70 мг/л) давали животным с питьевой водой. Цитогенетические препараты костного мозга мышей готовили по стандартной методике и

определяли частоту полихроматофильных эритроцитов (ПХЭ) с микроядрами (МЯ).

В результате исследования в этом диапазоне доз достоверного увеличения генотоксического действия НИИ не наблюдалось. Увеличение уровня цитогенетических повреждений в ПХЭ выявлено только при сочетанном воздействии изотопов $^{90}$Sr и НИИ в течение 210 сут относительно необработанного контроля и доз 6,8 и 20,4 сГр (Рис. 1, * - $p < 0,05$).

Ранее нами при изучении РАО и перекрестного АО было высказано предположение, что дооблучение по схеме АО мышей, которые подвергались воздействию низких доз радиации или концентраций химических соединений, поможет выявить индуцированную генетическую нестабильность генома, которая проявится в измененной радиочувствительности. На рис.1 показана частота ПХЭ с МЯ в клетках костного мозга мышей при сочетанном действии разных доз НИИ и $^{90}$Sr, а затем облученных в дозе 1,5 Гр. У мышей после 210 сут воздействия НИИ и в сочетании с $^{90}$Sr выявлена радиорезистентность по сравнению с мышами, облученными только в дозе 1,5 Гр (Рис. 1, ** - $p < 0,05$).

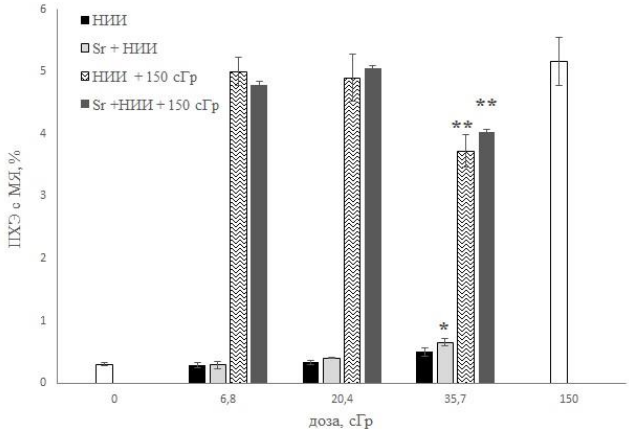



Рис. 1. Выход ПХЭ с МЯ в костном мозге мышей при сочетанном действии разных доз НИИ и $^{90}$Sr, облученных затем в дозе 1,5 Гр

Представленные данные представляют интерес с точки зрения оценки отдаленного действия малых доз НИИ и тяжелых металлов на организм и понимания закономерностей индукции АО у животных.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНЫХ РАДИОПРОТЕКТОРНЫХ СВОЙСТВ МЕЛАТОНИНА ПРИ ДЕЙСТВИИ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ *IN VITRO*

*Е.А. Тендитник, Е.Р. Ольховая, П.С. Купцова, А.К. Лапенко, Т.А. Чудновец, Л.Н. Комарова, Е.Р. Ляпунова*
*Обнинский институт атомной энергетики – филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», г. Обнинск, Россия*

Поиск химических веществ, используемых для защиты от ионизирующего излучения, продолжается во всем мире. Однако, несмотря на многолетние исследования различных классов природных и синтетических соединений, не было найдено абсолютно безопасного и эффективного радиопротектора. Лишь немногие соединения используются в клинической практике в ограниченных концентрациях, вследствие их токсичности. Идеальный радиопротектор должен предотвращать острое и хроническое воздействие ионизирующего излучения на нормальные ткани, быть нетоксичным, легко распределяться в организме и не проявлять радиозащитных свойств в отношении опухолей.

Одним из перспективных веществ, которое может быть использовано в качестве радиопротектора, является мелатонин. В настоящее время мелатонин используется как препарат, нормализующий циркадные ритмы. Кроме этого, мелатонин обладает выраженными иммуномодулирующим, противовоспалительным, антиоксидантным, вазорегуляторным и онкостатическим действиями [1]. Радиопротекторные свойства мелатонина определяются способностью поглощать свободные радикалы и активировать синтез ферментов антиоксидантной защиты [2]. В отличие от других радиопротекторов, токсичность мелатонина крайне низка [3].

В связи с этим целью работы является изучение возможных радиопротекторных свойств мелатонина при действии гамма-излучения на фибробласты человека.

Объектом исследования выбрана клеточная линия фибробластов человека hTERT. Для культивирования использовалась стандартная методика. Используемая концентрация мелатонина составила 0,1 мг/мл. Время инкубирования клеток с мелатонином – 24 ч. Контролем служили интактные клетки. Облучение гамма-квантами проводилось на Уникальной научной установке ФГБНУ ВНИИРАЭ «ГУР-120» (источник ионизирующего излучения $^{60}$Co, Eср = 1,25 МэВ). Мощность дозы составила 0,9 Гр/мин. Дозы облучения: 1, 4, 6, 10 Гр. Эффективность мелатонина сравнивалась с действием известного радиопротектора цистамина (концентрация – 0,01 М).

Выживаемость клеток оценивалась по клоногенной активности. Действие вещества оценивалось по показателю фактора изменения дозы (ФИД).

В ходе работы было показано, что мелатонин оказывает радиопротекторное действие на фибробласты человека при облучении гамма-квантами. Фактор изменения дозы составил 1,49±0,05. Цистамин также оказывает радиопротекторное действие, ФИД=1,35±0,07.

При сравнении исследуемых соединений можно сделать вывод, что мелатонин более эффективно защищает нормальные клетки человека от действия гамма-излучения, чем цистамин. Это может быть связано с тем, что он не оказывает токсического действия на клетки, в отличие от цистамина. Данные обстоятельства говорят о перспективности дальнейших исследований мелатонина как радиопротектора.

***Литература***

1 Надеев А.П., Магсаржав Ц., Терзи А.С. и др. Радиопротекторные свойства мелатонина // Сибирский медицинский вестник. – 2019. – № 4. – С. 45-50.

2 Reiter R., Mayo J., Tan D. et al. Melatonin as an antioxidant: under promises but over delivers // J Pineal Res. – 2016. – V. 61(3). – P. 253-278.

3 Andersen L., Gögenur I., Rosenberg J., Reiter R. The safety of melatonin in humans // Clinical Drug Investigation – 2016. – V. 36(3). – P. 169–175.

## РИСК СМЕРТИ ОТ БОЛЕЗНЕЙ СИСТЕМЫ КРОВООБРАЩЕНИЯ ЛИКВИДАТОРОВ ПОСЛЕДСТВИЙ АВАРИИ НА ЧАЭС, РАБОТНИКОВ ПРЕДПРИЯТИЙ АТОМНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ДАННЫХ О ДОЗАХ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ ОБЛУЧЕНИЯ

*А.Р. Туков, И.Л. Шафранский, М.Н. Зиятдинов, О.Н. Прохорова, А.М. Михайленко*
*ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им.А.И.Бурназяна ФМБА России, г. Москва, Россия*

Болезни системы кровообращения (БСК) являются главной причиной смертности во многих развитых странах, а их фоновый уровень очень высок [1, 2].

Вопрос о влиянии радиационного облучения на частоту БСК даже при очень малых и малых рисках как для населения, так и для различных профессиональных контингентов, приобретает особую актуальность, поскольку даже малое увеличение риска будет способно привести к значительным абсолютным рискам [1].

Доказаны эффекты радиации на органы системы кровообращения только при дозах порядка десятков грей [1, 2, 3,]. Для японской когорты кривая «доза – эффект» ниже 0,5 Гр характеризуется значительной неопределенностью [1, 2], причем для сердечной патологии порог составил 2,6 Гр, а для цереброваскулярных – 0,75 Гр [1].

В работе использована информационная база Отраслевого регистра лиц, подвергшихся воздействию радиации в результате аварии на Чернобыльской АЭС (ОРЧ), из числа работников предприятий и организаций атомной промышленности. В исследование оценки радиационного риска включены лица, имеющие данные о дозах внешнего аварийного облучения при ра-

боте в 30-км зоне Чернобыльской АЭС (ЧАЭС), 1327 из них имеют данные о дозе профессионального облучения.

Исследование охватывает период с 1987 по 2021 гг.

В структуре ведущих причин смерти от БСК (I00-I99.9) первое ранговое место – 43,99% занимает хроническая ишемическая болезнь сердца неуточнённая (I25.9). Второе – цереброваскулярная болезнь неуточнённая (I67.9) – 10,1%, третье – кардиомиопатия неуточнённая (I42.9), 5,17%.

Результаты исследования показали, что избыточный относительный риск имеет место только для смертности от всех причин БСК и смертности от ишемической болезни сердца (I20-I25.9) как при дозе, полученной при ликвидации аварии на ЧАЭС, так и для суммарных доз.

Исследование подтверждает, что использование данных о различных видах облучения (внешняя доза облучения, полученная участниками ликвидации последствий аварии на ЧАЭС и их профессиональная доза) для расчёта избыточного относительного риска на 1 Зв дали разные результаты, поэтому для получения корректных результатов оценки радиационного риска смерти необходима суммарная доза облучения (профессиональная, аварийная, медицинская, природная), как этого требуют директивные документы.

***Литература***

1 UNSCEAR 2019. Report to the General Assembly, with Scientific Annexes. Annex A. Evaluation of selected health effects and inference of risk due to radiation exposure. New York, 2020. P. 21–192.

2 Baselet B., Ramadan R., Benotmane A. Selected endothelial responses after ionizing radiation exposure. In: Endothelial Dysfunction – Old Concepts and New Challenges. Ed.: Lenasi H. IntechOpen, 2018. P. 365–390. DOI: 10.5772/intechopen.72386.

3 ICRP Publication 118. ICRP Statement on tissue reactions and early and late effects of radiation in normal tissues and organs – threshold doses for tissue reactions in a radiation protection context // Annals of the ICRP. 2012. 325 p.

# ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ОСТРОГО β-ОБЛУЧЕНИЯ НА МАССУ НАЗЕМНОГО МОЛЛЮСКА *FRUTICICOLA FRUTICUM*

*А.С. Храмцова[1], Е.Е. Черкасова[1], Р.Р. Шошина[1], Г.В. Лаврентьева[2], С.Н. Корякин[3], В.О. Сабуров[3]*
*[1] – Обнинский институт атомной энергетики – филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», г. Обнинск, Россия*
*[2] –КГУ им. К.Э. Циолковского, г. Калуга, Россия*
*[3] - Медицинский радиологический научный центр им. А.Ф. Цыба – филиал ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России, г. Обнинск, Россия*

С увеличением антропогенной нагрузки возникает необходимость проведения анализа состояния окружающей среды. В этой связи активно применяются методы биоиндикации и биотестирования. Изучение изменения состояния тест-объектов позволяет оценить влияние на естественные процессы присутствия тяжёлых металлов, пестицидов, нефтепродуктов. Тогда как при проведении радиационного мониторинга объектов окружающей среды используется концепция «референтных животных и растений», изложенная в 108, 114 Публикациях МКРЗ [1-2]. В рамках данной концепции предложен перечень из 12 видов для оценки, но не исключается возможность его расширения.

В данной работе представлены результаты лабораторного эксперимента по изучению изменения массы наземного моллюска – улитки кустарниковой *Fruticicola Fruticum* в ответ на острое β-облучение. Выбор данного объекта обусловлен тем, что он имеет ряд достоинств, делающих его привлекательным для радиоэкологических исследований: ведет оседлый образ жизни, является накопителем некоторых элементов, имеет широкий ареал обитания, методы сбора хорошо разработаны. Численность достигает десятков и сотен особей на 1 м$^2$.

Пробоотбор осуществлялся ручным способом с чистой от антропогенных вмешательств территории, граничащей с нацио-

нальным парком «Угра». Всего для эксперимента было отобрано 270 половозрелых особей без видимых внешних повреждений раковины. Возраст моллюсков определялся по количеству оборотов раковины [3]. Перед началом эксперимента особи акклиматизировались к лабораторным условиям в течение 6 недель.

Облучение моллюсков проводилось на линейном ускорителе электронов Novac 11 в МРНЦ им. А.Ф. Цыба. Моллюсков подвергали прицельному облучению электронами в диапазоне доз 10-300 Гр: с шагом 10 Гр от 10 до 100 Гр, 20 Гр от 100-200 Гр и 50 Гр от 200 до 300 Гр. Энергия электронов – 10 МэВ. Мощность дозы при облучении составляла 30 Гр/мин и была откалибрована группой радиационной безопасности МРНЦ имени А.Ф. Цыба, г.Обнинск, Россия. Определение биомассы происходило каждые 15 дней с момента облучения. Особи взвешивались группами по 5 штук на аналитических весах «Adventurer» Ohaus с точностью до 0,0003 г., после чего рассчитывалась средняя индивидуальная масса.

При изучении динамики изменения массы после облучения отмечено, что моллюски и контрольная группа в начале эксперимента набирали массу от 2 до 21%, что может быть вызвано особенностями влияния ионизирующего излучения, так как эффекты от воздействия радиации проявляются с течением времени, а не моментально. С течением времени особи, подвергшиеся влиянию радиации, начали постепенно терять вес. Потеря массы у моллюсков, облученных в дозах 160-300 Гр, происходит стремительнее, чем у моллюсков, облученных меньшими дозами. Такая же зависимость обнаружена в исследовании [4], что может быть связано с особенностями биологии организма и величиной переданной энергии ионизирующего излучения.

***Литература***

1 ICRP, 2008. Environmental Protection: the Concept and Use of Reference Animals and Plants. Publication 108 // Ann. ICRP. 2008. 251 p.

2 ICRP, 2009. Environmental Protection: Transfer Parameters for Reference Animals and Plants. Publication 114 // Ann. ICRP. 2009. 111 p.

3 Сычев А.А., Снегин Э.А. Микропространственная изменчивость демографических и конхиологических параметров в популяциях *Helicopsis striata* (Mollusca; Pulmonata; Hygromiidae) в условиях юга Среднерусской возвышенности // Вестник Томского государственного университета. Сер. Биология. – 2016. – №4-36. – С. 127-146.

4 Copplestone D., Coates J.C., Lim J. Low dose γ-radiation induced effects on wax moth (*Galleria mellonella*) larvae // Science of The Total Environment. – 2023. – № 876. – P. 152-162.

## ВЛИЯНИЕ КВЧ ИЗЛУЧЕНИЯ НА ФУНКЦИОНАЛЬНУЮ АСИММЕТРИЮ У DROSOPHILA MELANOGASTER

*О.П. Эндебера, Е.А. Алленова*
*КГУ им. К.Э. Циолковского, г. Калуга, Россия*

В качестве критерия биологической эффективности того или иного внешнего физического фактора может быть использован показатель функциональной асимметрии (ФА). Очевидная биологическая интерпретация и легкость измерения делают этот параметр удобным для исследования влияния различных электромагнитных излучений (ЭМИ) на биологические объекты.

Целью настоящей работы было исследование влияния крайне высокочастотного (КВЧ) ЭМИ на показатель ФА у *Drosophila melanogaster* двух генотипов - *Д-32* (дикий тип, норма) и мутантный у ct v. В качестве характеристики ФА был использован показатель наложения крыльев имаго: левое крыло сверху – «левокрылые» (ЛК), правое – «правокрылые» (ПК). Источник КВЧ ЭМИ типа «белый шум» служил «АМФИТ – 0,2/10 – 01» (ООО «Физтех», г. Н. Новгород) с мощностью 2,019 мкВт/см$^2$. Дозы энергии ЭМИ от 0,3029 $10^{-3}$ до $1{,}8171 \cdot 10^{-3}$ Дж/см$^2$ соответственно. Воздействие КВЧ ЭМИ осуществлялось на особей ранних эмбриональной и 3-ей личиночной стадии развития. Определялась выживаемость и масса тела обработанных КВЧ ЭМИ

ЛК и ПК особей. С помощью корреляционного анализа оценивался вклад в наблюдаемые эффекты генетического (G), средового факторов (E) и показателей ФА.

В исследуемой группе у линии Д-32 (y+ct+v+) соотношение ПК и ЛК особей было следующем: 30,9±1,7% ПК самцы и 69,1±1,7% ЛК самцы; ПК самок было 29,1±1,5%, ЛК – 70,9±1,5%. Мутантная линия (y ct v) была представлена 34,1±1,7% ПК и 65,9±1,7% ЛК самцами. ПК самки составили 32,1±1,6% и ЛК 67,9±1,9%. Доли ЛК и ПК форм указаны от общего числа особей гендерной группы данного генотипа.

Выживаемость мутантных особей в контрольных группах снижена по сравнению с таковой у Д-32. Особенно уменьшение ее выражено у особей дикого типа при световом режиме (день).

Корреляционный анализ показал зависимость между количеством ПК и ЛК в связи с повышением дозы энергии ЭМИ КВЧ: у ♀ величина коэффициента корреляции - r = 0,992 при p < 0,001, ♂ – 0,892, p < 0,001. Численность особей в экспериментальных группах изменялась в зависимости от дозы излучения крайне высокой частоты (КВЧ), как средового фактора, воздействие которого происходило на особей ранних эмбриональной и 3 личиночной стадии развития. Средовое значение (E) этого фактора было высоким, E = 90,5% при генотипическом значении G = 6,5% на уровне небольшого проявления ФА (в 3,0% случаях). Снижение численности популяции наблюдалось на уровне следующего поколения. При этом у ♀ эффекты E проявились в 71,4% случаев при G = 28,6%, ♂– E = 41,9%, G = 58,1 %.

Изменчивость массы тела, как одного из важнейших признаков организменного уровня при всех дозах КВЧ-излучения, контролировалась, в основном, генетическими факторами. Значение G варьировало в экспериментах от 65,4 до 67,1%, E – от 19,7 до 31,5%, проявление ФА: 3,1 – 13,2%. Снижение этого признака в ряду поколений определялось в 84,3% «G», 15,7% - «E» (КВЧ-излучение).

Сравнительный анализ содержания РНК выявил дозовую зависимость изменения (в основном снижения) ее концентрации. Она определялась на уровне значений G (в том числе включая регуляцию ФА) и E. Так, эффект дозы 0,6057 Дж/см² проявлялся

при значениях G = 78,2% и E = 21,8%. В случае КВЧ-излучения при дозе 1,8171 Дж/см² генотипическое значение (G) = 92,9%, а средовое – E = 7,1%.

Таким образом, излучение крайне высокой частоты как фактор природного и техногенного происхождения, оказывая влияние на развивающийся организм, требует особого внимания с учетом его эффективности на уровне модифицирующего действия по отношению к жизнеспособности особей, которая определяет их численность, морфофизиологическое и молекулярно-генетическое состояние родительского поколения и его потомства.

## СЕКЦИЯ 7. ШКОЛЬНАЯ ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ СЕКЦИЯ

# ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ И РАСПРОСТРАНЕНИЕ СВИДИНЫ БЕЛОЙ *(CORNUS ALBA ALBA)* И СВИДИНЫ ШЕЛКОВИСТОЙ *(CORNUS ALBA SERICEA)* В ФИТОЦЕНОЗЕ ГУРЬЯНОВСКОГО ЛЕСА ГОРОДА ОБНИНСКА КАЛУЖСКОЙ ОБЛАСТИ

*В.С. Беднякова, Г.Н. Верушкина*
*МБОУ «Гимназия», г. Обнинск, Россия*

В Гурьяновском лесу г. Обнинска в ходе изучения популяции инвазионного вида свидина белая *(C. alba)* в 2022 г. обнаружено два подвида: свидина белая *(C. a. alba)* и свидина шелковистая *(C. a. sericea)*. Основной лимитирующий фактор распространения подвидов – интенсивность освещения. Оценка их теневыносливости и светопроницаемости позволит выявить их влияние на фитоценоз и определить приоритетный для борьбы подвид.

Цель работы: сравнить подвиды свидины белой по занимаемой площади и отношению к световому режиму.

Исследование проводилось в южной части леса площадью 13,8 га. Принадлежность к подвиду определяли у особей в генеративном состоянии, в качестве диагностического признака использовали строение СПФ [1]. Картографирование выполняли при помощи сервиса «Конструктор карт Яндекс». Для измерения освещенности выбраны 4 единичные особи, 4 группы каждого подвида, произрастающие в одинаковых условиях. Измерения проводили люксметром UNI-T UT381 в течение трех дней (17, 18, 19 августа 2023 г.) с одинаковыми температурными показателями и условиями облачности, с 12 до 15 ч. Световое довольствие, светопроницаемость вычисляли по стандартным формулам [2].

Выявлено 17 крупных, 10 средних групп свидины белой, 20 крупных, 3 средние группы свидины шелковистой (рис. 1). Площадь проективного покрытия свидины белой 1139 м$^2$, свидины шелковистой – 4457 м$^2$, разница обусловлена образованием зарослей свидиной шелковистой. Более высокое значение

светового довольствия свидины белой указывает на то, что подвид менее теневынослив (табл. 1). Низкая светопроницаемость свидины шелковистой свидетельствует о том, что затененность травостоя под кроной этого подвида выше, чем под кроной свидины белой.

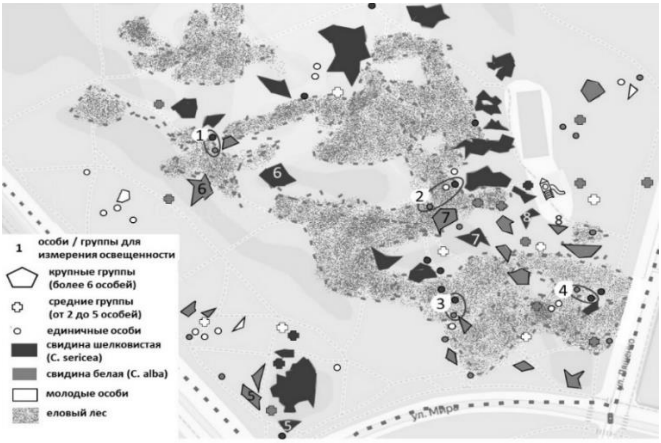



Рис. 1. Распространение свидины белой и свидины шелковистой

Таблица 1

Средние значения светового довольствия и светопроницаемости

| Признак / подвид вида свидина белая *(Cornus alba)* | Световое довольствие, % | | Светопроницаемость, % | |
|---|---|---|---|---|
| | Единичн. особи | Особи в группах | Единич. особи | Особи в группах |
| Св. белая | 4,95 | 4,80 | 14,93 | 11,56 |
| Св. шелковистая | 4,08 | 2,13 | 11,68 | 4,85 |

Свидина шелковистая имеет больше шансов распространиться под кронами деревьев, сильнее затеняет растения напочвенного покрова; подвид более опасен для флоры фитоценоза.

***Литература***

1 Валягина-Малютина Е.Т. Деревья и кустарники зимой. Определитель древесных и кустарниковых пород по побегам и

почкам в безлистном состоянии. – М.: Изд-во КМК, 2001. – 281 с.

2 Салтыков А.Н., Роговой В.И., Бойко Г.Е., Салогуб Р.В. Лесоведение. Практикум: учебно-методическое пособие – Симферополь: изд-во «Ариал», 2020. – 196 с.

## РАСПРОСТРАНЕНИЕ И ХАРАКТЕР ПРОИЗРАСТАНИЯ ВИДОВ АДВЕНТИВНОЙ ФЛОРЫ НА ОТДЕЛЬНЫХ УЧАСТКАХ ГОРОДА ОБНИНСКА

*Е.Д. Белоусова, М.М. Рассказова*
*МБОУ СОШ №11, г. Обнинск, Россия*

На данный момент выделены 39 наиболее активных заносных растений, представляющих экономическую и экологическую угрозу, включенных в список Черной книги Калужской области [4]. Они ранжированы по активности и потенциальной опасности. Целью настоящей работы было выявить характер прорастания и распространения, а также стратегии захвата территории видов Черной Книги Калужской области на отдельно взятых участках г. Обнинска.

В ходе исследования выполнены геоботанические описания 13 участков, отличающихся по типу ассоциаций (рис.1). Для выбранных участков производились описания почв по Боголюбову [1].




Рис. 1. Расположение точек проведения исследований

Исследования показали, что на восьми из тринадцати выбранных нами участках произрастают такие виды адвентивной флоры, как клен ясенелистный (*Acer negúndo* L.), свидина белая (*Córnus álba* L.), недотрога мелкоцветная *(Impatiens parviflora* DC.,), борщевик Сосновского (*Heracleum sosnowskyi* Mandenova), золотарник гигантский (*Solidago gigantea* Ait.) золотарник канадский *Solidago canadensis* L. Большие заросли *Córnus álba* были обнаружены нами в Гурьяновском лесу (участок №5). Площадь каждого участка, занятого кустарником, составляет примерно 50 м$^2$. Участки находятся в основном в низинах, местах повышенной влажности. В ельнике свидина белая встречается крайне редко, однако на широколиственных и смешанных участках леса занятость ею территории составляет почти 30%. Площадь каждого кустарника составляет примерно 30 м$^2$. Средняя высота растения – 2,5м, максимальная высота составляла 5 м.

Проведенное исследование показало, что распространение изученных нами 6 чернокнижных видов связано с участками нарушенных территорий, большей антропогенной нагрузки, местами повышенной влажности. Однако распределение их по экосистемам города отличается у разных видов.

Проращивание семян адвентивных видов методом рулонных культур, а также смеси луговых трав в почвенных вытяжках, полученных из под зарослей чернокнижных видов показало, что борщевик Сосновского выделяет в почву вещества, которые препятствуют росту растений на ранних этапах развития, в то время как золотарник гигантский и свидина белая этих веществ не выделяют.

***Литература***

1 Боголюбов А.С., Кравченко М.В., Баслеров С.В. Простейшая методика описания почв. – М.: Экосистема, 2001.

2 Решетникова Н.М., Майоров С.Р., Скворцов А.К. и др. Калужская флора: аннотированный список сосудистых растений Калужской области. – М.: Т-во научных изданий КМК, 2010. – 548 с.

3 Решетникова Н.М., Майоров С.Р., Крылов А.В. Черная книга Калужской области. Сосудистые растения. – Калуга: ООО «Ваш Домъ», 2019. – 342 с.

## ВЛИЯНИЕ АВТОТРАНСПОРТНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ НА СОДЕРЖАНИЕ ФЛАВОНОИДОВ В РАСТЕНИЯХ

*В.А. Бычкова, И.В. Леках*
*ЧОУ Обнинская свободная школа, г. Обнинск, Россия*

Растительные организмы очень чувствительны к антропогенной нагрузке и часто используются с целью биоиндикации. В настоящее время в качестве индикаторов состояния среды все чаще применяют вторичные метаболиты растений, в том числе и флавоноиды, которые обладают антиоксидантными свойствами и выполняют защитные функции, предохраняя растения от различных неблагоприятных воздействий окружающей среды.

В связи с этим представляло интерес исследовать влияние автомобильных выбросов на содержание флавоноидов в нескольких видах растений, собранных в разных с экологической точки зрения районах – на территории национального парка в Псковской области и на улицах г. Обнинска. Исследовали состав флавоноидов и их количественное содержание в цветках растений клевера лугового, пижмы обыкновенной, цикория обыкновенного и короставника полевого. Собранное сырье сушили, измельчали, экстрагировали 70% этанолом. В экстрактах выявляли основные группы флавоноидов с помощью 6 качественных реакций. Количественное содержание определяли спектрофото-метрическим методом на приборе КФК, в качестве стандарта использовали аптечный препарат дигидрокверцетина (Эвалар).

Качественные реакции показали наличие в различных сочетаниях во всех растениях таких групп флавоноидов как флавоны, флавонолы, антоцианидины, ауроны. Как в экологически чистом регионе, так и в городе наибольшее содержание флавоноидов отмечено в клевере луговом (56 мг/г сухой массы), затем по мере убывания в пижме, короставнике и цикории (22 мг/г).

Установлено, что концентрация флавоноидов в пижме и цикории при наличии автотранспортного загрязнения повысилась соответственно на 12% и 60%.

В то же время в клевере луговом, произрастающем в городе, содержание флавоноидов была на 8% меньше, чем на территории национального парка. Надо отметить, что в ряде работ [1, 2] показано, что техногенное загрязнение в большинстве случаев приводит к усилению синтеза флавоноидов в растениях и повышению их содержания. Однако это может зависеть как от характера самого загрязнения, так и от вида растений. Если для таких растений как горец птичий, боярышник, ромашка авторами было отмечено увеличение содержания флавоноидов, то именно для клевера было характерно некоторое снижение, а повышение только в случае очень сильных загрязнений.

Таким образом, можно сделать вывод, что для ряда растений содержание флавоноидов может служить показателем техногенного стресса и использоваться для биоиндикации. Но видовой состав таких растений требует дальнейшего изучения, так как их чувствительность к загрязнениям может быть различной.

***Литература***

Петухов А.С., Хритохин Н.А., Петухова Г.А., Кремлева Т.А. Фенольная система защиты растений в условиях загрязнениясреды г. Тюмени тяжелыми металлами // Ученые записки Казанского университета. Серия естественные науки. – 2009. – С. 95–107.

2 Чупахина Г.Н., Масленников П.В., Скрыпник Л.Н., Бессережнова М.И. Реакция пигментной и антиоксидантной систем растений на загрязнение окружающей среды г. Калининграда выбросами автотранспорта // Вестник Томского Государственного университета. Биология. – 2012. – №2.– С. 171–185.

# МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ ЗАГРЯЗНИТЕЛЯ PM 2.5 В ВОЗДУХЕ НА СОСТОЯНИЕ ХВОИ ЕЛИ ЕВРОПЕЙСКОЙ НА ТЕРРИТОРИИ ЖУКОВСКОГО РАЙОНА КАЛУЖСКОЙ ОБЛАСТИ

*В.В. Гусев, Г.Н. Верушкина*
*МБОУ «Гимназия», г. Обнинск, Россия*

Проблема загрязнения воздуха мелкодисперсными частицами, такими как PM 2.5, актуальна везде. Для Европейской части России с коротким летним периодом лучшее решение проблемы – посадка хвойных пород вокруг загрязняющих объектов. Через некоторое время часть растений угнетается и требует замены, поэтому нужен периодический контроль за их состоянием. Необходима альтернатива затратным по времени и финансам современным методам. Исследование прошлого года показало, что прямое следствие угнетения – снижение концентрации хлорофилла, интенсивности фотосинтеза, а значит и увеличение отраженного непоглощенного хвоей света [1]. Это свойство может быть использовано для дистанционного дешифрования состояния елей.

**Цель работы:** разработка механизма быстрого определения наиболее угнетенных участков ельников методом моделирования зависимости отраженного света от состояния хвои на территориях г. Обнинск и Жуковского района Калужской области.

Методом мониторинга уровня загрязнения воздуха по данным Сервиса BreezoMeter в течение 1 года были выбраны лесные участки города Обнинск с низкой (центр Гурьяновского леса (контрольный участок)), средней (участок леса вдоль ул. Ляшенко) и высокой (участок Кончаловского леса рядом с южным выездом) степенью загрязнения. Участки с однородным еловым древостоем определили методом дешифрования космических снимков в красном синтезе. На каждом участке отобрали хвою (с пяти елей возраста от 80 до 120 лет) и исследовали по биохимическим (концентрация хлорофилла в хвое) и физическим показателям (длина суммарной отраженной УФ волны).

Методом спектрофотометрии определили концентрацию хлорофилла в вытяжке [2]. Повторные биохимические исследования показали достоверное снижение концентрации хлорофилла с увеличением загрязнителя. Содержание хлорофилла a, хлорофилла b, суммы хлорофиллов a и b максимально в контрольной группе (С хл.a – 0.7 ;С хл. b - 0.4;С хл.a+b – 1.1 мг/г), минимально на самом загрязненном участке (С хл.a – 0.4;С хл. b – 0.2; С хл.a+b – 0.6). Отражательную способность хвои на выбранных участках оценили методом дистанционного зондирования (программа Qgis). У здоровых елей она составляет 0,1-0,2 усл. ед. синтеза; у угнетенных – 0,2-0,3 усл. ед. На основе полученных из обнинской модели коэффициентов составили карту состояния хвойных лесов Жуковского района. Точность и корректность дистанционной дешифровки подтверждена практически, проверкой состояния елей на местности.

Отражательная способность хвои, действительно, зависит от её состояния и концентрации PM 2.5. Методика, основанная на дистанционном дешифровании состояния самих елей, позволяет быстро производить контроль состояния хвойных насаждений, не требует дополнительных финансов и трудозатрат. Эта технология позволит сделать программу контроля за состоянием зеленых насаждений более реализуемой.

***Литература***

1 Гусев В.В., Верушкина Г.Н. Исследование влияния концентрации взвешенных частиц PM 2.5 в воздухе на состояние хвои ели европейской на примере города Обнинск / Материалы VI Международной (XIX Региональной) научной конференции «Техногенные системы и экологический риск»: Тезисы докладов. – Обнинск: ИАТЭ НИЯУ МИФИ, 2023. – С. 439.

2 Шлык А.А. Определение хлорофилла и каротиноидов в экстрактах зеленых листьев // Биохимические методы в физиологии растений. – М.: Наука, 1971. – С. 159-169.

# ВЛИЯНИЕ ХРОНИЧЕСКОГО РАДИАЦИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА СОДЕРЖАНИЕ ЦИТОКИНИНОВ В ХВОЕ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ

*П.В. Мурыскина[1], А.С. Смирнова[2]*
*[1]– «Средняя общеобразовательная школа № 11 имени Подольских курсантов», г. Обнинск, Россия*
*[2]– НИЦ «Курчатовский институт» - ВНИИРАЭ, г. Обнинск, Россия*

В результате аварии на Чернобыльской АЭС загрязнена огромная часть европейской территории, где до сих пор высокий уровень радиации. Изменения у растений при хроническом низкодозовом облучении могут не проявляться фенотипически, но затрагивают биохимические и молекулярные механизмы [1]. Поэтому с целью заполнения пробелов знаний о последствиях Чернобыльской аварии был выполнен анализ по содержанию цитокининов в хвое.

Пробоотбор был осуществлён в мае 2022 г. на территории Гомельской области Республики Беларусь. Исследования проводили на трёх экспериментальных участках в Полесском государственном радиационно-экологическом заповеднике: Гнездинка, Масаны и Кулажин. Рудинка 1 и Рудинка 2 являются контрольными участками.

Проведение эксперимента осуществлялось на территории НИЦ «Курчатовский институт» — ВНИИРАЭ. Оценка содержания зеатина в хвое сосны обыкновенной был проведена методом ВЭЖХ на приборе Shimadzu LC-30 Nexera (Япония). Анализ результатов выполнен в MS Office Excel. Значимость различий оценивали с помощью U-критерия Манна-Уитни в Statistica 10.0. Не выявлено значимых отличий в концентрации зеатина в хвое сосен с загрязненных участков по сравнению с контрольными (рис. 1).

Цитокинины, к которым относят и зеатин, инициируют растяжение и пролиферацию клеток, стимулируют транспорт метаболитов и питательных веществ [2]. Однако не выявлено существенных изменений в концентрации зеатина в зависимости от

радиационного воздействия, что частично согласуется с результатами, полученными в исследовании сосны обыкновенной Чернобыльской зоны отчуждения в 2021 г. [3]. То, что мы не обнаружили значимых отличий в концентрациях зеатина в хвое сосен с загрязненных участков Чернобыльской зоны отчуждения по сравнению с контрольными, указывает на отсутствие различий в пролиферативной активности исследуемых тканей, а также может косвенно свидетельствовать об отсутствии стрессовой реакции.

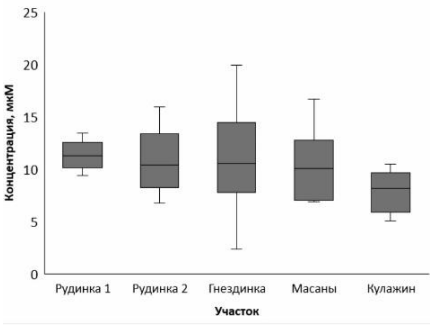



Рис 1. Концентрация зеатина в зависимости от участка

Для получения окончательных выводов о влиянии хронического облучения на гормональную систему сосны обыкновенной исследование должно быть продолжено.

***Литература***

1 Бондаренко Е.В., Бондаренко В.С., Казакова Е.А. и др. Молекулярные и физиологические особенности растений, произрастающих в условиях хронического воздействия ионизирующего излучения. – В кн.: Актуальные проблемы радиационной биологии: материалы конференции – Дубна: ОИЯИ, 2022. – С. 14-17.

2 Медведев С.С., Шарова Е.И. Биология развития растений. В 2-х т. Том 1. Начала биологии развития растений. Фитогормоны; Учебник. – СПб.: Изд-во С.-Петерб. ун-та, 2011. – 253 с.

3 Битаришвили С.В., Гераськин С.А., Шестерикова Е.М., Празян А.А. Влияние хронического облучения на фитогормо-

нальный статус сосен Чернобыльской зоны отчуждения // Радиация и риск (Бюллетень Национального радиационно-эпидемиологического регистра). – 2022. – Т. 31. – № 4. – С. 64-72.

## РАСПРОСТРАНЕНИЕ ИНВАЗИОННЫХ ВИДОВ ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ НА ТЕРРИТОРИИ ГОРОДА БОРОВСК КАЛУЖСКОЙ ОБЛАСТИ

*К.М. Подлевских, И.Г. Харитонова*
*МОУ "Средняя общеобразовательная ноосферная школа", г. Боровск, Россия*

В настоящее время активное распространение получили инвазионные виды растений. Доля инвазий в России составляет до трети от всех видов, обитающих на ее территории [2,4]. Калужская область принадлежит к числу регионов, где инвентаризация адвентивных видов ведется на протяжении десятилетий. На территории области выявлен 521 вид адвентивных растений (в среднем за 10 лет выявляется около 30 новых адвентов). Их доля в фитоценозах достигла угрожающих размеров и составляет 35% от числа описанных сосудистых растений [3,5]. Древесные виды не являются исключением. Активизация инвазионных процессов делает необходимым поиск путей локализации или ликвидации очагов фитоинвазий.

Целью исследования было изучение распространения инвазионных древесных видов растений на территории г. Боровск Калужской области. Задачи: 1) изучить распространение древесных форм инвазионных растений на территории г. Боровск; 2) определить таксономическую принадлежность обнаруженных растений; 3) выделить адвентивные виды, занесенные в Черную Книгу Калужской области; 4) провести анализ обнаруженных видов по степени заноса, степени натурализации, агрессивности [5] и происхождению.

Работа выполнена на территории г. Боровск, расположенного в северной части Калужской области. Район непосредственно граничит с Московской областью.

Исследования проводились летом 2023 г. Использовали метод маршрутных учетов [1], определяли видовую принадлежность обнаруженных видов [2,3], выделяли представителей адвентивной флоры [3,5], проводили их анализ в соответствии с задачами.

Нами обнаружено 36 адвентивных видов древесных растений, принадлежащих к двум отделам (голо- и покрытосеменные), семнадцати семействам. Ведущими семействами являются *Rosaceae* (13 видов), *Oleaceae* и *Pinaceae* (по 3 вида). Во всех частях города встречаются *Fraxinus pennsylvanica* Marsh. и *Acer negundo* L. Менее распространены *Partenocissus inserta, Amelanchier spicata* (Lam.) C. Koch, *Hippophae rhamnoides* L., *Physocarpus opulifolis* (L.) Maxim., *Syringa vulgaris* L., *Spiraea salicifolia* L. Остальные древесные адвентивные виды встречаются единично и образуют культурные посадки, не проявляя тенденцию ухода из культуры. По способу заноса преобладают эргазиофиты (91,4% от общего числа), 8,6% относятся к ксенофитам. По степени натурализации 50% древесных форм активно расселяются и успешно конкурируют с аборигенными видами. 17,9% адвентов прочно закрепились в местах заноса, размножаются, но не распространяются за пределы участка. 32,1% древесных адвентов не способны формировать устойчивые популяции, способны к немногочисленному размножению и нерегулярному возобновлению.

10 видов включены в Черную Книгу Калужской области (то есть являются трансформерами и представляют угрозу для аборигенных видов и экосистем), 5 видов включены в мониторинговый список (являются кандидатами для включения в Черную Книгу) [5].

Родиной для большинства растений (35,7%), обнаруженных нами, является Северная Америка. 21,4% растений занесены с территории Европы. 14,3% растений занесены с территории Азии и 11,9% – с территории Сибири. 9,5% растений произошли на территории Северо-Восточной Европейской части России. Всего по 2,4% занесены с территории Кавказа, Средиземноморья и Южной Америки.

Сохранение биоразнообразия в будущем будет зависеть от умения управлять чужеродными видами. В настоящее время экологический риск связан с постоянным внедрением фитоинвазий в регион и снижением видового разнообразия растений в экосистемах, что приведет к их разрушению.

***Литература***

1 Чаевцева Л.Г. Изучение придорожной флоры и растительности. Методические рекомендации. – Ульяновск: ГОУ ДОД ОСЮН, 2010. – 25 с.

2 Маевский П.Ф. Флора средней полосы европейской России. – Москва: Товарищество научных изданий КМК, 2006. – 600 с.

3 Решетникова Н.М., Майоров С.Р., Скворцов А.К. и др. Калужская флора: аннотированный список сосудистых растений Калужской области. – М.: Т-во научных изданий КМК, 2010. – 548 с.

4 Виноградова Ю.К., Майоров С.Р., Хорун Л.В. Черная книга флоры Средней России: чужеродные виды растений в экосистемах Средней России. – М., 2010. – 512 с.

5 Решетникова Н.М., Майоров С.Р., Крылов А.В. Черная книга Калужской области. Сосудистые растения. – Калуга, ООО «Ваш Домъ», 2019. – 342 с.

## ОЦЕНКА СТЕПЕНИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОЗДУХА МИКРОРАЙОНА ОЛЬГОВКА ГОРОДА КАЛУГИ МЕТОДОМ ЛИХЕНОИНДИКАЦИИ

*К.И. Пучкова, Е.Г. Чадова*
*МБОУ «Средняя общеобразовательная школа №16 им. И.Ф. Милёхина, г. Калуга, Россия*

Биологический мониторинг проводился на микрорайоне Ольговка города Калуги. В качестве биоиндикаторов чистоты воздуха выбраны эпифитные лишайники на коре березы.

Цель: определение степени загрязнения атмосферного воздуха микрорайона Ольговка г. Калуги методом лихеноиндикации.

Исследовались шесть пробных площадок (рис. 1).

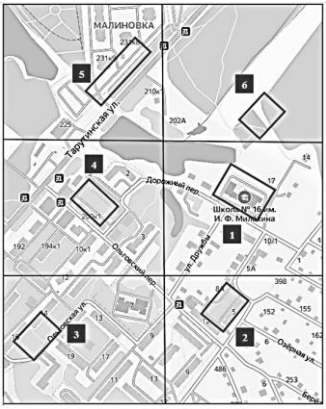



Рис. 1. Карта микрорайона Ольговка, квадраты и пробные площадки

Полевые измерения проективного покрытия лишайников ствола березы осуществлялись метода лихеноиндикации двумя техническими приемами: «линейных пересечений» и способом «палетки». Рассчитанные данные показали, что воздух загрязнен сильно, степень покрытия лишайниками составляет 16%, а количество видов лишайников – 2 (пл. №5); загрязнен умеренно, степень покрытия лишайниками составляет 38%, количество видов лишайников – 1-2 (пл. №2), степень покрытия лишайниками – 27%, количество видов лишайников – 1-2 (пл. №3), степень покрытия лишайниками – 24%, количество видов лишайников – 1-2 (пл. №4); относительно чистый, степень покрытия лишайниками – 47%, количество видов лишайников – 5-6 (пл. №1); очень чистый, степень покрытия лишайниками —– 52%, количество видов лишайников – 6-8 (пл. №6) (рис. 2).

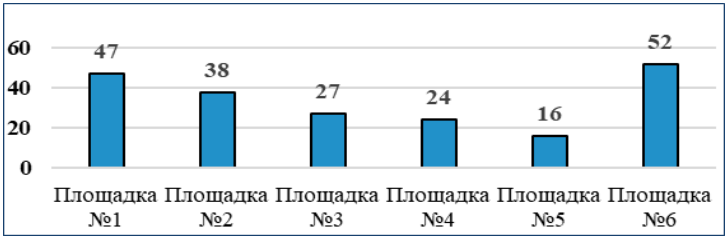



Рис. 2. Степень покрытия лишайниками, %

В условиях микрорайона Ольговка влияние загрязнителей не критическое, но загрязнения ощутимы. Наименьшая численность видов лишайников и наименьшая степень проективного покрытия наблюдается вдоль проезжей части дороги (автомобильной трассы) по улице Тарутинская (пл. №5).

Данная работа имеет большое практическое значение при оценке состояния окружающей среды микрорайона Ольговка.

***Литература***

1 Ашихмина Т.Я., Кантор Г.Я., Васильева А.Н. Экологический мониторинг: учебно-методическое пособие – М.: Академический проект; Альма Матер, 2008. – 416 с.

2 Новиков Ю.В. Экология, окружающая среда и человек: учеб. пособие для вузов, средних школ и колледжей. – М.: ФАИР-ПРЕСС, 2005. – 736 с.

3 Солдатенкова Ю.П. Малый практикум по ботанике: Лишайники: (Кустистые и листовые) – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1997. – 128 с.

## ПЛАЗМИД-ОПОСРЕДОВАННАЯ ПЕРЕДАЧА ФЕНОТИПА ПРОДУЦЕНТА БЕТА-ЛАКТАМАЗ РАСШИРЕННОГО СПЕКТРА В КОМПЕТЕНТНЫЕ КЛЕТКИ *E.coli* DH5α

*Е.А. Степанова[1], А.М. Седракян, Ш.С. Акопян[2], М.М. Рассказова[3]*

*[1] – МБОУ «СОШ 11», г. Обнинск, Россия*

*[2] – Институт молекулярной биологии Национальной Академии Наук Республики Армения, г. Ереван, Армения*

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

Заболеваемость сальмонеллёзом в странах СНГ с января по май 2023 г. выросла на 39%, что подчёркивает клиническую значимость профилактики и лечения именно этого заболевания. Не менее важным является изучение причин столь быстрого распространения этого заболевания. Основных причин несколь-

ко, но одной из самых значимых является появление у патогенов устойчивости к антибиотикам, применяющимся при лечении сальмонеллёза.

В качестве донора плазмидной ДНК был использован клинический штамм *Salmonella enterica Serovar Typhimurium* A_3040 [1]. В ходе аннотации на 20 контиге генома (рис.1) была обнаружена плазмида pCTXM5-1358 (рис. 2), несущая ген CTX-M-5 (рис. 3), кодирующий β-лактамазу расширенного спектра.

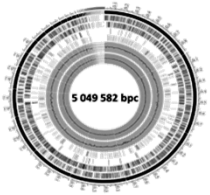



Рисунок 1.
Геном S. ser. Typhimurium str. A_3040

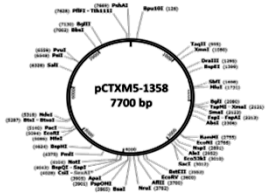



Рисунок 2.
Плазмида pCTXM5-1358



Рисунок 3.
Ген CTX-M-5 β- lactamase

В качестве реципиентного штамма использовалась *Escherichia coli* DH5alpha, содержащая плазмиду pCMV-GCaMP3, несущую ген устойчивости к канамицину.

Трансформация выполнялась методом теплового шока [2]. Исходя из аннотаций, предполагаемый размер рестрикционных фрагментов – 5,3 тыс. пар нуклеотидов (*E.coli* DH5alpha) и 7,7 тыс. пар нуклеотидов (*S. ser. Typhimurium* str. A_3040). Продукты рестрикциии разделяли путем проведения гель-электрофореза.

В ходе экспериментов по оценке эффективности бактериальной трансформации плазмидой, несущей ген blaCTX-M-5, кодирующий β-лактамазы расширенного спектра, были уточнены размеры плазмид:

- pCTXM5-1358 – 8,5 тыс. пар нуклеотидов (*S. ser. Typhimurium* str. A_3040);
- pCMV-GCaMP3 – 5,3 тыс. пар нуклеотидов (*E.coli* DH5alpha).

Результаты указали на возможность распространения клинически проблемного фенотипа-продуцента β-лактамаз расширен-

ного спектра среди *Enterobacteriaceae*, что представляет наибольшую угрозу целой группе антибактериальных препаратов, применяющихся при лечении в том числе и сальмонеллёза, что подтверждает острую необходимость в разработке новых, современных методов лечения инфекционных заболеваний, в частности сальмонеллёза. Данная работа доказывает, что горизонтальный перенос генов является движущей силой в эволюции бактерий и способом приобретения бактериальными популяциями генов резистентности. Именно за счет горизонтальных инновационных приобретений в основном и происходит ускоренное освоение новых экологических ниш.

***Литература***

1 Sedrakyan A.M., Ktsoyan Z.A., Arakelova K.A. et al. Extended-spectrum β-lactamases in human isolates of multidrug-resistant non-typhoidal salmonella enterica // Front. Microbiol. 2020. V. 11. DOI: 10.3389/fmicb.2020.592223

2 Hanahan D., Jessee J., Bloom F.R. et al. Plasmid transformation of *Escherichia coli* and other bacteria // Methods Enzymol. 1991. V. 204. P. 63-113.

## БИОГУМУС НА ДАЧНЫХ УЧАСТКАХ

*С.С. Титова, Н.А. Серова*
*МБОУ «Лицей «ДЕРЖАВА», г. Обнинск, Россия*

В рационе питания современного человека всё больше стало продуктов, загрязнённых нитратами, антибиотиками, гормонами и другими добавками, не улучшающими наше здоровье. Чтобы вырастить экологически чистую продукцию необходимо подобрать целый комплекс минеральных и органических удобрений.

Цель исследования: изучить влияние биогумуса на фазы развития растений. 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 [1].

Методика приготовления питательного грунта и водного раствора биогумуса была взята из статьи А.М. Игонина [2]. Результаты исследования показали, что биогумус положительно влияет на всхожесть семян фасоли, тыквы и гороха (рис. 1).

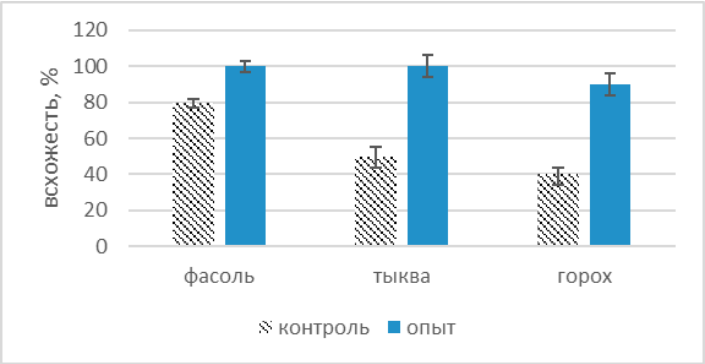



Рис. 1. Влияние биогумуса на всхожесть семян у разных видов растений

Из табл. 1 видно, что биогумус ускоряет рост корней и проростков дыни. Проростки в почве с биогумусом на 6 см длиннее, чем в обычной почве. Длина корней проростков дыни при использовании биогумуса на 4 см больше, чем в контрольном опыте.

Таблица 1

Влияние биогумуса на длину корней и стебля проростков гороха *(Pisum sativum)*

| | Длина корней, см | Длина стебля проростков, см |
|---|---|---|
| Контроль (вода) | 8±0,4 | 4±0,3 |
| Опыт (биогумус) | 12±0,7 | 10±0,6 |

Показано, что водный раствор биогумуса можно использовать для быстрого получения корней у комнатных растений и дальнейшего их размножения.

Выявлено, что биогумус увеличивает содержание витамина С в листьях репчатого лука, луковицы которого в течение месяца проращивались в вытяжках биогумуса: в опытных образцах со-

держание составило 72,6 ±2,2 мг/100 г сырой ткани листьев, что в 1,74 раза выше, чем в контроле.

Таким образом, биогумус ускоряет прорастание семян и оказывает благоприятное воздействие на дальнейшие показатели роста растений, повышает содержание витамина С, а также позволяет решить проблему утилизации различных отходов на дачных участках.

***Литература***

1 Кощаев А. Г., Кощаева 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.

## ИЗУЧЕНИЕ СТЕПЕНИ ЗАГРЯЗНЕННОСТИ УЛИЦ ГОРОДА КАЛУГИ ВЫХЛОПНЫМИ ГАЗАМИ

*Т.В. Якушин, А.В. Королев*
*МБОУ «СОШ №18», г. Калуга, Россия*

Чрезмерное использование транспортных средств загрязняет нашу окружающую среду многими токсичными и канцерогенными веществами. Окись углерода, вызванная неправильным или неполным сгоранием и обычно выделяемая из транспортных средств, является крупным загрязнителем наряду с оксидами азота, которые вырабатываются из природных и антропогенных процессов [1,2].

Объект исследования: автомобильные выхлопы как основные загрязнители воздуха на улицах: Кирова, Московская, Ленина, Жукова, Грабцевское шоссе, Гагарина, Зерновая, Синие Мосты, Правобережье.

В процессе исследования было посчитано количество проезжающих машин по улицам г. Калуги за час, затем пересчитано на сутки. Учтено, что в Российской Федерации действуют стан-

дарты Евро 5, большинство легковых машин с бензиновым двигателем 1,6 литра. После чего были сделаны расчеты, результаты которых отражены в табл. 1.

По результатам исследования по наиболее загруженным улицам Калуги за час проезжает больше 2000 автомобилей. Проведен расчет количества выбросов автомобильным транспортом угарного газа, оксидов азота, углеводородов и суммарного количества выбросов в атмосферу. Он показал, что наибольшее загрязнение выхлопными газами на Правом берегу в районе выезда на Левый берег и на улице Гагарина. Результаты исследования отражены в табл. 1.

Таблица 1

Выбросы выхлопных газов на улицах Калуги

| улица | К(CH), г/км | К(CO), г/км | К(NOx), г/км | К(всего), г/км |
|---|---|---|---|---|
| Кирова | 74,4 | 1190,4 | 89,28 | 1354,08 |
| Московская | 64,8 | 1036,8 | 77,76 | 1179,36 |
| Ленина | 67,2 | 1075,2 | 80,64 | 1223,04 |
| Жукова | 58,8 | 940,8 | 70,56 | 1070,16 |
| Гр.Шоссе | 56,4 | 902,4 | 67,68 | 1026,48 |
| Гагарина | 81,6 | 1305,6 | 97,92 | 1485,12 |
| Зерновая | 86,4 | 1382,4 | 103,68 | 1572,48 |
| Синие Мосты | 93,6 | 1497,6 | 112,32 | 1703,52 |
| Правобережье | 100,8 | 1612,8 | 120,96 | 1834,56 |

***Литература***

1 Александров В.Ю., Кузубова Е.П., Яблокова Е.П. Экологические проблемы автомобильного транспорта. – Новосибирск: ГПНТБ, 1995. – 112 с.

2 Александров Э.Л., Израэль Ю.А., Кароль И.Л., Хргиан Л.Х. Озонный щит Земли и его изменения. – СПб.: Гидрометеоиздат, 1992. – 287 с.

## СОДЕРЖАНИЕ

**Программный комитет VI Международной (XIX Региональной) научной конференции «Техногенные системы и экологический риск»** 3

**Пленарное заседание** 7

Баранова М.М. Радиационная обработка пищевых продуктов. Практический опыт 7

Панов А.В. Решение проблем реабилитации населённых пунктов, подвергшихся воздействию от аварии на Чернобыльской АЭС 9

**Секция 1. Ядерная и тепловая энергетика** 12

Blessings M., Samokhin D.S. Probability safety analysis of main systems and equipment in NPP 12

Folkenberg S.R., Zevyakin A.S. VVER-1200 reactor core pin cell steady-state thermal hydraulics analyses and cross-validation 13

Pravosud S.S., Susakin V.S., Yakubov Ya.O., Maslako D.S. Multiple point kinetics equation study for the VVER-1200 load following mode of operation 15

Pravosud S.S., Yakubov Ya.O., Susakin V.S., Maslako D.S. Hierarchical cascade control system of the nuclear reactor power along with outlet coolant temperature 17

Sibomana D., Fomin R.V. Production of californium-252 with fast neutron spectrum 19

Veretennikov D.G. Assessment of neutron radiation dose rate from modified nuclear fuel 21

Kwizera M., Danilov P.A. Comparison of Al-Fe & Fe-Al layers interchange for shielding against γ-rays 23

Баканова Е.А., Воробьев А.В., Терехова А.М. Изменение концентрация ксенона при отравлении реактора на тепловых нейтронах с учетом изотопа Te-135 25

Баранчикова А.Р., Пахолик Д.А., Кочнов О.Ю. Расчётное исследование возможности получения радионуклида Lu-177 на водо-водяном ядерном реакторе бассейнового типа 27

Бессонов И.А., Лезов А.Д., Ревякина П.А., Завадский Д.И., Ташлыков О.Л. Анализ влияния внешних условий на процессы фазового перехода в натриевом оборудовании атомных станций 29

Буркеев М.З., Внуков Р.А. Валидация модели активной зоны реактора типа PWR в программном комплексе SERPENT 31

Веретельник Н.К., Внуков Р.А. Исследование шагов выгорания топлива в реакторе РИТМ-200 32

Внуков Р.А., Фирсов Е.И., Скулкин В.О., Гердт Э.А. Особенности оценки нейтронно-физических характеристик при расчете моделей ТВС и активных зон 34

Воробьев А.В., Баканова Е.А., Терехова А.М. Частные случаи решения уравнения точечной кинетики в приближении шести групп запаздывающих нейтронов в Wolfram Mathematica 35

Воронцова А.А., Внуков Р.А. Особенности борного регулирования при моделировании ТВС со спектральным регулированием 36

Жендубаев А.М., Внуков Р.А. Особенности определения доли запаздывающих нейтронов в жидкосолевом гомогенном реакторе 38

Закиров Н.А., Котов Я.А. Оценка влияния локальных неоднородностей спектра в реакторе ВВЭР-С с учетом выгорания 40

Земляных В.П., Базин Д.А. Обзор микрореакторов 41

Иванов Д.В., Зевякин А.С., Ахцигер И.А., Ахцигер В.В. Моделирование условий гидравлического испытания оборудования с точки зрения прочности оборудования АЭС 43

Исанов К.А., Колесов В.В. Исследование возможности облагораживания плутония различного качества посредством однократного рецикла в реакторе типа БН-1200 45

Кропочев Е.В., Брендаков В.Н. Оптимизация режима работы среднетемпературного электролизера 47

Мезаал Н.А., Калютик А.А., Али К.А., Расоол Б.Х. Влияние использования малых компонентов природного газа на каталитическую активность и стабильность вместо метана как одного компонента 49

Моренко В.А., Сентебов Н.О., Терехова А.М. Вторичное использования плутония и отвального урана в реакторах на быстрых нейтронах при гетерогенном размещении 51

Никитин Д.А. Тестирование ПК “ЛОГОС” применительно к задаче расчета перепада давления в задвижке 53

Орешенкова Е.К., Данилюк Ю.С., Терехова А.М. Изменение нуклидного состава топлива с кюриевыми фракциями 55

Патракеева А.И., Шлапак Н.П. Использование программного кода OPENMC для моделирования активной зоны реактора ВВЭР-1000 57

Шапошникова М.В., Внуков Р.А. Кросс-верификация модели SNAP-10A при расчете выгорания с использованием ПК SERPENT 58

Ширкова Д.Е., Терехова А.М. Изотоп Cm-244 в топливных фракциях быстрых реакторов 60

Шомахмадов И.Б. Преимущества и риски жидкосолевых ядерных реакторов 62

Яковлева В.В., Зарапина Э.М. Расчёт эффективности органов СУЗ в рамках задачи расчётного сопровождения эксплуатации реактора БН-600 63

Ярмак А.М. Особенности наработки изотопа Pu-238 для РИТЭГ 65

**Секция 2. Интеллектуальные цифровые технологии** 67

Ахцигер В.В., Ахцигер И.А., Иванов Д.В., Трофимов М.А. Автоматизированная коллимация лазерного модуля при помощи машинного зрения 67

Болотникова А.А., Патракеева А.И., Шлапак Н.П. Способы внедрения физически обусловленных нейросетей в нейтронно-физический расчет 69

Бондарева Л.Г., Федорова Н.Е. Использование искусственного интеллекта при моделировании процессов, протекающих в окружающей среде 71

Горюнов А.Г., Суханов Е.А., Сапцына А.Ю. Разработка математической модели для подготовки специалистов в области безопасности 73

Дворецкий С.В., Распопо Д.А., Белоусов П.А. Разработка приложения для контроля показателей качества электросети 75

Степанов А.А., Шлапак Н.П., Минченков Д.А. Анализ износа системы аварийного ввода бора в активную зону реакторной установки типа ВВЭР-1000 76

Шарипбаев С.С., Белоусов П.А., Легконогих С.В. Цифровое моделирование процесса промышленной томографии объектов 78

Шлапак Н.П., Батурин С.П. Разработка мультимодальной нейросетевой модели для оцифровки текстовых документов 81

**Секция 3. Техногенный и экологический риски. Радиационная безопасность** 83

Awuah C., Ini G. Radiological exposure from soils at gold mining sites and its possibility of affecting workers and nearby residents: a systematic review and meta-analysis 83

Simpunga E., Roshchenko V.A. Monte Carlo simulation of neutron porosity for borehole logging applications 85

Tikhonov A.E., Rastorguev, Novoselov I.Yu. Plasma recycling of combustible waste processing spent nuclear fuel of a closed NFC 87

Агаева З.Р., Джабаров Э.Э., Байрамова С.С., Абдуллаева Л.А. Оценка воздействия на окружающую среду токсичных веществ 88

Айдаралиев Б.Р., Алиева Э.К., Шералиева А.Т. Влияние урановых захоронений на здоровье населения 90

Алексеев Дм.М., Лащенова Т.Н., Алексеев Дан.М. Оценка доз внешнего техногенного облучения на территории радиационно опасного объекта 92

Алексеев Д.М., Алексеев Д.М., Лащенова Т. Н. Особенности учета интегральных доз внешнего облучения 94

Алиева Э.К., Айдаралиев Б.Р., Асанбеков Н.Т. Радиационная безопасность и техногенные риски 96

Антонова Е.Ю., Антонова Е.Ю., Бобылев В.А., Бураева Е.А. Сравнительная характеристика поверхностного распределения радионуклидов в зоне чернозёмных почв природных, природно-техногенных и урбанизированных территорий Ростовской области 99

Артемова О.В., Тарасова Л.С. Риск воздействия на работающих пестицида на основе лямбда-цигалотрина 101

Белицкая С.С., Бураева Е.А. Оценка гамма-фона в зоне наблюдения Нововоронежской АЭС 103

Бобылев В.А., Бураева Е.А. Радиоэкологический мониторинг зоны наблюдения Волгодонской (Ростовской) АЭС 104

Богачева Е.Г., Полянская О.Н., Зубачева А.А. Анализ случаев обнаружения кратковременного повышения суммарной бета-активности на сети радиационного мониторинга Росгидромета 105

Бондарева Л.Г. Алгоритм определения трития в биологических объектах животного и растительного происхождения с последующим использованием в оценке риска здоровья населения 107

Величко У.А., Бураева Е.А. Распределение естественных радионуклидов в компонентах экосистем на примере Горной Адыгеи 109

Воложенинов Т.П., Касков Д.О., Ташлыков О.Л. Расчетно-экспериментальное исследование активации борированного и силикатного стекла при облучении потоком тепловых нейтронов 111

Воронин И.П., Широнина А.М., Ярков В.Ю., Ташлыков О.Л. Оценка влияния содержания металлических отходов на радиационно-защитные свойства галлуазита 113

Дубров Н.И., Бураева Е.А. Оценка радиационной обстановки в населённых пунктах Октябрьского района Ростовской области 115

Егорова А.М. Вопросы гигиенического контроля ультрафиолетового излучения 116

Журов В.В. Математическое моделирование для оценки экологических рисков низкочастотных электрических и магнитных полей воздушных линий электропередачи 119

Заволокина Н.Г. Оценка риска воздействия на работающих гербицидов на основе пропизохлора 121

Каткова М.Н., Куприянова И.А. Модернизация технологии обеспечения данными профессиональных пользователей в части радиационного мониторинга окружающей среды 123

Качусов Д.А., Бураева Е.А. Исследование распределения мощности амбиентного эквивалента дозы гамма-излучения на территории Неклиновского района Ростовской области 124

Киселёв С.М., Шлыгин В.В., Зозуль Ю.Н., Ахромеев С.В., Малахова А.Н., Файзрахманов Ф.Ф. Исследование ЭРОА радона в воздухе детских образовательных учреждений г. Снежинск 126

Копыльцова Е.В., Шамаль Н.В., Сеглин В.Н., Тимохина Н.В. Визуализация современной радиационной обстановки с использованием данных воздушной фотограмметрии высокого разрешения 128

Корнева А.А., Балакин М.Д., Гуревич А.В. Применение g-критерия Кохрена при выполнении исследований на содержание радионуклидов в образцах 130

Кувшинова Е.В., Пыльцова Д.О., Ташлыков О.Л., Тхыонг Та Ван, Махмуд К.А., Ярков В.Ю. Оценка возможности применения природных минералов Вьетнама в качестве радиационно-защитных материалов 132

Кузнецова К.А., Бураева Е.А. Исследование территорий городов и населенных пунктов Донбасса с развитой угольной промышленностью на наличие повышенного гамма-фона 134

Курбаков Д.Н., Панов А.В., Кузнецов В.К., Сидорова Е.В., Дементьева Н.В., Саруханов А.В., Микаилова Р.А. Обоснование реабилитационных технологий на территориях, загрязненных тяжелыми металлами 135

Лаврусевич А.А., Арефьева Е.В., Машкова Е.А., Репкин А.Ю. Геоэкологические риски пожаров и псевдокарста в криолитозоне 137

Лащенова Т.Н., Карл Л.Э., Губанова Ю.К. Радиоэкологические и гигиенические подходы для вывода из эксплуатации радиационно опасных объектов 139

Левченко В.А., Кащеев М.В., Шовиков А.В. Радиационно-защитный бокс для проведения нейтронозахватной терапии на реакторе МБИР 141

Легких К.Г., Грушичева Е.А., Трифанова Е.М., Раскач О.В., Фокина Д.А. Разработка технологии обращения с ЖРО, содержащими альфа-нуклиды 143

Максимова П.В., Лащенова Т.Н., Купцов В.В. Мониторинг состояния здоровья критической группы населения, проживающей в районе расположения АЭС 145

Маломыжева Н.В., Бобылев В.А., Бураева Е.А. Удельная активность $^{137}$Cs в почвах Ростовской области на территориях различной антропогенной нагрузки 147

Мамчиц Е.Г., Дорогов В.И. Вывод из эксплуатации в Объединенной конвенции: инструменты оценки финансовых обязательств 150

Микаилова Р.А., Спиридонов С.И., Курбаков Д.Н. Сравнительная оценка вкладов радионуклидов в суммарную активность выбросов и дозовую нагрузку на население (на примере НВАЭС) 152

Мирзоев Э.Б. Анализ допустимых уровней $^{137}$Cs в кормах для сельскохозяйственных животных 154

Михеева Е.Н. Оценка риска для работающих в сельском хозяйстве РФ при различных технологиях применения пестицидов на основе мефеноксама 156

Мищенко Е.В., Тагай С.А., Шуранкова О.А., Леферд Г.А., Сухарева Д.В., Никитин А.Н. Оценка влияния температурного фактора на мобильность $^{137}Cs$ в пойменной почве 158

Моренко В.А., Сынзыныс Б.И. Оценка вклада трития в радиационную обстановку Курской области для АЭС с реакторными установками разных типов 160

Мусаходжаев У.О., Сынзыныс Б.И. Сравнение радиационной и химической опасности питьевой воды из родников с помощью оценки химического и радиационного риска 162

Нечаев А.Ф., Винницкий В.А. О радиационной безопасности промплощадок выведенных из эксплуатации объектов использования атомной энергии 164

Нилова Е.К., Силицкая И.А., Крысин А.И., Войтенко К.Ю., Качура В.Н. Оценка радиационной обстановки в зоне наблюдения Белорусской АЭС с использованием мобильной лаборатории 166

Останний Д.А., Арсланбекова Ф.Ф. Сравнительный анализ методов оценки профессиональных рисков на примере работника в области обращения с отходами 168

Парфенова А.А., Удовенко Е.В. Анализ состояния радиационной безопасности Брянской области 170

Плахотняя Д.П., Бобылев В.А., Бураева Е.А. Результаты радиоэкологического мониторинга в населенных пунктах Краснодарского края 172

Рустамова У.Н., Гасымзаде С.С. Экологические риски производства алюминия 173

Рыбак А.В., Белых Е.С., Майстренко Т.А., Велегжа-нинов И.О., Тавлеева М.М., Расова Е.Е. Таксономическое разнообразие и функциональные особенности сообществ почвенных бактерий в условиях радиоактивного загрязнения 175

Садофьев И.Д., Панин М.П. Радиационная безопасность источника синхротронного излучения на базе ускорителя 176

электронов на 6 ГэВ

Сайфудинов Т.К., Бураева Е.А. Концентрация $^{137}Cs$ в почвах 30-км зоны наблюдения Ростовской АЭС 178

Светличный Ю.А., Лащенова Т.Н. Дисперсный состав аэрозолей приземного слоя атмосферного воздуха в районе расположения радиационно опасных объектов на территории Москвы 180

Симонова Д.Д., Сынзыныс Б.И. Оценка химической и радиационной опасности по критерию риска для талой воды 183

Смирнов Е.С. Оптимизация системы радиационного контроля при производстве микроисточников с I-125 «IPPE SEED» 185

Стогова И.В., Прудникова Е.С., Мухалев В.Н. Определение уровней объемной активности в крупных городах в случае возникновения аварийной ситуации на АЭС 186

Стреляева З.В. Радиохимический метод определения стронция-90 в объектах Ветнадзора 188

Тургаева М.О., Арсланбекова Ф.Ф. Оценка эффективности системы управления охраной труда, внедренной по договору аутсорсинга на производстве элементов электронной аппаратуры 190

Ульянова А.А., Семенова Д.С. Оценка уровня загрязнения шумом городской среды 192

Чернов С.А., Арсланбекова Ф.Ф. Исследование влияния освещения на работоспособность и здоровье работников в выставочном павильоне 194

Шаповалов Е.С., Бураева Е.А. Вклад в годовую эффективную дозу от естественных радионуклидов $^{226}Ra$, $^{232}Th$, $^{40}K$ и искусственного $^{137}Cs$ 196

Шлыгин В.В., Киселёв С.М., Зозуль Ю.Н., Ахромеев С.В. Сравнительная оценка загрязнения подземных вод контаминантами различной природы на объектах ядерного наследия 198

Яхрюшин В.Н., Полянская О.Н., Борисенко В.В., Голубцова И.В. Анализ суточного хода β- и γ- излучения под фильтром воздухо-фильтрующей установки на 4 станциях наблюдения 200

**Секция 4. Биотестирование и биоиндикация объектов окружающей среды** 203

Амбросович М., Свинторжицкая В., Тарун Е. Антиоксидантные свойства экстрактов различных видов лишайников 203

Андрейчук С.Д., Суворова С.Ю., Пятов В.С., Ульяшова А.А., Шерова А.Д., Рассказова М.М. Результаты биологического мониторинга водоемов-охладителей Калининской АЭС 205

Гаджиева С.Р., Мустафаев И.И., Алиева Т.И. Биомониторинг атмосферного воздуха озер Бинегеди и Мирзеледи с использованием мхов-трансплантов 207

Горбатов С.А., Суслов А.А., Иванкин Н.Г., Петров К.В., Тихонов А.В., Горбатова И.В., Петрухина Д.И., Иванов И.А. Изучение действия гумитона, активированного низкотемпературной плазмой, на прорастание семян ярового ячменя 209

Еременко К.В., Зубкова В.М. Биоаккумуляция тяжелых металлов листьями древесных растений, расположенных вдоль оживленных автомагистралей города Москвы 211

Жалнина А.А., Ускалова Д.В. Оптимизация методики ПЦР в реальном времени на тест-объекте *Daphnia Magna* 213

Зотина Т.А., Сухоруков В.В., Мельгунов М.С., Александрова Ю.В., Карпов А.Д. Оценка вклада внеклеточных частиц в накопление радионуклидов водным мхом р. Енисей 215

Кекина Е.Г., Егорова М.В., Щербаков П.А., Богданов М.В. Сравнительная оценка результатов анализа атмосферного воздуха по токсикологическому и санитарно-химическому показателю 217

Минникова Т.В. Фитотоксичность аридных почв юга России при загрязнении нефтью и дизельным топливом 219

Мусихина Т.А., Ушакова Ю.Н., Земцова Е.А., Бабина А.А. Комплексное исследование качества снега в городе Кирове 221

Мышлявкина Т.А., Лавренов А.Р., Умнова Н.В., Ким А.И., Румак В.С. Оценка экотоксичности загрязненной диоксинами среды: учет чувствительности/ резистентности рыжих полевок к действию малых доз 223

Рыжова Е.М., Игнатов М.С., Игнатова Е.А. Новые данные о мхах рода *Schistidium* по результатам морфологического и молекулярно-филогенетического анализа 225

Суворова С.Ю., Комарова Л.Н., Рассказова М.М. К проблеме биологического обрастания в системах технического водоснабжения АЭС 227

Танкевич Е.А. Микроорганизмы агрономически ценных групп в почвах Полесского государственного радиационно-экологического заповедника 229

Татаринцева М.А., Рогова Н.С., Рыжакова Н.К. Оценка уровня загрязнения воздуха с использованием индексов загрязнения (г. Березовский) 231

**Секция 5. Экологическая и фармацевтическая химия** 234

Антипова В.И. Гигиеническая оценка применения пестицидов при высеве протравленного зерна и при уборке урожая в сельском хозяйстве 234

Белицкая В.В. Новый фунгицид класса изоксазолинов: значимость метаболизма в аналитическом контроле 236

Гаджиева С.Р., Мустафаев И.И., Алиева Т.И. Экологическое оценивание озера Масазыр 238

Гречина М.С. Определение пестицида на основе производного феноксиуксусной кислоты в почве 240

Деруго Е.С., Бакунович А. В. Молекулярный докинг транексамовой и аминокапроновой кислот с протеином С 242

Егорченкова О.Е. Измерение концентраций тиабендазола в воде методом газовой хроматографии с масс-спектрометрическим детектированием 244

Епишина Т.М. Влияние нового технического продукта производного оксатиинкарбоксамидов на репродуктивную функцию теплокровных 246

Епишина Т.М., Чхвиркия Е.Г. Токсичность и опасность нового гербицидного препарата 248

Ивченкова А.А., Добрев С.Д. Оптимизация методов ВЭЖХ-МС/МС при анализе проб, содержащих гидрофобные и гидрофильные агенты 250

Кекина Е.Г., Егорова М.В., Федосеева Н.П., Кекин Е.С. Определение рутина в некоторых лекарственных формах для наружного применения 253

Ларькина М.В., Егорченкова О.Е. Аналитический подход к определению этиленгликоля в почве 255

Минаков Д.А., Мельникова Т.В., Удалова А.А. Оценка первичных физико-химических показателей и содержания тяжёлых металлов в водоёмах, расположенных вблизи радиационно-опасного объекта 257

Митько И.В., Бакунович А.В. Квантово-химическое моделирование и биологическая активность тилорона 259

Панфилов А.В., Коробков А.В., Бузмаков В.В., Терешин В.В. Изучение абсорбции тетрахлорида циркония расплавом KCl – $AlCl_3$ применительно к экстрактивной ректификации хлоридов циркония и гафния 261

Родионов А.С., Егорова М.В. Атомно-абсорбционное определение свинца в жидких лакокрасочных материалах 263

Самсонова Д.П., Ларионов Е.А., Ларионова В.М. Исследование гриба *Cordyceps Militaris* и биологически активных добавок на его основе 265

Соболев Д.Н. Оценка безопасности окружающей среды при применении пестицидов 267

Степанова Н.А. Методические подходы к определению эмамектина бензоата в плодовых косточковых 269

Федорова Н.Е., Добрева Н.И., Суслова А.В. Алгоритм определения содержания хлорорганических пестицидов в продукции животного происхождения 271

Федорова Н.Е., Молчанов М.Д., Соболев Д.Н. Альтернативные приемы газохроматографического определения гомологов алифатических кислот 273

Шибецкая Ю.Г., Разина В.А., Бежин Н.А., Тананаев И.Г. Исследование динамики сорбции $^{137}Cs$ новыми сорбентами на основе полиакрилатного волокна и гексацианоферратов переходных металлов 275

**Секция 6. Эффекты действия ионизирующего и неионизирующего излучения** 278

Niyonsenga E., Pavlov A.N. Comparison of numerically simulated and measured dose rate for gamma irradiation facility 278

Hirwa M.B., Shoshina R.R., Cherkasova E.E., Lavrentyeva G.V. Koryakin S.N., Saburov V.O. Comparative assessment of changes in the mortality rate of *Fruticicola Fruticum* Mull. with β- and ɣ-irradiation 280

Kwizera C., Shoshina R.R., Cherkasova E.E., Lavrentyeva G.V., Koryakin S.N., Saburov V.O. The study of changes in the mortality rate of *Fruticicola fruticum* Mull. under β – irradiation 282

Tanui L.K., Udalova A.A., Cherkasova E.E., Shoshina R.R. Comparative analysis of $LD_{50}$ calculation methods based on experimental data 284

Белая О.В., Митрюшина А.В. Оценка максимального вклада базовых станций стандарта LTE в окружающую электромагнитную обстановку 285

Губайдуллин И.М., Колесов В.В. Кросс-верификация кода GEANT4 моделирования облучения гамма-квантами объектов при радиационном загрязнении 288

Гусева О.А., Цыгвинцев П.Н. Ответная реакция ячменя при сочетанном остром УФ (А+В) облучении в разных фазах органогенеза 290

Дремин А.И., Макарова-Землянская Е.Н. Физиолого-гигиеническая оценка состояния электротехнического персонала при работе вблизи воздушных линий 750 Кв с учетом термической нагрузки среды 292

Ергольская Н.В. Рекомбинационные эффекты электромагнитного излучения миллиметрового диапазона длин волн у *Drosophila Melanogaster* 294

Калачева А.Е. Математическое моделирование условий электромагнитной обстановки высоковольтных линий электропередачи 296

Карманова Е.Е., Гончаров Р.Г., Кобялко В.О., Павлов А.Н., Брусков В.И., Шарапов М.Г. Влияние мощности дозы ионизирующего излучения на радиопротекторный эффект экзогенного пероксиредоксина 6 при однократном тотальном облучении мышей 298

Подлуцкий М.С., Воронежская В.С., Шестерикова Е.М., Блинова Я.А., Подлуцкая А.В., Казакова Е.А. Идентификация радиационно-индуцированных однонуклеотидных полиморфизмов в геномах растений *Arabidopsis Thaliana,* произраставших на территориях, загрязненных в результате аварии на Чернобыльской АЭС 300

Попова М.К., Конопатов А.В., Конова К.Ю., Лебедева Л.А., Шидловский Ю.В. Изучение механизма взаимодействия P53-зависимого энхансера 75C6 И ГЕНА XRP1 у дрозофилы в ответ на стимуляцию γ-облучением 302

Сёмкина А.А., Соловьев А.Н. Моделирование ситуации облучения торса 304

Симончик Ю.К., Танкевич Е.А., Леферд Г.А. Влияние фракционированного облучения на активность каталазы в биомассе цианобактерии спирулины (*Arthrospira Platensis)* 305

Соболева Л.А., Матчук О.Н., Замулаева И.А. Изменение пула стволовых клеток рака шейки матки линии SiHa после воздействия γ-излучения 307

Стрельникова Н.С., Розанова О.М., Смирнова Е.Н., Белякова Т.А. Оценка генотоксического действия хронического низкоинтенсивного ионизирующего излучения и радиоактивного стронция на эритроциты костного мозга мышей 309

Тендитник Е.А., Ольховая Е.Р., Купцова П.С., Лапенко А.К., Чудновец Т.А., Комарова Л.Н., Ляпунова Е.Р. Исследование возможных радиопротекторных свойств мелатонина при действии гамма-излучения *in vitro* 311

Туков А.Р., Шафранский И.Л., Зиятдинов М.Н., Прохорова О.Н., Михайленко А.М. Риск смерти от болезней системы кровообращения ликвидаторов последствий аварии на ЧАЭС, работников предприятий атомной промышленности при использовании данных о дозах различных видов облучения 313

Храмцова А.С., Черкасова Е.Е., Шошина Р.Р., Лаврентьева Г.В., Корякин С.Н., Сабуров В.О. Изучение влияния острого β-облучения на массу наземного моллюска *Fruticicola Fruticum* 315

Эндебера О.П., Алленова Е.А. Влияние КВЧ излучения на функциональную асимметрию у *Drosophila Melanogaster* 317

**Секция 7. Школьная экологическая секция** 320

Беднякова В.С., Верушкина Г.Н. Экологические особенности и распространение свидины белой (*Cornus Alba Alba*) и свидины шелковистой (*Cornus Alba Sericea*) в фитоценозе Гурьяновского леса города Обнинска Калужской области 320

Белоусова Е.Д., Рассказова М.М. Распространение и характер произрастания видов адвентивной флоры на отдельных участках города Обнинска 322

Бычкова В.А., Леках И.В. Влияние автотранспортного загрязнения на содержание флавоноидов в растениях 324

Гусев В.В., Верушкина Г.Н. Метод исследования влияния концентрации загрязнителя PM 2.5 в воздухе на состояние хвои ели европейской на территории Жуковского района Калужской области 326

Мурыскина П.В., Смирнова А.С. Влияние хронического радиационного воздействия на содержание цитокининов в хвое сосны обыкновенной 328

Подлевских К.М., Харитонова И.Г. Распространение инвазионных видов древесных растений на территории города Боровск Калужской области 330

Пучкова К.И., Чадова Е.Г. Оценка степени загрязнения воздуха микрорайона Ольговка города Калуги методом лихеноиндикации 332

Степанова Е.А., Седракян А.М., Акопян Ш.С., Рассказова М.М. Плазмид-опосредованная передача фенотипа продуцента бета-лактамаз расширенного спектра в компетентные клетки E.coli DH5α 334

Титова С.С., Серова Н.А. Биогумус на дачных участках 336

Якушин Т.В., Королев А.В. Изучение степени загрязненности улиц города Калуги выхлопными газами 338

Оригинал-макет подготовлен А.А. Удаловой, Е.Е. Черкасовой

Подписано в печать 26.08.2024. Формат 60×84 1/ 16.
Печ. л. 22,5. Изд. № 018-2. Тираж 100 экз. Заказ №

Обнинский институт атомной энергетики НИЯУ МИФИ
249039, г. Обнинск Калужской обл., квартал Студенческий городок, 1