

# Медико-биологические проблемы жизнедеятельности

Научно-практический рецензируемый журнал

№ 1(31)

2024 г.

## Учредитель

Государственное учреждение  
«Республиканский научно-  
практический центр  
радиационной медицины  
и экологии человека»

**Журнал включен в** Перечень научных изданий Республики Беларусь для опубликования диссертационных исследований по медицинской и биологической отраслям науки (31.12.2009, протокол 25/1)

**Журнал зарегистрирован** Министерством информации Республики Беларусь, Свид. № 762 от 6.11.2009

Подписано в печать 30.04.24  
Формат 60×90/8. Бумага мелованная.  
Гарнитура «Times New Roman».  
Печать цифровая. Тираж 120 экз.  
Усл. печ. л. 19,5. Уч.-изд. л. 12,44.  
Зак. 379.

Издатель ГУ «Республиканский  
научно-практический центр  
радиационной медицины и  
экологии человека»  
Свидетельство N 1/410 от 14.08.2014

Отпечатано в КУП  
«Редакция газеты  
«Гомельская праўда»  
г. Гомель, ул. Полесская, 17а

ISSN 2074-2088

## Главный редактор, председатель редакционной коллегии

А.В. Рожко (д.м.н., профессор)

## Редакционная коллегия

В.С. Аверин (д.б.н., профессор, зам. гл. редактора),  
В.В. Аничкин (д.м.н., профессор), В.Н. Беляковский (д.м.н., профессор), К.Н. Буздакин (к.т.н., доцент), Н.Г. Власова (д.б.н., профессор, научный редактор), А.В. Величко (к.м.н., доцент), И.В. Веякин (к.б.н., доцент), Н.Н. Веякина (к.б.н., отв. секретарь), А.В. Воропаева (к.б.н., доцент), Д.И. Гавриленко (к.м.н.), М.О. Досина (к.б.н., доцент), А.В. Жарикова (к.м.н.), С.В. Зыблева (д.м.н., доцент), С.А. Игумнов (д.м.н., профессор), А.В. Коротаев (к.м.н., доцент), А.Н. Лызилов (д.м.н., профессор), А.В. Макарич (к.м.н., доцент), С.Б. Мельнов (д.б.н., профессор), В.М. Мицура (д.м.н., доцент), Я.Л. Навменова (к.м.н., доцент), Э.А. Надыров (к.м.н., доцент), И.А. Новикова (д.м.н., профессор), Э.Н. Платошкин (к.м.н., доцент), Э.А. Повелица (к.м.н.), А.С. Подгорная (к.м.н.), Ю.И. Рожко (к.м.н., доцент), И.П. Ромашевская (к.м.н.), А.П. Саливончик (к.б.н.), А.Е. Силин (к.б.н., доцент), А.Н. Стожаров (д.б.н., профессор), И.О. Стома (д.м.н., профессор), Н.И. Шевченко (к.б.н., доцент), Ю.И. Ярец (к.м.н., доцент)

## Редакционный совет

А.В. Аклеев (д.м.н., профессор, Челябинск), О.В. Алейникова (д.м.н., чл.-кор. НАН РБ, Минск), С.С. Алексанин (д.м.н., профессор, Санкт-Петербург), Е.Л. Богдан (Минск), Л.А. Бокерия (д.м.н., академик РАН и РАМН, Москва), А.Ю. Бушманов (д.м.н., профессор, Москва), И.И. Дедов (д.м.н., академик РАМН, Москва), В.И. Жарко (Минск), К.В. Котенко (д.м.н., профессор, Москва), В.Ю. Кравцов (д.б.н., профессор, Санкт-Петербург), Е.Н. Кроткова (к.м.н., доцент, Минск), Н.Г. Кручинский (д.м.н., профессор, Пинск), Т.В. Мохорт (д.м.н., профессор, Минск), Д.Л. Пиневиц (Минск), В.Ю. Рыбников (д.м.н., профессор, Санкт-Петербург), А.Л. Усс (д.м.н., профессор, Минск), В.А. Филонюк (д.м.н., профессор, Минск), Р.А. Часнойть (к.э.н., Минск), В.Д. Шило (Минск)

Технический редактор  
С.Н. Никонович

**Адрес редакции** 246040 г. Гомель, ул. Ильича, д. 290,  
ГУ «РНПЦ РМ и ЭЧ», редакция журнала  
тел (0232) 38-95-00, факс (0232) 37-80-97  
<http://www.mbp.rcrm.by> e-mail: [mbp@rcrm.by](mailto:mbp@rcrm.by)

© Государственное учреждение  
«Республиканский научно-практический центр  
радиационной медицины и экологии человека», 2024

№ 1(31)

2024

# Medical and Biological Problems of Life Activity

Scientific and Practical Journal

## **Founder**

Republican Research Centre  
for Radiation Medicine  
and Human Ecology

Journal registration  
by the Ministry of information  
of Republic of Belarus

Certificate № 762 of 6.11.2009

© Republican Research Centre  
for Radiation Medicine  
and Human Ecology

**ISSN 2074-2088**

**Обзоры и проблемные статьи**

- А.Ю. Захарко, А.С. Подгорная, О.В. Мурашко, М.Ю. Жандаров, А.Р. Ромбальская**  
Гладкомышечные опухоли с неопределенным злокачественным потенциалом (STUMP): современное состояние проблемы 6
- О.В. Мурашко, А.С. Подгорная, А.Ю. Захарко**  
Этиология и патогенез дисфункции тазового дна (обзор литературы) 16
- Е.С. Тихонова, С.В. Зыблева, В.Н. Мартинков**  
Факторы прогрессирования аллергических заболеваний у детей (обзор литературы) 22
- А.А. Чулков, З.А. Дундаров, А.В. Величко, С.Л. Зыблев, Я.Л. Навменова**  
Надпочечниковая недостаточность после оперативного лечения новообразований надпочечников: эпидемиология, диагностика, лечение и профилактика 30

**Медико-биологические проблемы**

- Н.Г. Власова, К.Н. Бuzдалкин, А.Н. Матарас**  
Обоснование референтного уровня облучения граждан Республики Беларусь в ситуации существующего облучения, сложившейся после аварии на Чернобыльской АЭС 40
- Д.Б. Куликович**  
Сравнительный анализ методических подходов оценки накопленных доз внешнего облучения лиц, проживающих на загрязненной радионуклидами территории в результате аварии на ЧАЭС, за период 1986-1989 гг. 48
- Е.К. Нилова, К.Н. Бuzдалкин, В.Л. Самсонов**  
Оценка активности удаленных источников гамма-излучения 55

**Reviews and problem articles**

- A.Yu. Zaharko, A.S. Podgornaya, O.V. Murashko, M.Yu. Zhandarov, A.R. Rombalskaya**  
Smooth muscle tumors of uncertain malignant potential (STUMP): current state of the problem 6
- O.V. Murashko, A.S. Podgornaya, A.Y. Zakharko**  
Etiology and pathogenesis of pelvic floor dysfunction (literature review) 16
- E.S. Tikhonova, S.V. Zybleva, V.N. Martinkov**  
Factors of allergic disease progression in children (literature review) 22
- A.A. Chulkov, Z.A. Dundarov, A.V. Velichko, S.L. Zyblev, Ya.L. Navmenova**  
Adrenal insufficiency after surgical treatment of adrenal neoplasms: epidemiology, diagnosis, treatment and prevention 30

**Medical-biological problems**

- N.G. Vlasova, K.N. Buzdalkin, A.N. Mataras**  
Substantiation of the exposure reference level of Belarus citizens in the situation of existing exposure after the Chernobyl accident 40
- D.B. Kulikovich**  
Comparative analysis of methodological approaches to assessing accumulated external exposure doses of persons permanently residing in a contaminated area with radionuclides as a result of the Chernobyl accident for the period 1986-1989 48
- E.K. Nilova, K.N. Buzdalkin, V.L. Samsonov**  
Assessment of the activity of remote gamma radiation sources 55

**А.В. Рожко, И.В. Веялкин, П.В. Сачек, С.Н. Никонович, В.М. Мицура, С.В. Панкова, О.П. Овчинникова, В.В. Дробышевская**

Анализ показателей состояния здоровья населения, проживающего в 21 районе Республики Беларусь, пострадавшем в результате катастрофы на ЧАЭС

61

**И.С. Соболевская, Е.С. Пашинская, А.К. Пашинская, И.В. Игнатьева, В.В. Побяржин, С.М. Седловская, С.Л. Соболевский, А.В. Яшкина**

Эмбриотоксический эффект экспериментальной темновой депривации

70

**Л.Н. Эвентова, А.Н. Матарас, Н.Г. Власова, В.В. Дробышевская, А.Е. Филюстин**

Структура рентгенодиагностических исследований и уровни облучения населения Гомельской области за период 2014-2021 гг.

75

### *Клиническая медицина*

**Т.М. Астабацян, Д.Б. Нижегородова, В. Григорян, З. Карабекян, М.М. Зафранская**

Гуморальные факторы иммунной системы детей, проживающих в экологически неблагоприятных регионах Республики Армения

81

**В.И. Бронский, С.В. Толканец, К.В. Бронская, Е.Н. Гаврилюк**

Постковидный синдром с позиции экологической психиатрии

88

**А.В. Величко, Ю.И. Ярец, А.В. Рожко, З.А. Дундаров**

Алгоритм топической диагностики патологии паращитовидных желез с использованием конфокальной лазерной микроскопии

95

**Д.Б. Нижегородова, Г.И. Иванчик, Н.А. Морозова, А.М. Старостин, Ж.В. Колядич, М.М. Зафранская**

Цитокиновое микроокружение слизистых оболочек в условиях иммунопатологии

104

**A.V. Rozhko, I.V. Vejalik, P.V. Sachek, S.N. Nikonovich, V.M. Mitsura, S.V. Pankova, O.P. Ovchinnikova, V.V. Drobyshevskaya**

Analysis of some health indicators of the population living in 21 districts of the Republic of Belarus affected by the Chernobyl disaster

**I.S. Sobolevskaya, E.S. Pashinskaya, A.K. Pashinskaya, I.V. Ignateva, V.V. Pobyarzhin, S.M. Sedlovskaya, S.L. Sobolevsky, A.V. Yashkina**

Embryotoxic effect of experimental dark deprivation

**L.N. Eventova, A.N. Mataras, N.G. Vlasova, V.V. Drobyshevskaya, A.E. Filyustin**

Structure of X-ray diagnostic studies and levels of exposure to the population of the Gomel region for the period of 2014-2021

### *Clinical medicine*

**T.M. Astabatsyan, D.B. Nizheharodava, V. Grigoryan, Z. Karabekyan, M.M. Zafranskaya**

Humoral factors of immunity in children living in ecologically unfavorable regions in the Republic of Armenia

**V.I. Bronsky, S.V. Tolkanets, K.V. Bronskaya, E.N. Gavrilyuk**

Post-COVID syndrome from the perspective of environmental psychiatry

**A.V. Velichko, Y.I. Yarets, A.V. Rozhko, Z.A. Dundarov**

Algorithm for topical diagnosis of parathyroid gland pathology using confocal laser microscopy

**D.B. Nizheharodava, H.I. Ivanchyk, N.A. Marozava, A.M. Starastsin, J.V. Kolyadich, M.M. Zafranskaya**

Cytokine microenvironment of mucous membranes in immunopathology

**Е.А. Полякова, И.Е. Гурьянова, С.О. Шарпова, И.С. Сакович, М.Г. Шитикова, А.Н. Купчинская, Т.В. Володашчик, Ю.В. Тимохова, Н.В. Агеев, С.Н. Алешкевич, Ю.С. Жаранкова, А.В. Солнцева, М.В. Белевцев**

Диагностическая информативность определения продуктов реаранжировок ДНК Т- и В-клеточного рецептора TREC/KREC при общей варибельной иммунной недостаточности

112

**И.Г. Савастеева, Ю.И. Ярец, К.В. Бронская, Ю.С. Кандера**

Сахарный диабет 2 типа и ассоциированные с ним метаболические нарушения, распространенность среди трудоспособного населения

118

**Н.Д. Пузан, В.Н. Беляковский, И.А. Чешик, И. В. Михайлов**

Структурно-функциональное состояние сывороточного альбумина пациентов с раком тела матки, проходивших дистанционную гамма-терапию

124

### *Обмен опытом*

**Ж.М. Козич, В.Н. Мартинков, Н.И. Ковзик, Д.А. Близин**

Экстрamedулярные поражения при плазмоклеточных пролиферациях. Клинический случай

132

**З.М. Нагорнова, А.В. Селезнев, В.Е. Корелина, А.В. Куроедов, И.Р. Газизова, Ю.И. Рожко, И.А. Булах**

Обзор средств растительного происхождения в альтернативном гипотензивном и нейропротекторном лечении глаукомы

136

**А.А. Рожко, И.Р. Газизова**

Совокупность структурных, функциональных офтальмологических и лучевых методов диагностики для дифференциации глаукомы низкого давления: клинический случай

149

**E.A. Polyakova, I.E. Guryanova, S.O. Sharapova, I.S. Sakovich, M.G. Shitikova, A.N. Kupchinskaya, T.P. Volodashchik, Y.V. Tsimokhava, N. Aheyev, S.N. Aleshkevich, Yu.S. Zharankova, A.V. Solntsava, M.V. Belevtsev**

Diagnostic significance of determining products of DNA rearrangements of the T-and-B cell receptor TREC/KREC in common variable immunodeficiency

**I.G. Savasteeva, Yu.I. Yarets, K.V. Bronskaya, Yu.S. Kandzera**

Type 2 diabetes mellitus and associated metabolic disorders, prevalence within the working-age population

**N.D. Puzan, V.N. Belyakovskiy, I.A. Cheshik, I.V. Mihailov**

Structural-functional state of serum albumin of uterine body cancer patients undergoing remote gamma therapy

### *Experience exchange*

**Zh. M. Kozich, V.N. Martinkov, N.I. Kovzik, D.A. Blizin**

Extramedullary lesions in plasma cell proliferations. Clinical case

**Z.M. Nagornova, A.V. Seleznev, V.E. Korolina, A.V. Kuroyedov, I.R. Gazizova, Yu.I. Razhko, I.A. Bulakh**

Review of herbal remedies in alternative antihypertensive and neuroprotective treatment of glaucoma

**A.A. Rozhko, I.R. Gazizova**

Combination of structural and functional ophthalmological and radiological methods for differentiating normal-tension glaucoma: clinical case

## ОЦЕНКА АКТИВНОСТИ УДАЛЕННЫХ ИСТОЧНИКОВ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ

<sup>1</sup>ГНТУ «Центр по ядерной и радиационной безопасности», Минск, Беларусь;

<sup>2</sup>ГУ «РНПЦ радиационной медицины и экологии человека», Гомель, Беларусь;

<sup>3</sup>ГУ «РЦ по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды», Минск, Беларусь

Предложен компьютерно-ориентированный метод экспресс-оценки активности удаленных источников гамма-излучения *in-situ* (в полевых условиях без отбора образцов). Для калибровки переносных и бортовых блоков детектирования эталонные источники гамма-излучения последовательно располагаются в двух точках: один вплотную к корпусу кристалла, а второй, с активностью не менее 50 кБк, на расстоянии 2 м или более по оси детектора. Чистые площади фотопиков полного поглощения, живое время набора спектров, расстояния до источников и их активности используются для определения специальных калибровочных коэффициентов. Калибровочные коэффициенты совместно с кривой эффективности регистрации на нулевом расстоянии используются при оценке активности удаленных источников гамма-излучения (если расстояние до источника на порядок величины и более превышает его размер). При вычислениях указывается приблизительное расстояние до детектора, могут учитываться материал и толщина стенок контейнера. Независимой экспертизой установлено, что неопределенность предложенного метода измерений не превышает 30% ( $p=0,95$ ), что вполне приемлемо для исследований *in-situ*.

**Ключевые слова:** метод, активность, источник, гамма-спектрометр, *in-situ*

### Введение

Центр по ядерной и радиационной безопасности совместно с Республиканским научно-практическим центром радиационной медицины и экологии человека разрабатывает методологию независимой экспресс-оценки радиационной обстановки в зоне воздействия объектов использования атомной энергии и источников ионизирующего излучения с применением мобильной лаборатории радиационного контроля [1]. Исследования проводятся в рамках мероприятия «Выполнение работ по оказанию научно-технической поддержки Министерству по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности» подпрограммы «Научное обеспечение эффективной и безопасной работы Белорусской атомной электростанции и перспективных направ-

лений развития атомной энергетики» Государственной программы «Научные технологии и техника» на 2021-2025 годы.

В число измеряемых параметров входит активность удаленных источников гамма-излучения (Бк). Для оценки активности источников *in-situ* ведущие производители блоков детектирования гамма-излучения предлагают специальные программные пакеты и для их использования характеризуют поставляемые детекторы [2]. Однако в результате введения санкций приобретение продукции двойного назначения стало невозможным. Кроме того, установлено, что применение указанного программного обеспечения имеет ограничения для ряда геометрий источников.

**Цель исследования** – разработать метод экспресс-оценки активности удаленных источников гамма-излучения.

### Материал и методы исследования

Объектами исследования являлись результаты обработки гамма-спектров от эталонных источников, размещенных на различных расстояниях от блоков детектирования. Метод исследования – гамма-спектрометрический.

Применялась мобильная лаборатория, укомплектованная переносным гамма-спектрометром Falcon 5000 на основе детектора из особо чистого германия, двумя бортовыми боковыми сцинтилляционными блоками детектирования с размерами кристалла NaI(Tl) 7,62×7,62 см и одним бортовым передним блоком детектирования с размерами кристалла LaBr<sub>3</sub>(Ce) 2,54×2,54 см. Бортовые блоки детектирования размещены в свинцовых коллиматорах толщиной 5 см.

Поставленное в составе мобильной лаборатории программное обеспечение Genie 2000 содержит набор программных средств для набора и обработки спектров с многоканальных анализаторов [2, 3]. Штатное программное обеспечение реализует функции управления многоканальными анализаторами, отображения спектра и выполнения с ним ряда операций, базовые функции обработки спектра и создания отчетов.

### Результаты исследования

В комплектацию блоков детектирования в цифровом виде входят регрессионные полиномиальные зависимости эффективности регистрации от энергии. Как правило, указанные калибровки соответствуют расположению эталонных источников гамма-излучения вплотную к корпусу кристалла блока детектирования.

Для того, чтобы проводить оценку активности удаленных источников гамма-излучения *in-situ*, поставляемых стандартных калибровок недостаточно. Чтобы учесть уменьшение потока фотонов в результате их рассеяния в воздухе, контейнере, а для бортовых блоков детектирования и в стенке кузова транспортного средства, рассчитать поправку на форму указанного выше эталонного источника, предлагается следующее.

Так как при измерениях *in-situ* понятие «фона» не имеет смысла, а поправками на распад радионуклидов во время набора спектра и мультиплетностью обычно пренебрегают, общеизвестная [3] формула для расчета активности, применяемая в гамма-спектрометрии, принимает вид:

$$A_i = \frac{N_{i,0}}{\eta_i \varepsilon_i(E) g_i(E) \cdot T}, \quad (1)$$

где  $A_i$  – активность  $i$ -го радионуклида, Бк;  
 $N_{i,0}$  – «чистая» площадь фотопика полного поглощения  $i$ -го радионуклида;

$T$  – «живое» время набора спектра, с;

$\eta_i$  – квантовый выход;

$\varepsilon_i(E)$  – эффективность регистрации блока детектирования при энергии  $E$ ;

$g_i(E)$  – геометрический фактор, зависящий от расположения и формы источника, распределения в нем  $i$ -го радионуклида, а также рассеивающих свойств сред в источнике и между источником и детектором.

Задача оценки геометрического фактора  $g_i(E)$  значительно упрощается, если ввести ограничение относительно расстояния до источника и его формы. Любой источник можно считать точечным, если его размер, например, в 10 или более раз меньше расстояния от него до детектора (и диаметра детектора). Как показывает опыт, при измерениях *in-situ* указанные ограничения незначительны. Однако позволяют применять следующее приближение для расчёта геометрического фактора  $g_i(E)$  в выражении (1):

$$g_i(E) \approx \frac{d^2}{16r^2} e^{-(\mu_a(E)r + \mu_h(E)r_h + \mu_c(E)r_c)}, \quad (2)$$

где  $d$  – диаметр детектора, м;

$r$  – расстояние от источника до детектора, м;

$\mu_a(E)$  – линейный коэффициент ослабления при энергии  $E$  в воздухе, м<sup>-1</sup>;

$\mu_h(E)$  – линейный коэффициент ослабления в материале стенки контейнера источника, м<sup>-1</sup>;

$r_h$  – толщина стенки контейнера, м;

$\mu_c(E)$  – линейный коэффициент ослабления в материале кузова автомобиля, м<sup>-1</sup>;

$r_c$  – толщина кузова автомобиля, м.

В формуле (2) отражена доля потока фотонов, достигающих с исходной энергией поверхности детектора, расположенного коаксиально источнику, которая равна отношению площади открытой поверхности детектора ( $\pi \cdot d^2/4$ ) и площади сферы радиусом  $r$  ( $4 \cdot \pi \cdot r^2$ ).

Чтобы компенсировать отклонения, связанные с неопределенностями расположения, формы и футляра неизвестного эталонного источника поставщика, в выражение (2) предлагается ввести калибровочные (поправочные) безразмерные коэффициенты  $k_1$  и  $k_2$ , при которых выражение для расчета активности источника (1) принимает вид:

$$A_i \approx \frac{k_1}{\eta_i \cdot \varepsilon_i(E)} \cdot \frac{16 \cdot (r + k_2 \cdot d)^2}{d^2} \cdot \exp(\mu_a(E) \cdot r + \mu_h(E) \cdot r_h + \mu_c(E) \cdot r_c) \cdot \frac{N_{i,0}}{T}, \quad (3)$$

Коэффициент  $k_1$  компенсирует неучтенное поглощение фотонов при калибровке поставщиком, а  $k_2$  в «диаметрах детектора» отражает расстояние, на которое мог быть удалён эталонный источник от детектора при калибровке. Например, авторы столкнулись со случаем, когда поставщик мобильной лаборатории радиационного контроля откалибровал бортовые блоки детектирования, прикладывая эталонные источники ко внешней поверхности кузова автомобиля. Безразмерный коэффициент  $k_1$  зависит только от формы и материалов неизвестного эталонного источника, безразмерный коэффициент  $k_2$  – от расположения этого эталона при калибровке, и оба коэффициента не зависят от энергии.

На практике в выражении (3) величинной  $k_1$  удобнее также учитывать постоянные множители «16» и  $\exp(\mu_c(E) \cdot r_c)$ , который отвечает за поглощение потока фотонов в стенке кузова транспортного средства:

$$A_i \approx \frac{k_1}{\eta_i \cdot \varepsilon_i(E)} \cdot \frac{(r + k_2 \cdot d)^2}{d^2} \cdot \exp(\mu_a(E) \cdot r + \mu_h(E) \cdot r_h) \cdot \frac{N_{i,0}}{T}, \quad (4)$$

Для определения значений  $k_1$  и  $k_2$  разработана специальная калибровочная процедура, в которой можно применять только

один эталонный источник. Расчёт  $k_1$  и  $k_2$  проводится по аппаратурным линиям двух спектров каждого блока детектирования. Формулы для расчёта  $k_1$  и  $k_2$  получены путём решения системы из двух уравнения вида (4) (индексы 1 и 2 введены для первого и второго спектра):

$$k_1 = \frac{A_2 \cdot T_2 \cdot \varepsilon_i(E)}{N_2 \cdot \exp(\mu_a(E) \cdot r_2 + \mu_{h2}(E) \cdot r_{h2}) \cdot \left(\frac{d \cdot (1 - \xi)}{r_2 - r_1}\right)^2}, \quad (5)$$

$$k_2 = \frac{r_2 \cdot \xi - r_1}{d - d \cdot \xi}, \quad (6)$$

$$\text{где } \xi = \frac{A_1 \cdot T_1 \cdot N_2 \cdot \exp(\mu_a(E) \cdot r_2 + \mu_{h2}(E) \cdot r_{h2})}{A_2 \cdot T_2 \cdot N_1 \cdot \exp(\mu_a(E) \cdot r_1 + \mu_{h1}(E) \cdot r_{h1})}.$$

Например, при оценке  $k_1$  и  $k_2$  для трех бортовых сцинтилляционных блоков детектирования набор спектров производился при расположении штатного источника на расстояниях 0 и 20 см от кузова транспортного средства по осям детекторов. Активность штатного «точечного» эталонного источника  $^{137}\text{Cs}$  из комплекта мобильной лаборатории составляла 8833 Бк. Заявленная поставщиком эффективность регистрации на линии 661,7 кЭв составляла 0,0088, 0,0098 и 0,0048 для правого, левого и переднего блока детектирования, соответственно. Линейный коэффициент ослабления в воздухе при энергии фотонов 661,7 кЭв  $1,0 \times 10^{-4} \text{ см}^{-1}$ , квантовый выход на указанной линии  $^{137}\text{Cs}$  – 0,8510.

При определении  $k_1$  и  $k_2$  для переносного полупроводникового блока детектирования использовались спектры от эталонных источников, расположенных коаксиально на расстояниях 0 м и 2 м от крышки корпуса кристалла. Для формирования первого спектра применялся прижатый вплотную фильтр диаметром 10 см из нетканого полимерного материала с нанесённой «точечной» активностью  $^{137}\text{Cs}$  1721 Бк. Второй спектр набран от «точечного» источника  $^{137}\text{Cs}$  с активностью 180,2 кБк, отнесенного по оси детектора на расстояние 2 м. Диаметр полупроводникового кристалла 6,15 см, а заявленная эффективность регистрации на линии 661,7 кЭв  $^{137}\text{Cs}$  – 0,013.



**Таблица 1** – Результаты расчётов поправочных коэффициентов  $k_1$  и  $k_2$

Детектор	r = 0 см		r = 20 см		r = 2 м		$k_1$	$k_2$
	N	T, сек	N	T, сек	N	T, сек		
Правый NaI(Tl)	247601	2213	99791	8375	-	-	0,086	2,54
Левый NaI(Tl)	157238	1648	87381	7421	-	-	0,090	2,84
Передний LaBr <sub>3</sub> (Ce)	39408	1138	29434	12750	-	-	0,064	3,93
Переносной hpGe	179662	10209	-	-	2935	2203	0,34	1,80

**Таблица 2** – Результаты верификации предложенного метода

Детектор	Энергия, кЭв	N	T, сек	Фактическая активность, Бк	Измеренная активность, Бк
Правый NaI(Tl)	661,7	43059	2161	1721	1573
Левый NaI(Tl)		43704	2414		1676
Передний LaBr <sub>3</sub> (Ce)		4272	681		1794
Переносной hpGe		179662	10209		1711
Правый NaI(Tl)	1173,2	20139	2161	1236	1323
Левый NaI(Tl)		18910	2414		1434
Передний LaBr <sub>3</sub> (Ce)		2034	681		1163
Переносной hpGe		74507	10209		1109

Результаты расчётов поправочных коэффициентов  $k_1$  и  $k_2$  по формулам (5) и (6) для бортовых сцинтилляционных и переносного полупроводникового блоков детектирования сведены в таблице 1.

Верификация результатов оценки активности источников по предложенной формуле (4) проводилась с использованием эталонов, которые не применялись при определении  $k_1$  и  $k_2$  для данного блока детектирования, таблица 2. Для верификации предложенного метода применялся источник с активностью  $^{137}\text{Cs}$  1721 Бк и  $^{60}\text{Co}$  1236 Бк, прижатый к кузову автомобиля по оси детектора или крышке корпуса полупроводникового кристалла. В расчетах принималось, что линейный коэффициент ослабления в воздухе при энергии фотонов 1173,2 кЭв равен  $0,7 \times 10^{-4} \text{ см}^{-1}$ , а квантовый выход на указанной линии  $^{60}\text{Co}$  – 0,999. Заявленная поставщиком эффективность регистрации на линии 1173,2 кЭв  $^{60}\text{Co}$  составляла 0,00394, 0,00399, 0,0025 и 0,0075 для правого, левого, переднего и переносного блоков детектирования, соответственно.

Результаты верификации свидетельствуют, что отклонения результатов измерений от паспортных данных эталонного

источника не превышают 15%. Измеренные и фактические значения совпали в пределах неопределенности применяемых гамма-спектрометрических методов.

Независимая экспертиза предложенного метода оценки активности удаленных источников проводилась экспертом, получившим право на проведение экспертизы безопасности в области использования атомной энергии и источников ионизирующего излучения (Протокол заседания №2 от 28.02.2019 комиссии Госатомнадзора Республики Беларусь по предоставлению допуска к проведению экспертизы безопасности). Область/часть экспертизы безопасности по которой выдан допуск – радиационная спектрометрия объектов окружающей среды.

Экспертиза проводилась путем определения эффективности регистрации блоков детектирования при размещении эталонных «точечных» источников эксперта на расстояниях 0,5, 1 и 2 метра от кузова автомобиля и переносного блока детектирования. Для бортовых сцинтилляционных блоков детектирования применялись источники  $^{137}\text{Cs}$  с активностью 98 кБк и  $^{60}\text{Co}$  с суммарной активностью 169,5 кБк. Для

определения эффективности регистрации переносного полупроводникового детектора применялись точечные источники  $^{60}\text{Co}$  с активностью на момент набора спектров 144,2 кБк и  $^{137}\text{Cs}$  активностью 180,2 кБк. Экспертиза проводилась путём сравнения эффективностей регистрации, представленных экспертом для различных расстояний, с результатами расчётов  $\varepsilon'_i(E)$  по выражению, полученному из предлагаемой формулы (4):

$$\varepsilon'_i(E) \approx \frac{\varepsilon_i(E)}{k_1} \cdot \frac{d^2}{(r + k_2 \cdot d)^2} \cdot \exp(-\mu_a(E) \cdot r - \mu_h(E) \cdot r_h), \quad (7)$$

Эффективности регистрации, рассчитанные программным методом по формуле (7) для энергий 661,65 и 1173,24 кЭв на различных расстояниях от детектора, представлены в таблице 3 в столбце « $\varepsilon'_i(E)$ , метод». В таблице 3 также сведены соответствующие расчёты эффективности независимым экспертом, стандартные отклонения и приведены результаты сравнения.

Отклонения, приведенные в таблице 3, не превышают 21%, что свидетельствует о соответствии результатов расчетов, проведенных с использованием предложенного метода, и расчетов независимого эксперта.

С учетом неопределенности активности поставляемых эталонных источников суммарная неопределенность предложенного метода оценки активности удаленных источников гамма-излучения оценивается в 30%.

Значения эффективностей, представленные изготовителем оборудования, умножаются на факторы, не зависящие от энергии. Поэтому можно утверждать, что если эффективности, рассчитанная предложенным методом и представленная экспертом, близки на указанных энергиях, то это совпадение будет справедливо на всем диапазоне энергий.

### Заключение

Предложен оригинальный компьютерно-ориентированный метод экспресс-оценки активности удаленных источников гамма-излучения. Для калибровки переносных и бортовых блоков детектирования источники гамма-излучения с известной активностью располагается в двух точках: вплотную к корпусу кристалла и на расстоянии не менее 2 м оси детектора. Данные о чистых площадях фотопиков полного поглощения, живом времени набора спектров, расстояниях до источников и их ак-

**Таблица 3** – Результаты экспертизы предложенных методов оценки

Детектор	г, м	Энергия, кЭв	$\varepsilon'_i(E)$ , метод	Ст. откл. $\varepsilon'_i(E)$ , метод	Эффективн., эксперт	Ст. откл. эфф., эксперт	Откл, %
Правый NaI(Tl)	0,5	661,66	$4,14 \times 10^{-4}$	$2,20 \times 10^{-5}$	$4,15 \times 10^{-4}$	$2,08 \times 10^{-5}$	-2,4
	1		$1,23 \times 10^{-4}$	$6,12 \times 10^{-6}$	$1,21 \times 10^{-4}$	$6,06 \times 10^{-6}$	1,6
	2		$3,36 \times 10^{-5}$	$1,78 \times 10^{-6}$	$3,19 \times 10^{-5}$	$1,67 \times 10^{-6}$	5,1
Левый NaI(Tl)	0,5	661,66	$4,26 \times 10^{-4}$	$2,21 \times 10^{-5}$	$4,15 \times 10^{-4}$	$2,11 \times 10^{-5}$	2,6
	1		$1,28 \times 10^{-4}$	$7,11 \times 10^{-6}$	$1,30 \times 10^{-4}$	$6,55 \times 10^{-6}$	-1,5
	2		$3,55 \times 10^{-5}$	$2,57 \times 10^{-6}$	$3,04 \times 10^{-5}$	$1,57 \times 10^{-6}$	14
Передний LaBr3(Ce)	0,5	661,66	$7,29 \times 10^{-5}$	$4,25 \times 10^{-6}$	$7,96 \times 10^{-5}$	$4,05 \times 10^{-6}$	-8,4
	1		$2,07 \times 10^{-5}$	$4,21 \times 10^{-6}$	$2,24 \times 10^{-5}$	$4,14 \times 10^{-6}$	-7,6
	2		$5,52 \times 10^{-6}$	$3,92 \times 10^{-7}$	$6,08 \times 10^{-6}$	$3,71 \times 10^{-7}$	-9,2
Переносной hpGe	0,5	661,66	$1,20 \times 10^{-4}$	$0,29 \times 10^{-4}$	$1,26 \times 10^{-4}$	-	-4,8
		1173,24	$6,82 \times 10^{-5}$	$1,68 \times 10^{-5}$	$6,41 \times 10^{-5}$	-	6,4
	1	661,66	$3,32 \times 10^{-5}$	$0,83 \times 10^{-5}$	$3,38 \times 10^{-5}$	-	-1,8
		1173,24	$1,89 \times 10^{-5}$	$0,47 \times 10^{-5}$	$1,66 \times 10^{-5}$	-	14
	2	661,66	$8,75 \times 10^{-6}$	$0,22 \times 10^{-5}$	$8,84 \times 10^{-6}$	-	-1,0
		1173,24	$4,98 \times 10^{-6}$	$1,75 \times 10^{-6}$	$4,86 \times 10^{-6}$	-	2,5

тивностях используются для определения двух специальных калибровочных коэффициентов. Калибровочные коэффициенты далее совместно с эффективностью регистрации, заявленной поставщиком оборудования, используются при оценке активности удаленных неизвестных источников гамма-излучения. Источник считается удаленным (точечным), если его размер в 10 и более раз меньше расстояния до детектора (и размера детектора). При проведении вычислений указывается приблизительное расстояние до детектора. Может учитываться материал и толщина стенок контейнера источника.

Независимой экспертизой установлено, что неопределенность предложенного метода измерений не превышает 30% ( $p=0,95$ ), что вполне приемлемо для полевых методов исследований *in-situ*. Результаты верификации и экспертизы демонстрируют возможность применения

предложенного метода для количественной оценки *in situ* активности источников. Экспресс-метод позволяет оперативно выполнять измерения при принятии решений о применении защитных мер.

### **Библиографический список**

1. Нилова, Е.К. Методы экспресс-оценки радиационной обстановки с применением мобильной лаборатории в чрезвычайных ситуациях / Е.К. Нилова, К.Н. Буздалкин // Медико-биологические проблемы жизнедеятельности. – 2023. – № 1(29). – С. 35-42.
2. Спектрометрическая система Genie 2000 версия 3.3. Руководство пользователя / Canberra Industries, Meriden, USA. – 2012. – 310 с.
3. Genie™ 2000 Spectroscopy Software. Customization Tools. 9233653J V3.4. – Meriden, USA: Canberra Industries. – 2013. – 571 p.
4. Measuring, Evaluating and Reporting Radioactivity in Releases of Radioactive Materials in Liquid and Airborne Effluents from Nuclear Fuel Processing and Fabrication Plants \94 (December, 1985). U.S. Nuclear Regulatory Commission Regulatory Guide 4.16.

**E.K. Nilova, K.N. Buzdalkin, V.L. Samsonov**

### **ASSESSMENT OF THE ACTIVITY OF REMOTE GAMMA RADIATION SOURCES**

A computer-oriented method for rapid assessment of the activity of remote gamma radiation sources *in situ* (in the field without sampling) is proposed. For calibration of portable and on-board detection units, reference gamma radiation sources are sequentially located at two points: one close to the crystal body, and the second, with an activity of at least 50 kBq, at a distance of 2 m or more along the axis of the detector. The net areas of the total absorption photopics, the live time of the spectrum set, the distances to the sources and their activity are used to determine special calibration coefficients. The calibration coefficients, together with the zero-distance efficiency curve, are used to assess the activity of remote gamma radiation sources (if the distance to the source exceeds its size by an order of magnitude or more). When calculating, the approximate distance to the detector is indicated, the material and wall thickness of the container can be taken into account. An independent expert examination found that the uncertainty of the proposed measurement method does not exceed 30% ( $p=0,95$ ), which is quite acceptable for *in-situ* studies.

**Key words:** *method, activity, source, gamma-ray spectrometer, in-situ*

Поступила 19.03.24