



УДК: 338.23; 332.142; 614.8

DOI: 10.26277/SECNRS.2024.111.1.002

© 2024. Все права защищены.

ОПТИМИЗАЦИЯ ВСЕСЕЗОННЫХ РАДИАЦИОННЫХ ОБСЛЕДОВАНИЙ ТЕРРИТОРИЙ В УСЛОВИЯХ ИНТЕНСИВНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ РОССИЙСКИХ МАКРОРЕГИОНОВ

Цыбиков Н. А.*, канд. физ.-мат. наук (ntsymbikov@yandex.ru),

Сидорович Т. И.* (s.t.i.-2009@mail.ru),

Фалеев М. И.** (od_camo@mail.ru)

Статья поступила в редакцию 6 февраля 2024 г.

Аннотация

Обоснованные в статье экономичные направления повышения оперативности всесезонных радиационных обследований территорий, выполнения полевых работ в директивно задаваемые сроки исключительно актуальны для осенне-зимне-весеннего периода с переменными характеристиками влагосодержания грунтов и снежного покрова, объективно препятствующими регистрации параметров радионуклидного загрязнения грунтов альфа-, бета- и гамма-излучателями природного или техногенного происхождения. Определены основные направления оптимизации комплекса мероприятий по проведению обследований загрязненных территорий, оценке масштабов, уровней и характера (поверхностные, объемные приповерхностные) выявляемых на них радиоактивных загрязнений, измерению параметрических показателей на основных этапах обследований (рекогносцировка местности, выявление и оконтуривание границ участков радиоактивного загрязнения). Отмечены принципиальные различия в формировании приоритетных для проведения анализа безопасности источников радиоактивного загрязнения компонентов природной среды добывающими горнорудными и нефтегазовыми предприятиями, обоснованы рекомендации по организации комплексного радиационного мониторинга или обследований контролируемых территорий на содержание альфа-, бета-, гамма-излучающих радионуклидов с применением новейших отечественных приборов и оборудования радиационной и химической разведки.

► **Ключевые слова:** радиационные обследования, мониторинг, природные и техногенные радионуклиды, территории, чрезвычайные ситуации, экологическая безопасность.

* ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций МЧС России» (Федеральный центр науки и высоких технологий), г. Москва, Россия.

** ФГКУ «Государственный центральный аэромобильный спасательный отряд» (Центроспас) МЧС России, г. Жуковский, Россия.

OPTIMIZATION OF ALL-SEASON RADIATION SURVEYS OF TERRITORIES IN CONDITIONS OF INTENSIVE EXPLOITATION OF RUSSIAN MACROREGIONS

Tsybikov N. A.*, Ph. D.,

Sidorovich T. I.*,

Faleev M. I.**, Ph. D.

The article was received by the editors' crew on February 6, 2024.

Abstract

The economic efficient directions justified in the article to increase the efficiency operability of all-season radiological surveys of territories, performing field work within the prescribed time limits are extremely relevant for the autumn-winter-spring period with variable characteristics of soil moisture content and snow cover; objectively preventing the registration of parameters of radionuclide contamination of soils by alpha, beta and gamma emitters of natural or man-made origin. The main directions for optimizing the complex of measures for conducting surveys of contaminated territories, assessing the scale, levels and nature (surface, volumetric near-surface) of radioactive contamination detected on them, measuring parametric indicators at the main stages of surveys (reconnaissance of the terrain, identification and delineation of the boundaries of radioactive contamination sites) are defined. Fundamental differences in the formation of prior for conducting safety analysis sources of radioactive contamination of environmental components by mining and oil and gas enterprises are noted, recommendations for the organization of complex radiation monitoring/surveys of controlled territories for the content of alpha, beta, gamma-emitting radionuclides using the latest domestic devices and equipment for radiation and chemical exploration are substantiated.

► **Keywords:** radiation surveys, monitoring, natural and man-made radionuclides, territories, emergencies, environmental safety.

* FSBI "All-Russian Research Institute for Civil Defense and Emergency Situations of the Ministry of the Russian Emergencies Ministry" (Federal Center for Science and High Technologies), Moscow, Russia.

** FSPI "State Central Airmobile Rescue Team of the Russian Emergencies Ministry" ("Centrospas"), Zhukovsky, Moscow region, Russia.

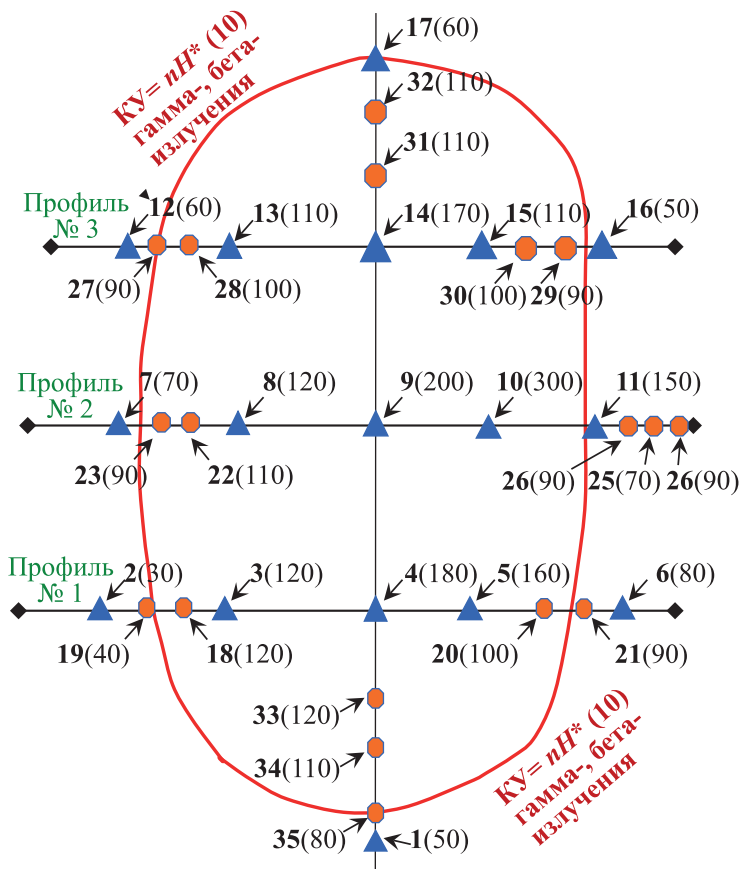
Введение

Стратегическое планирование социально-экономического развития невозможно без учета рисков чрезвычайных ситуаций, кризисов, террористической деятельности. На современном этапе интенсивного освоения российских арктических и дальневосточных макрорегионов проблемы комплексного обеспечения их устойчивого развития, снижения отрицательных и сохранения положительных последствий прошлой деятельности, достижения высокой экологичности вводимых и модернизируемых объектов экономики, сохранности окружающей среды приобретают особую актуальность.

Многолетняя практика ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций на радиационных объектах позволила установить приоритетные направления работ в зонах радиоактивного загрязнения: совершенствование нормативно-правовой базы всех уровней, повышение оперативности полевых обследований (рекогносцировка местности, выявление и оконтуривание границ участков радиоактивного загрязнения, последующие дезактивационные работы, вывоз и транспортирование радиоактивных

материалов в установленном порядке), минимизация облучения ликвидаторов последствий аварии и проживающего вблизи зоны радиоактивного загрязнения населения, модернизация приборной (аппаратурной) базы, вспомогательного технического оборудования целевого назначения для повышения эффективности и снижения себестоимости, обеспечения их непрерывности и всевозможности.

Каждое из этих направлений регулярно оптимизируют в связи с развитием технологий, изменениями природно-климатических и социальных факторов, наращиванием производственного потенциала, совершенствованием системы защиты населения и территорий от бедствий и катастроф. Определение необходимых характеристик радиоактивного загрязнения территорий предусматривает установление и последующую идентификацию масштабов, уровней, радионуклидного состава по возможности непосредственно на участках ведения работ, организацию контроля радиационной обстановки, осуществления шпуровых работ (например, рис. 1) с целью оценки объемов радиоактивных веществ для последующего обращения [1–5].



- ▲ 2(30) – точка шпурения и ее номер по предварительной сети и максимальное значение мощности амбиентного эквивалента дозы (МАЭД) фотонного излучения, зарегистрированное при гамма-картаже шпура, соответственно;
- 20(100) – точка дополнительного шпурения, ее номер и максимальное значение мощности амбиентного эквивалента дозы фотонного излучения, зарегистрированное при гамма-картаже шпура, соответственно. Номер точки шпурения соответствует последовательности операций выполнения шпуровых работ на загрязненной территории;
- КУ – контрольный уровень – установленное значение мощности амбиентного эквивалента дозы фотонного излучения или плотности потока ионизирующих частиц.

Рис. 1. Схема детального обследования участка территории для установления масштабов и уровней поверхностного и приповерхностного радиоактивного загрязнения грунтов [Fig. 1. The scheme of a detailed survey of the site of the territory to establish the scale and levels of surface and near-surface radioactive contamination of soils]

Этапы и определения характеристик радиоактивного загрязнения территорий

Радиационное обследование территорий, как комплекс разносторонних, согласованных мероприятий, проводят для обоснования состава и разработки требуемой документации по их перспективному освоению, контролю радиационной обстановки, объемного, поверхностного и приповерхностного содержания радионуклидов в компонентах природной среды [1–3]. Порядок установления контрольных уровней (КУ) определяют Санитарные правила и нормативы¹:

$$КУ = nH^*(10), \quad (1)$$

где n – выбранное административными и надзорными органами числовое значение;

$H^*(10)$ – мощность AMBIENTНОГО эквивалента дозы фотонного излучения или плотности потока ионизирующих частиц; устанавливают на основании результатов измерений регламентируемых Методическими указаниями² радиационных показателей, характеризующих уровни природного, присутствующего данной местности радиационного фона.

Фиксирование факта обнаружения участков радиоактивного загрязнения и последующее определение его границ ведут непосредственно на местности поисковыми средствами по регистрации таких параметров, как мощность AMBIENTНОГО (направленного) эквивалента дозы, плотность потока ионизирующих частиц. Для контроля радиационной обстановки применяют средства измерений утвержденного типа (прошедшие испытания и внесенные в Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений), периодически поверяемые в установленном порядке. Все промежуточные операции, связанные с отбором представительных проб, их упаковкой, хранением, оформлением паспортов, доставкой в лабораторию, существенно увеличивающие трудозатраты, осложняющие ведение работ в полевых и стационарных условиях, участники оперативного реагирования по возможности сокращают. Принципиальным

направлением достижения поставленной цели признано максимально возможное сокращение подготовительного периода, расходных материалов, дополнительного персонала, дорогостоящих прецизионных спектрометрических и радиохимических анализов отобранных проб, в совокупности значительно увеличивающих стоимость работ, задерживающих и осложняющих принятие технических и оперативных решений [3–6].

Последовательное совершенствование и внедрение новых оперативных методов определения удельной активности радиоактивных проб для предварительной оценки объемов радиоактивно загрязненных материалов с применением штатных и вводимых в эксплуатацию средств радиационного контроля сохраняют востребованность при действующих экономических ограничениях, связанных со сложностями непосредственной эксплуатации дорогостоящей прецизионной спектрометрической и другой аналитической аппаратуры в жестких полевых и климатических условиях практически на всей территории Российской Федерации [5, 6].

Оптимизацию вариантов выявления, локализации и ликвидации загрязнений с аномальными уровнями радиоактивных веществ целесообразно осуществлять комбинированными способами. При выборе методов и технических средств инструментального обеспечения приоритетными специалистами выделяют такие показатели, как чувствительность, быстродействие, избирательность, площадные параметры детекторов, погрешности измерений, простоту считывания и (или) получения информации, возможность обмеров проб на месте, удобство обращения, наличие связи с вычислительной техникой, надежность работы при внешних воздействиях (температура, осадки, влажность, давление, освещенность, механические воздействия), продолжительность функционирования от автономного источника питания, возможность защищенности от антропогенного загрязнения окружающей среды или дезактивации (дезинфекции), масса. Приборы (аппаратура) должны быть неприхотливыми в обращении, прочными к ударам, должны обеспечивать достаточность требуемых замеров, иметь звуковую и световую сигнализацию, подсветку шкалы, яркие корпуса, защитные чехлы, предусматривать возможность оперативной дезактивации. Обоснованность перечисленных требований к эксплуатируемым приборам доказывает практика работ аварийно-спасательных, таможенных и следственных служб при обследовании транспортных средств и судов, инфраструктуры объектов различного назначения

¹ Санитарные правила и нормативы СП 2.6.1.2612-10. Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99/2010): утв. постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 26 апреля 2010 г. № 40.

² МУ 2.6.5.008-2016. Методические указания. 2.6.5 Атомная энергетика и промышленность. Контроль радиационной обстановки. Общие требования.

в сложнейших, а в ряде ситуаций непредсказуемых, производственных и погодных условиях (в ненастные или штормовые осенне-зимне-весенние периоды года), в том числе проводимых по указаниям директивных органов в сжатые сроки [6–8].

Экономичное и затратное направления приборного и аппаратурного обеспечения задач противодействия угрозам

Экономичное направление ориентировано на применение недорогой переносной многофункциональной аппаратуры для текущих поверхностных и объемных натуральных измерений и (или) замеров отбираемых проб, контроля показателей масштабов и уровней радиоактивного загрязнения обследуемой местности. Такими приборами (различного рода индикаторами, радиометрами, дозиметрами), учитывая их высокую взаимозаменяемость, можно вести одновременное обследование нескольких загрязненных участков местности [5–8]. Заключительные анализы проводят в стационарной лаборатории с помощью прецизионных установок с компьютерной обработкой информации (радиометров со сцинтилляционными детекторами и спектрометров с полупроводниковыми детекторами). Затратное направление ориентировано на идентификацию дорогостоящей переносной или стационарной аппаратуры участков аномального загрязнения, установление состава загрязнителей на месте с применением средств передвижной аналитической лаборатории, оснащенной вспомогательной периферией (приборами, фотоаппаратурой, вычислительной, оргтехниккой и другими). К ним, например, относят: носимые спектрометры с привязкой на местности (GPS), портативные спектрометры, переносные или стационарные спектрометрические и радиометрические комплексы, интегрированные лабораторные спектрометры с многоканальными анализаторами. Исследование загрязнения большого поверхностного пространства ведут с привлечением авиационной и, в особых случаях, космической съемок. Окончательные результаты систематизируют в стационарной аналитической лаборатории. По ним руководитель работ принимает решение о порядке и способах завершения дальнейших этапов ликвидации чрезвычайной ситуации и (или) ее последствий для обеспечения экологической безопасности жизнедеятельности населения и территорий. Предпочтительность экономичного направления на базе серийных приборов с предусмотренным режимом оперативной фиксации аномалий для

обнаружения радиоактивных источников, радионуклидов в различных материалах, предметах, пробах почвы, воды, пищи, продуктах растениеводства и животноводства, оценки радиэкологической обстановки на местности, в рабочих и жилых помещениях обоснована в [5–10]. Предварительное установление состава радиоактивных веществ, которые можно обнаружить на обследуемой территории, упрощает выбор приборов, сокращает стоимость исследований и анализа.

При реализации экономичного направления были обоснованы подходы по установлению в полевых условиях содержания природных радионуклидов (ПРН) и техногенных радионуклидов (ТРН) в составе радиоактивных веществ по параметрическим показателям посредством получения функциональных зависимостей типа f_i^j , в обобщенном виде записываемые как:

$$A_{уд_i}^j = f_i^j (K_i^j, N_{изм_i}, N_{фон_i}), \quad (2)$$

где: $A_{уд_i}^j$ – удельная активность контролируемого радионуклида в отобранной пробе;

K_i^j – полуэмпирический коэффициент пересчета;
 $N_{изм_i}$ и $N_{фон_i}$ – значения измеряемого и «фонового» показателей;

i – мода (тип) распада;

j – контролируемый радионуклид [3–5].

Коэффициенты пересчета K_i^j получают регулярными систематизацией и уточнением значений $A_{уд_i}^j$ по данным гамма-спектрометрических (бета-, альфа-радиометрических) измерений радиоактивных проб грунтов различных участков с идентичными радионуклидными составами и последующим построением графиков корреляционных зависимостей в координатах «удельная активность радионуклида в грунте» – «регистрируемые показатели» (рис. 2–4). На рис. 2 приведены полуэмпирические зависимости удельных активностей ПРН ^{226}Ra и ^{232}Th в грунтах Центрального федерального округа, полученные в предположении равновесных состояний всех генетически связанных радионуклидов рядов материнских элементов урана и тория в так называемом «вековом равновесии». Учет влияния дочерних продуктов ^{220}Tl и ^{222}Rn в процессе спектрометрических измерений проводили в установленном порядке, привлекая к систематизации экспериментальной информации данные регулярных геотехнических, геолого-литологических исследований грунтов контролируемых территорий, прилегающих к объектам топливно-энергетического комплекса. Связанные с добычей и переработкой полезных ископаемых

(угля, торфа, углеводородов и других), эти объекты в результате производственной деятельности преимущественно накапливают сопутствующие ПРН в рудных отходах с относительно слабыми изменениями «векового равновесия». В последующем их вовлекают в различные области обращения, что в итоге приводит к радиоактивному загрязнению компонентов природной среды и определяет радиационную обстановку на контролируемых территориях.

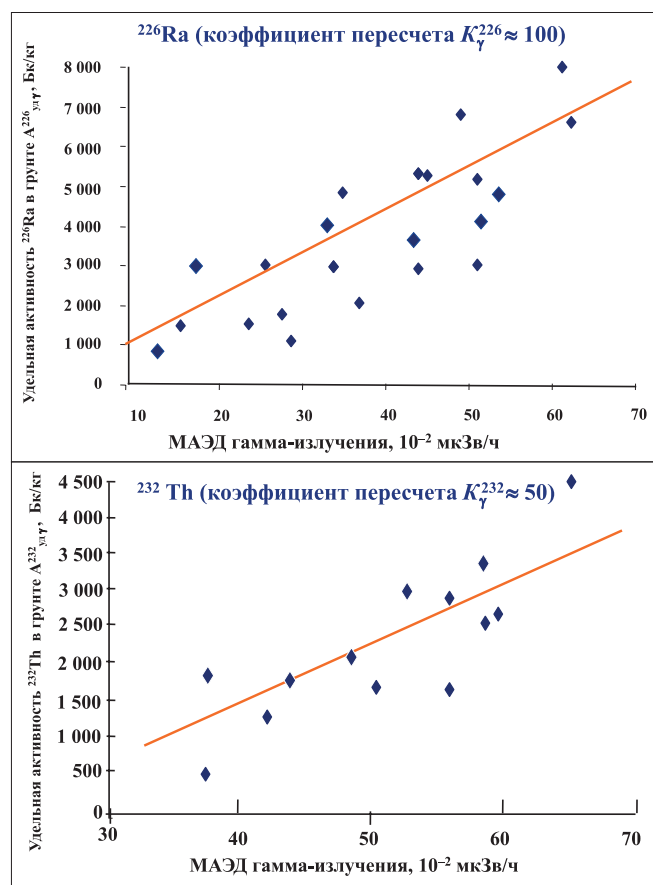


Рис. 2. Полуэмпирические зависимости удельной активности природных радионуклидов в грунтах от мощности амбиентного эквивалента дозы (МАЭД) гамма-излучения

[Fig. 2. Semi-empirical dependences of the specific activity of natural radionuclides in soils on the power of the ambient dose equivalent of gamma radiation]

Принципиальная особенность деятельности нефтегазовых комплексов в формировании загрязнения горных пород, вмещающих нефтегазовые месторождения, заключена в нарушении радиоактивного «векового равновесия», отрыве от материнских ПРН (урана, тория) дочерних продуктов распада. В результате сложнейшего комплекса протекающих физико-химических процессов, определяющих эффекты фракционирования, при добыче углеводородов на поверхность выходят в основном дочерние радионуклиды ($^{226,228,224}\text{Ra}$, ^{228}Th , $^{222,220}\text{Rn}$,

^{210}Pb , ^{210}Po), значительно более подвижные и токсичные по сравнению с материнскими.

Практика показывает: увеличение содержания изотопов радия в пластовых и закачиваемых водах при нефте-, газодобыче проходит в результате перераспределения радионуклидов в несущем пласте уже на начальных этапах вытеснения нефти (газа) водой. При подъеме газожидкостной смеси по стволу скважины радиоактивные включения с различной интенсивностью выпадают на поверхности электроцентробежных насосов, насосно-компрессорных труб и резервуаров. Накопление ПРН в отходах во многом определено их физико-химическими свойствами, способами добычи, транспортировки, очистки сырья, длительностью производственных циклов, химическим составом сырья. В общем случае растворимость радия в воде возрастает с увеличением ее минерализации и изменением значений водородного показателя pH. Осаждение радия возрастает с уменьшением температуры и давления при поднятии добываемого сырья из недр на поверхность. Наибольшее количество радия выносят промышленные воды. Характерные для старых месторождений большие расходы промышленных вод увеличивают содержание ПРН в отходах. В зависимости от физико-химических условий растворенные изотопы радия образуют соли, соосаждаясь с солями натрия, калия и бария, формируя осадки различной плотности. Твердые и вязкие осадки обычно относят к шламам. Наибольшие концентрации радия обычно присутствуют в твердых осадках. Примерно 91 % промышленной воды возвращают в скважины для повышения продуктоотдачи или же в специальные скважины для захоронения, оставшиеся 9 % удаляют на земную поверхность или в открытые водные источники, формирующие в перспективе потенциальные источники радиоактивного загрязнения окружающей среды в результате вторичной миграции. Промышленное оборудование, непосредственно контактирующее с промышленной водой, может содержать большое количество ПРН и ТРН, его выведение из эксплуатации, наряду с фиксируемыми протечками, создает дополнительные проблемы, требующие радиационного контроля, оценки, дезактивации и возможного захоронения в качестве радиоактивных отходов [11].

В соответствии с изложенным, в перечень приоритетных при организации радиационного мониторинга и (или) обследований на контролируемых территориях должны войти основные дозообразующие радионуклиды:

- изотопы радия и тория ($^{226,228,224}\text{Ra}$, ^{228}Th) – при добыче нефти;

- изотопы радона, свинца и полония ($^{222,220}\text{Rn}$, ^{210}Pb , ^{210}Po) – при добыче газа;
- ТРН, глобальных выпадений ^{137}Cs и ^{90}Sr – показатели негативных последствий прошлой атомной деятельности мировых держав.

На рис. 3 приведены полуэмпирические зависимости удельных активностей техногенных радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr в грунтах в состоянии радиоактивного равновесия с дочерними продуктами распада $^{137\text{m}}\text{Ba}$ и $^{90}\text{Y} + ^{90}\text{Zr}$, соответственно.

Применение предложенного подхода при обследовании территорий Центрального федерального округа позволило выявить наличие и составы радиоактивных веществ, провести предварительную сортировку и оценку удельных активностей проб в полевых условиях при сокращении до 3–4 раз и более количества лабораторных радиохимических и спектрометрических исследований [3–6], промежуточных операций, существенно осложняющих ведение работ и увеличивающих время пребывания персонала на участках радиоактивного загрязнения.

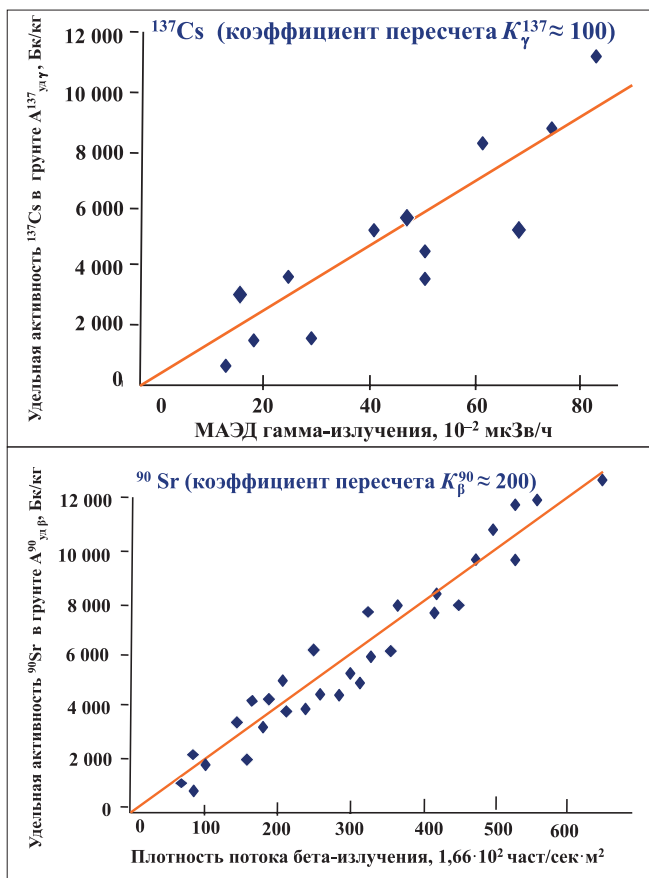


Рис. 3. Полуэмпирические зависимости удельной активности грунтов от мощности экспозиционной дозы гамма-излучения (МАЭД) и плотностей потоков частиц для техногенных радионуклидов

[Fig. 3. Semi-empirical dependences of the specific activity of soils on the exposure dose rate of gamma radiation and particle flux densities for technogenic radionuclides]

В таблице № 1 приведен перечень идентифицированных радионуклидов при обследовании выявленных в 2004–2015 гг. участков радиоактивного загрязнения Центрального федерального округа [3, 5, 6, 12], радиационные характеристики приведены по [13, 14].

Как показано в таблице № 1, всего идентифицировано 19 радионуклидов, из них 7 α -излучателей, 7 β -излучателей, 5 γ -излучателей. Таким образом, γ -излучатели в общем количестве идентифицированных радионуклидов составляют 26 %.

Сокращение полевых операционных действий на основе выявленных закономерностей позволило обосновать последующие принципиальные направления снижения трудовых и временных затрат по обращению с приповерхностными и поверхностными радиоактивно загрязненными грунтами или материалами.

Оптимизацию приборной и аппаратурной базы для радиационного контроля материалов целесообразно проводить с применением многофункциональных приборов регистрации ядерного излучения нового поколения: переносных дозиметров-радиометров ИРД-02, альфа- и бета-спектрометрических комплексов СКС-08П, портативных радиометров РКБ-05П, приборов радиационно-химической разведки и контроля ПРХР-Д (например, на базе ПРХР-500 «Эдельвейс», его модификации «Черета 500»), МКС-17Д «Зяблик» и других с комплектом блоков детектирования гамма-, бета-, альфа-, нейтронного излучений, автоматизированных систем радиационного контроля быстрого развертывания (АСКРО БР) [4–10]. Опытная эксплуатация перечисленных приборов позволила конкретизировать универсальные требования к современному приборному обеспечению спасательных формирований, включая позиции контроля приемлемых условий работы, не будучи средством для научных узкоспециализированных исследований, такие как:

- измерение разумного максимального числа параметров, объективно отражающих состояние контролируемой (окружающей) среды, например применяя не отдельные термометр, барометр и анемометр, а удобную и несложную в эксплуатации погодную станцию;
- эргономичность – прибор должен иметь органы управления, доступные для работы в спецодежде, рукавицах, защитных перчатках и иных защитных средствах;
- устойчивость к климатическим условиям – широкий температурный диапазон измерений в окружающей среде, устойчивость к резким перепадам температур, осадкам;

- универсальность по области применения;
- возможность реализации прибора в качестве носимого, бортового на спецтехнике и (или) в составе стационарной системы;
- длительные периоды автономной работы, возможность зарядки прибора или его питания от различных сетей постоянного (5, 12, 27, 48 В) и (или) переменного (110–220 В) тока.

Серийное производство универсального прибора радиационно-химической разведки и контроля

ПРХР-Д для обнаружения отравляющих веществ, аварийно химически опасных веществ, рентгеновского и гамма-излучения в качестве основного средства радиационно-химической разведки освоили в 2020–2021 гг. Прибор состоит из пульта управления и индикации, блоков детектирования ионизирующих излучений, сенсоров газов и боевых отравляющих веществ. Рабочий температурный диапазон от –40 до +50 °С (рис. 4).

Таблица № 1

Перечень идентифицированных радионуклидов в пробах грунтов Центрального федерального округа
List of identified radionuclides in soil samples of the Central Federal District

№ п/п	Радионуклид	Период полураспада	Мода (тип) распада, %	Энергия распада, кэВ	Энергия наиболее интенсивных γ -квантов, кэВ, % их квантовых выходов на один распад
1	^{14}C	5 700 лет	β^- 100	Q-156,47	нет
2	^{22}Na	2,6 лет	β^+ 89,89 EC 10,11	Q+2 842,3	511 / [180, аннигиляция] 1 274,5 / 99,94
3	^{40}K	$1,25 \cdot 10^9$ лет	β^- 89,28 β^+ EC 10,72	Q-1 311,07 Q+1 504,87	1 460,8 / 10,7
4	^{44}Tl	60,0 лет	EC 100	Q+267,5	78,36 / 96,4 67,87 / 93,0
5	^{60}Co	5,27 лет	β^- 100	Q-2 823,07	1 332,5 / 99,99 1 173 / 99,97
6	^{63}Ni	100,0 лет	β^- 100	Q-66,975	66,94 / 100
7	^{90}Sr	28,9 лет	β^- 100	Q-545,9	нет
8	^{90}Y	64,05 часа	β^- 100	Q-2 279,8	$2 186,26 / 1,4 \cdot 10^{-6}$
9	^{131}I	8,02 дней	β^- 100	Q-970,8	364,5 / 81,7
10	^{137}Cs	30,07 лет	β^- 100	Q-1 175,6	661,7 / 85,1
11	^{170}Tm	128,6 дня	β^- 99,87 EC 0,131	Q-968,3 Q+314,4	84,25 / 2,48 78,7 / 0,0037
12	^{192}Ir	73,83 дня	β^- 95,13 EC 4,87	Q-1 459,7 Q+1 046,2	316,5 / 82,71 468,1 / 47,81 308,5 / 29,68 205,8 / 3,34
13	^{226}Ra	1 600 лет	α 100	$Q_\alpha = 4 870,6$	186,2 / 3,533
14	^{232}Th	$1,4 \cdot 10^{10}$ лет	α 100	$Q_\alpha = 4 081,6$	63,8 / 0,26 140,9 / 0,02
15	^{235}U	$7,04 \cdot 10^8$ лет	α 100	$Q_\alpha = 4 678,7$	185,7 / 57,2 143,8 / 10,96 19,6 / 61
16	^{238}U	$4,47 \cdot 10^9$ лет	α 100	$Q_\alpha = 4 269,8$	49,6 / 0,064 113,5 / 0,0102
17	^{238}Pu	87,7 лет	α 100	$Q_\alpha = 5 593,2$	43,5 / 0,0395
18	^{239}Pu	$2,4 \cdot 10^4$ лет	α 100	$Q_\alpha = 5 244,5$	51,6 / 0,027
19	^{241}Am	432,6 лет	$\alpha \approx 100$	$Q_\alpha = 5 637,8$	59,5 / 35,78 26,3 / 2,40



Рис. 4. Опытная эксплуатация прибора радиационно-химической разведки и контроля ПРХР-Д в условиях российского Заполярья [Fig. 4. Experimental operation of the radiation-chemical reconnaissance and control device PRHR-D in the conditions of the Russian Arctic]

Функциональные возможности прибора:

- автоматическое обнаружение, идентификация и контроль превышения пороговых концентраций аварийно-химически опасных веществ и отравляющих веществ в воздухе;
- автоматическое обнаружение превышения уровня гамма-излучения;
- индикация на дисплее концентраций измеряемых компонентов и мощности амбиентного эквивалента дозы гамма-излучения;
- архивирование данных измерений и превышений порогов в энергонезависимой памяти;
- звуковая и световая сигнализации превышения пороговых значений концентраций измеряемых компонентов;
- передача данных в информационную сеть (опционально).

В марте 2021 г. ПРХР-Д успешно прошел натурные испытания в жестких климатических условиях Арктики в Комплексной арктической экспедиции «УМКА-2021». Учения подтвердили возможность выполнения работ по контролю радиационно-химической обстановки одним человеком в защитных

средствах поверх зимнего обмундирования, а также тактико-технические характеристики ПРХР-Д при воздействии отрицательных температур, резких их перепадах: «тепло – холод» или «холод – тепло» в условиях автономности [9, 10].

Разработка алгоритма оценки влияния климатических, сезонных условий и выпавших осадков (дождя, снежного покрова) на результаты дозиметрических и радиометрических измерений

Принципиальные оценки влияния климатических (приповерхностная температура, степень увлажнения, характер переноса воздушных масс в приземном слое атмосферы, совокупно формирующие неблагоприятные, опасные или особо опасные явления) и сезонных условий (выпадение осадков в виде дождя и (или) снега) на результаты дозиметрических (радиометрических) измерений гамма-излучения, потоков альфа- и бета-частиц можно провести оптимальным сочетанием имитационных и натуральных замеров с последующей корректировкой результатов введением поправочных (стыковочных) коэффициентов. Основное внимание при указанных оценках уделяют позициям, связанным с увлажнением и водонасыщением почв в периоды выпадения дождей и формирования снежного покрова, ослаблением ионизирующих факторов и, как следствие, искажением непосредственно регистрируемых в полевых условиях характеристик.

Климатические и сезонные особенности, сопровождающие выпадение осадков и формирование повышенного влагосодержания в почвах и снежного покрова на территории России

Исследователи, понимая под климатом статистический многолетний режим погоды, характерный для данной местности в силу ее географического положения за длительный промежуток времени (порядка нескольких десятилетий) [15], по существу рассматривают его как осредненную погоду. Во многом типичный внутриконтинентальный климат умеренных и высоких евразийских широт во все сезоны года характеризуют более или менее стабильный режим высокого давления воздуха, особенно в зимнее время, теплое лето и холодная зима с устойчивым снежным покровом. Наиболее сильные ветра наблюдаются зимой, а слабые – летом. Начиная с 70-х годов XIX века на всем северном полушарии фиксируют определенную периодичность

изменения температурного режима. Длительный период похолодания, так называемый малый ледниковый период, в конце XIX – начале XX столетия сменило небольшое потепление до середины 30-х годов, а до начала 60-х годов наступило новое похолодание. После 1960 г. до настоящего времени отмечено новое потепление, выраженное в существенном увеличении количества теплых дней в году, запоздалом наступлении зим, более мягких, с продолжительными и частыми оттепелями, предположительно связанными с антропогенным воздействием глобального характера на климатическую систему Земли.

Состояние слоя снега на поверхности земли, образовавшегося при снегопадах снежного покрова, характеризуют высота, плотность, влагосодержание (запас воды) и продолжительность залегания. Высота устойчивого снежного покрова, сформированного обычно в конце ноября, к концу зимы достигает в среднем 0,30–0,45 м [16, 17]. Свежевыпавший снег в безветренную погоду может иметь плотность всего около 50 кг/м³ (≈ в 20 раз меньшую по сравнению с водой), при метели плотность снега может достигать до 120–180 кг/м³, а хорошо притрамбованный ветром снег может достигать плотности в 500 кг/м³. В степях и в тундре метели сильно уплотняют снег, там высота снежного покрова значительно меньше, а плотность – в 2–4 раза больше. Формирование снежного покрова в значительной степени определяют метеорологические условия и характер земной поверхности. При выпадении в безветренную погоду снег покрывает поверхность земли слоем примерно одинаковой высоты независимо от форм рельефа. Снегопады создают слоистость снежного покрова с характерными уплотнениями, изотермическим метаморфизмом, существенными ежегодными различиями. По объемам выпадающего снега выделяют много-, средне- и малоснежные зимы в зависимости от отклонений от средних многолетних данных больше чем на 25 %. Если же отклонения не достигают 25 %, зиму считают среднеснежной. Средняя плотность снежного покрова на территории России в конце зимы на севере составляет 220–280 кг/м³, в средней полосе – 240–320 кг/м³, на юге – 220–360 кг/м³. Более широкие пределы изменения снежного покрова в средней полосе и на юге объясняют приоритетным воздействием периодических оттепелей. Присутствие влаги (воды, водяного пара) существенно увеличивает плотность снега. В большинстве случаев в начале снеготаяния она составляет от 180 до 350 кг/м³, в разгар снеготаяния от 350 до 450 кг/м³,

в конце – доходит до 600 кг/м³. Плотность снега в лесу меньше, чем на открытой местности вследствие снижения ветра в лесу и меньшей интенсивности зимних оттепелей [16]. В сибирской тайге, где не бывает зимних оттепелей, средняя плотность метровой толщи снега местами не превышает 100 кг/м³. Обобщенная информация по плотности снега, в зависимости от местных условий образования и дальнейшего пребывания на местности, представлена в таблице № 2 [16–19].

Таблица № 2

Обобщенная информация о состоянии и плотности снега на территории России
Summary information on the state and density of snow in Russia

Состояние снега	Плотность снега, кг/м ³
Свежевыпавший, чистый, неокученный, при низких (≈ от –10 до –20° С) температурах и безветрии	10–70
Свежевыпавший, чистый, неокученный	100–150
Свежевыпавший, чистый, неокученный, при низких (≈ от –10 до –20° С) температурах и метели	120–180
Свежевыпавший, обвалованный или окученный	200–300
Свежевыпавший сухой, сформировавшийся при верховой метели	200–300
Свежевыпавший, чистый, неокученный, при низких (≈ от –10 до –20° С) температурах и урагане	400–450
Свежевыпавший, обвалованный, лежалый	340–420
Целинный, лежалый около 30 сут.	200–300
Целинный, лежалый более 30 сут.	340–420
Свежесброшенный с крыш	350

По предварительным оценкам плотность свежевыпавшего снега принимают равной 20–270 кг/м³, лежалого – 200–400 кг/м³, фирнового – 400–500 кг/м³. Водяная емкость снега, определяемая соотношением объема воды, возникшей в результате таяния снега, к его первоначальному объему, зависит от зернистости состава, вида снега и снижается соответственно времени выпадения снежного покрова: свежевыпавший снег – 0,30–0,50, мелко- и среднезернистый – 0,25–0,35, крупнозернистый – 0,15–0,25. Таким образом, при оценке влияния климатических, сезонных условий и выпавших осадков (дождя, снежного покрова) на результаты дозиметрических

и радиометрических измерений гамма-излучения, потоков альфа- и бета-частиц основными воздействующими факторами необходимо считать температурный режим окружающей среды, состояние и степень влагонасыщения почв, состояние и толщину снежного покрова [16–19].

Оценка предполагаемого воздействия особенностей климатических и сезонных условий и выпадений осадков (дождя, снежного покрова) на радиометрические измерения в Евразийском регионе

Оценку ослабления ионизирующих излучений получают расчетными методами с применением коэффициентов взаимодействия и (или) полных макроскопических сечений в качестве интегральных характеристик взаимодействий частиц с материалами самих радиоактивно загрязненных веществ, барьеров между источником и детектирующими блоками [20–21].

Оценка ослабления гамма-излучения. Полное макроскопическое сечение взаимодействия для фотонов называют коэффициентом ослабления, различая линейный μ и массовый μ_m коэффициенты ослабления, связанные между собой через плотность излучающего вещества соотношением:

$$\mu_m = \mu / \rho, \tag{3}$$

где ρ – плотность вещества, кг/м³.

Закон ослабления излучения пластиной толщины d в геометрии узкого пучка для плоского мононаправленного источника записывают в виде:

$$G(d) = G_0 \exp(-\mu d), \tag{4}$$

где $G(d)$ и G_0 – характеристики поля излучения (плотность потока энергии, мощность дозы и т. д.) после защиты толщиной d и без нее, соответственно.

Рассеянное в среде излучение и вторичное излучение для фотонов обычно учитывают, вводя в закон сомножителем фактор накопления фотонного излучения B_μ [20]. На предварительных этапах первичных оценок введение этого фактора нецелесообразно ввиду незначительности просчитанных авторами поправок для представляющих практическую значимость геометрий измерений.

Оценка ослабления потоков корпускулярных частиц. Для корпускулярных бета- и альфа-частиц оценки возможности прохождения через вещество и, следовательно, последующей регистрации

дозиметрами-радиометрами проводят с применением величин пробегов [20, 21]. При невозможности однозначного экспериментального определения максимальных пробегов частиц $R_{\text{макс}}$ в среде на практике графически экстраполируют линейную часть кривой зависимости относительного поглощения (функция) от толщины поглотителя (аргумент) с целью установления экстраполированного (практического) пробега моноэнергетических частиц в веществе $R_{\text{экс}}$ и (или) максимальных пробегов.

Ослабление плотности потока бета-частиц. Для среды толщиной меньше максимального пробега ослабление плотности потока бета-частиц приближенно следует экспоненциальному закону [20]:

$$\varphi = \varphi_0 \exp(-\mu_m d), \tag{5}$$

где d – толщина поглотителя, кг/м²;

μ_m – массовый коэффициент поглощения электронов, м²/кг.

Зависимость μ_m м²/кг от максимальной энергии бета-частиц E_β , МэВ, приближенно аппроксимируют формулами [20, 21]:

$$\mu_m \approx 15,5 E_\beta^{-1,41} \approx 17 E_\beta^{-1,43} \approx 22 E_\beta^{-1,33}. \tag{6}$$

Для оценок максимальных пробегов бета-частиц в воздухе рекомендованы приближенные соотношения:

$$R_{\beta\text{max}} \approx 450 E_\beta, \tag{7}$$

где E_β выражено в МэВ, R_β в м.

При $E_\beta = (0,5–10,0)$ МэВ погрешность результатов (7) не превышает 30 %.

Пробеги альфа-частиц для наиболее важных веществ приведены в [20, 21]. Данные для элементов при энергии $E_0 \leq 7,5$ МэВ применялись по таблицам пробегов заряженных частиц с энергией 1–1 000 МэВ, для $8,0 \text{ МэВ} \leq E_0 \leq 10 \text{ МэВ}$ – по таблицам массовой тормозной способности и пробегов заряженных частиц с энергией 1–1 000 МэВ. Для многокомпонентных сред расчет пробегов R проводили по рекомендациям [20, 21]:

$$1/R = \sum_{i=1}^m f_i / R_i, \tag{8}$$

где R_i – пробег альфа-частицы в веществе i -й компоненты, кг/м², с массовым содержанием f_i , кг/м³, $\sum_{i=1}^m f_i = 1$; значения R_i для воды и воздуха были выбраны из таблиц пробегов заряженных частиц с энергией до 8 МэВ, таблиц массовой тормозной способности и пробегов заряженных частиц с энергией 1–1 000 МэВ,

справочников по ядерной физике и по защите от излучения протяженных источников.

Проведенные расчеты были применены для предварительных оценок степени влагосодержания в почвах и в снежном покрове в целях конкретизации возможностей регистрации радионуклидов по их радиационным показателям (гамма-излучению, потокам альфа- и бета-частиц) применительно к конкретным сезонным и погодным условиям. Оценки возможностей регистрации идентифицированных радионуклидов в пробах грунтов (таблица № 1) по радиометрическим показателям в сложных сезонных и погодных условиях представлены на рис. 5–11.

Регистрация гамма-излучений. На рис. 5 представлены расчеты пробегов гамма-излучения R_γ с энергиями 0,0595–1,27450 МэВ в воде, воздухе и свежеснежившем снеге с влагосодержанием 1,0–5,0 %. На рис. 6 – расчеты пробегов гамма-излучения R_γ в воде, воздухе и устойчивом снежном покрове с влагосодержанием 20,0–30,0 %. Как следует из рис. 5 и 6, проникающая способность гамма-излучения регулярно регистрируемых радионуклидов возрастает с увеличением энергии фотонов и уменьшением влагосодержания снежного покрова. Для практически значимых величин влагосодержания устойчивого и свежеснежившего снежного покрова на территории России (реже 5,0–15 %, обычно 20–30,0 %) и практически наиболее часто регистрируемых энергий фотонов (60–1 300 кэВ) не существует серьезных ограничений, как показывает рис. 6.

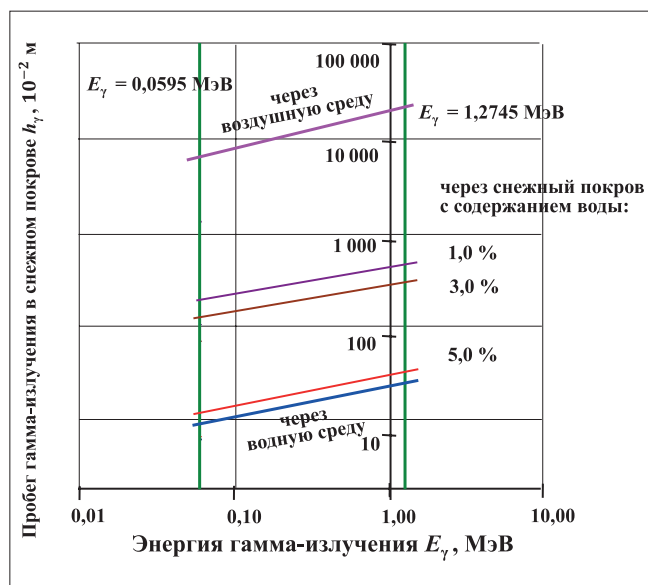


Рис. 5. Проникающая способность гамма-излучения радионуклидов в зависимости от влагосодержания снежного покрова

[Fig. 5. The penetrating power of gamma radiation of radionuclides depending on the moisture content of the snow cover]

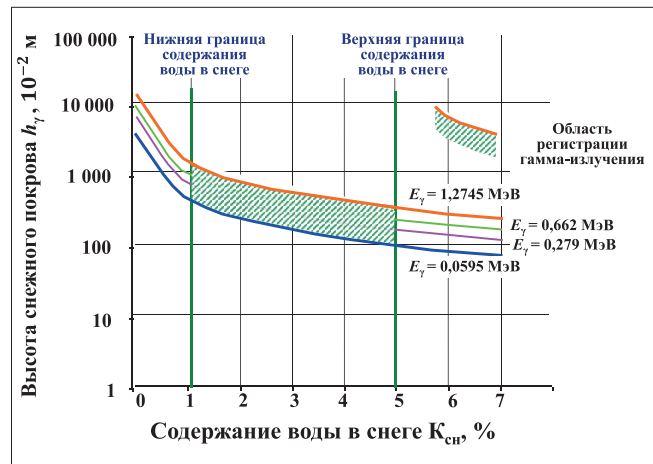


Рис. 6. Энергетический порог обнаружения гамма-излучения в свежеснежившем снеге [Fig. 6. Energy threshold of gamma radiation detection in freshly fallen snow]

Диапазон высот снежного покрова от $\approx 0,15$ – $0,20$ м до $\approx 1,0$ м (рис. 5, 6) не препятствует проведению индикаторных замеров на этапе рекогносцировочного обследования территорий.

Регистрация потоков бета-частиц. Расчеты пробегов бета-частиц R_β с энергиями бета-частиц в диапазоне 0,067–2,823 МэВ в воде, воздухе и снежном покрове с различным влагосодержанием (в свежеснежившем снеге $\approx 1,0$ – $10,0$ %, в формируемом снежном покрове $\approx 5,0$ – $15,0$ %, в устойчивом снежном покрове $\approx 20,0$ – $30,0$ %) выполнены с применением рекомендаций [20].

На рис. 7 и 8 графически отображены результаты расчетов. Проникающая способность бета-частиц регулярно регистрируемых радионуклидов возрастает с увеличением энергии бета-частиц и уменьшением влагосодержания снежного покрова. Для практически значимых на территории России величин влагосодержания формируемого при свежеснежившем снеге покрова (порядка $\approx 1,0$ – $5,0$ %) и практически наиболее часто регистрируемых энергий бета-частиц (70–3 000 кэВ) толщину снежного покрова $\approx 0,06$ – $0,07$ м способны преодолеть только бета-частицы с высокими значениями энергии: примерно 800 кэВ при влагосодержании снега \approx до 5 %, 1 000 кэВ – \approx до 10 %, 1 150 кэВ – \approx до 15 %. Преодолеть устойчивый снежный покров такой же толщины с наиболее часто встречаемым в зимних условиях влагосодержанием $\approx 20,0$ – $30,0$ % могут бета-частицы с энергией более 3 500 кэВ. Слой устойчивого снежного покрова свыше 0,1 м толщиной при влажности снега ≈ 30 % не могут преодолеть даже высокоэнергетичные 5,0 МэВ бета-частицы. Из проведенного анализа следует, что регистрацию участков радиоактивного

загрязнения по радиометрическим показателям потоков бета-частиц предпочтительней проводить на первичных этапах формирования снежного покрова, когда влагосодержание свежеснегавшего снега при различных метеоусловиях, описанных в предыдущих разделах, не должно превышать $\approx 15\%$, по возможности предварительно расчистив от снежного покрова обследуемый участок местности в местах проведения замеров до слоя снега $\approx (5,0-10,0) \cdot 10^{-2}$ м над почвой. Более целенаправленно поиск участков радиоактивного загрязнения по радиометрическим показателям бета-частиц R_β может быть проведен при условии предварительного установления предполагаемого состава присутствующих на обследуемых участках радионуклидов с энергиями бета-частиц в диапазоне 0,050–5,0 МэВ [20–22].

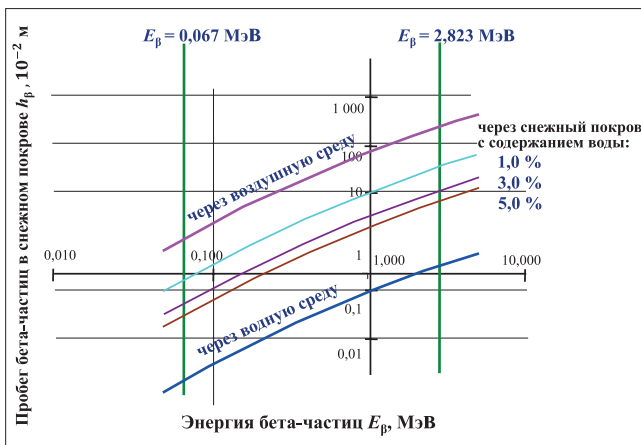


Рис. 7. Проникающая способность бета-частиц в зависимости от влагосодержания снежного покрова [Fig. 7. The penetrating ability of beta particles depending on the moisture content of the snow cover]

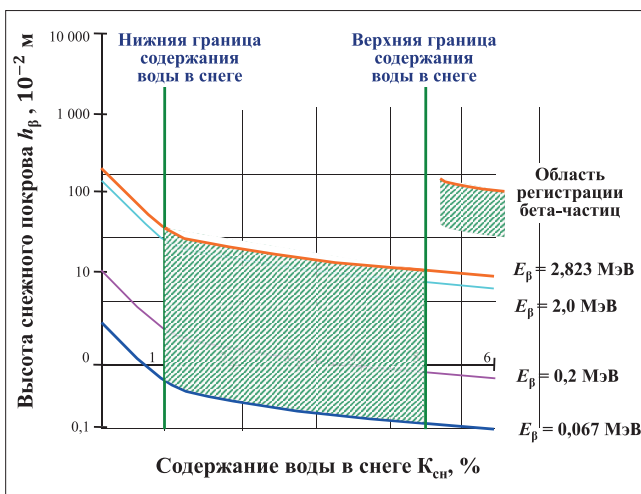


Рис. 8. Энергетический порог обнаружения бета-частиц в свежеснегавшем снеге [Fig. 8. Energy threshold for detecting beta particles in freshly fallen snow]

Регистрация потоков альфа-частиц. Расчеты пробегов альфа-частиц R_α с энергиями альфа-частиц в диапазоне 0,010–10,0 МэВ в воде, воздухе, в снежном покрове с различным влагосодержанием (в свежеснегавшем снеге $\approx 0,5-2,5\%$, в формируемом снежном покрове $\approx 5,0-10,0\%$, в устойчивом снежном покрове $\approx 20,0, 25,0$ и 30%) выполнены с применением рекомендаций [20, 21].

Результаты расчетов графически отображены на рис. 9–11. Как следует из рис. 9, проникающая способность альфа-частиц регулярно регистрируемых радионуклидов возрастает с увеличением энергии альфа-частиц и уменьшением влагосодержания снежного покрова. Для практически значимых на территории России величин влагосодержания формируемого при свежеснегавшем снеге покрова (с влагосодержанием 0,5–2,5 %) и практически наиболее часто регистрируемых энергий альфа-частиц (2,0–6,0 МэВ) толщину снежного покрова $\approx (6,0-7,0) \cdot 10^{-2}$ м (реально достижимый на практике минимальный слой при ведении оперативных исследований в сжатые сроки) альфа-частицы преодолеть не способны. Для альфа-частиц невозможно преодоление снежного покрова даже при его толщине $\approx 10^{-2}$ м для всех практически регистрируемых энергий альфа-частиц в процессе проведения дезактивационных работ на местности с наиболее часто встречаемым в зимних условиях влагосодержанием $\approx 20,0-30,0\%$ снежного покрова. Очевидно, что дополнительным препятствием регистрации потоков альфа-частиц могут стать регулярно наблюдаемые при снегопадах оттепели, способствующие интенсивному увеличению влагонасыщения свежеснегавшего снега при безветренной погоде. Вторым немаловажным препятствием следует рассматривать процессы слипания снежинок при снегопадах в условиях метелей и тем более ураганов, следствием чего следует ожидать увеличение плотности формирующегося снежного покрова. Из проведенного анализа следует, что регистрацию участков радиоактивного загрязнения по радиометрическим показателям потоков альфа-частиц можно попытаться реализовать только в условиях выпадения снега на мерзлую почву в безветренную и морозную погоду (предположительно с температурой ниже -10°C) практически сразу после прекращения снегопада [17, 22].

По-видимому, только при перечисленных весьма жестких ограничениях должна появиться возможность расчистки площадки ведения радиометрических измерений и достижения минимальной \approx до $(4,0-7,0) \cdot 10^{-3}$ м высоты снежной прослойки.

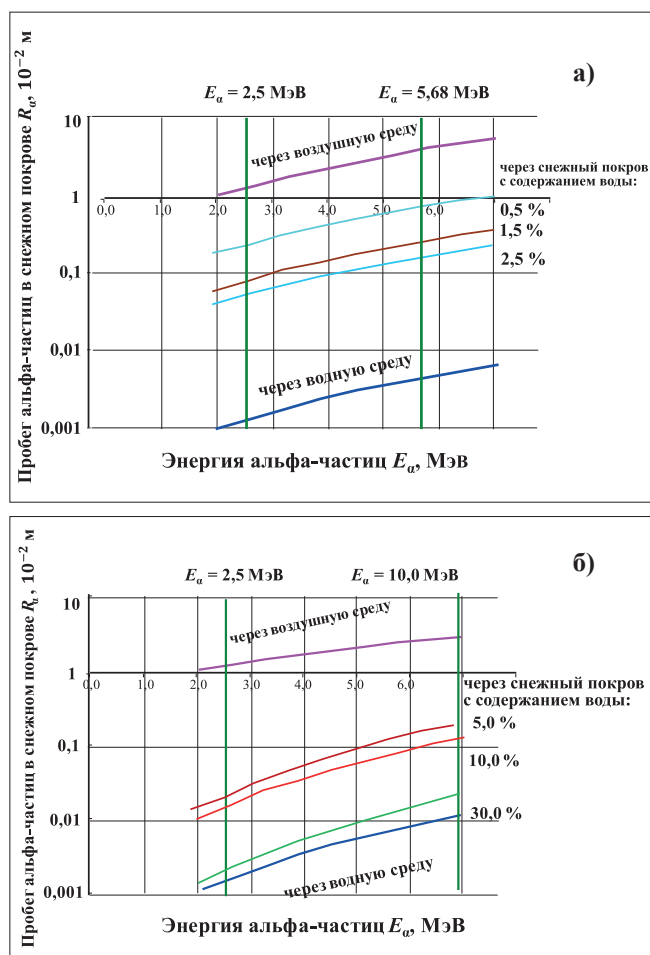


Рис. 9. Проникающая способность альфа-частиц в зависимости от влагосодержания снежного покрова: а) диапазон изменения от 0,5 до 2,5 %; б) диапазон изменения от 5,0 до 30,0 % [Fig. 9. The penetrating ability of alpha particles depending on the moisture content of the snow cover: а) the range of variation from 0.5 to 2.5 %; б) the range of variation from 5.0 to 30.0 %]

Согласно расчетам в этих условиях, если влагосодержание в снеге не превысит 0,5–2,0 %, может появиться возможность зарегистрировать альфа-частицы для наиболее значимых радионуклидов с высокими ($\approx 4,0$ – $5,0$ МэВ) энергиями. Поэтому, также как и в случае регистрации бета-частиц, более целенаправленно поиск участков радиоактивного загрязнения по радиометрическим показателям потоков альфа-частиц может быть проведен при условии предварительного установления предполагаемого радионуклидного состава загрязнителей.

Таким образом, как показала практика, в целом ряде случаев расчетные полуэмпирические методы позволяют сократить предварительные исследования на местности в сложных природно-климатических условиях при устанавливаемых жестких временных ограничениях.

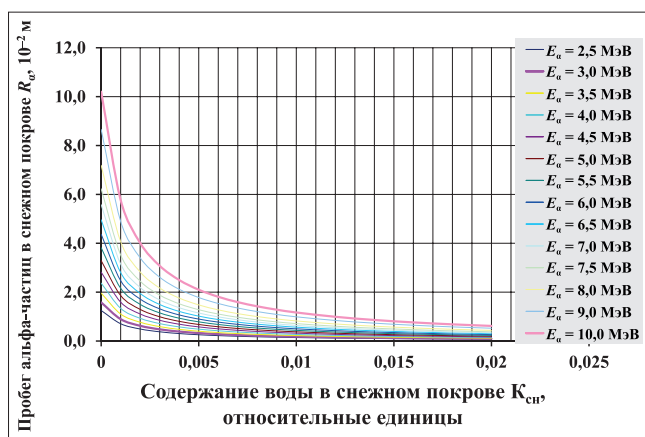


Рис. 10. Проникающая способность альфа-частиц в зависимости от влагосодержания снежного покрова [Fig. 10. The penetrating ability of alpha particles depending on the moisture content of the snow cover]

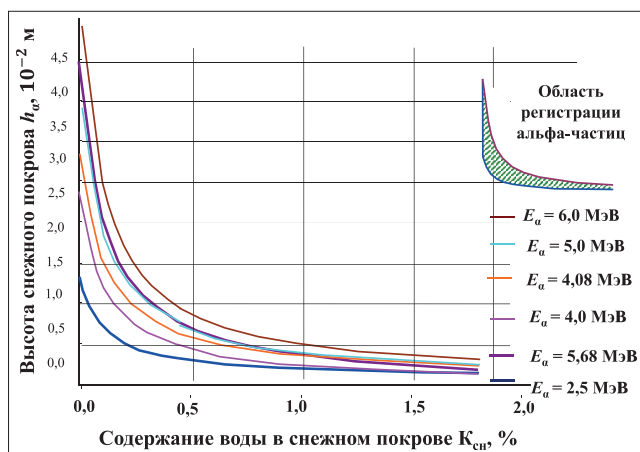


Рис. 11. Энергетический порог обнаружения альфа-частиц в свежеснеге [Fig. 11. The energy threshold for the detection of alpha particles in freshly fallen snow]

Заключение

Функциональные и территориальные подсистемы Единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций (РСЧС) на данный момент обеспечивают надежное поддержание и развитие противоаварийного потенциала страны, создавая возможности эффективной аварийной готовности и аварийного реагирования с привлечением наличных сил и средств на формируемые риски и угрозы: техногенные, природные, террористические и другие. Интенсивное освоение удаленных территорий и создание в них крупных промышленных, горнодобывающих, газо-нефтехимических и энергетических объектов формирует практическую потребность совершенствования возможностей звеньев РСЧС всех уровней управления с учетом климатических, логистических условий, модернизации коммуникаций, строительства объек-

тов экономики, развития морских портов и всей инфраструктуры Северного морского пути.

Обоснованные экономичные направления практического применения универсальных приборов или вспомогательного оборудования для повышения оперативности и эффективности ведения работ, разработанные алгоритмы оценки влияния климатических и сезонных условий и выпавших осадков (дождя, снежного покрова) на результаты дозиметрических и радиометрических измерений гамма-излучения, потоков альфа- и бета-частиц, оценки масштабов и уровней участков радиоактивного загрязнения показали принципиальную возможность

оперативного получения информации путем их оптимального сочетания.

Проведенные исследования позволили обосновать развитие перспективных направлений радиологического мониторинга при обеспечении задач противодействия угрозам в составе системы антикризисного управления в соответствии с Единым планом мероприятий по реализации Основ государственной политики Российской Федерации в Арктике на период до 2035 года и Стратегией развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2035 года [23, 24].

Литература

1. Вакуловский С. М., Ветров В. А., Израэль Ю. А., Ровинский Ф. Я., Стукин Е. Д. Чернобыль: радиоактивное загрязнение природных сред. – Л.: Гидрометеоздат, 1990. 206 с.
2. Руководящий документ. Контрольные уровни обеспечения радиологической безопасности населения города Москвы: утв. 19.11.2008.
3. Ваганов В. П., Осетров К. Ю., Саликов В. А., Сафронов В. Г. Разработка методических и технологических решений при проведении дезактивационных работ на участках радиоактивного загрязнения г. Москвы и Московского региона / Сер. Труды ГУП МосНПО «Радон». Вып. 17. Итоги научной деятельности за 2009 г. – М.: ООО «ИБДГ», 2012. 89 с.
4. Поленов Б. В., Сафронов В. Г., Цыбиков Н. А. К вопросу совершенствования нормативной базы, методов и средств обследования радиационно загрязненных объектов и территорий // Стратегия гражданской защиты. Проблемы и исследования. 2014. Т. 4. № 2. С. 71–85.
5. Поленов Б. В., Сафронов В. Г., Цыбиков Н. А. Совершенствование методов и средств МЧС России при оптимизации радиоактивно загрязненных объектов и территорий / Глобальная и национальная стратегии защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций: сборник. – М.: МЧС России, 2015. С. 467–473.
6. Каганов В. М., Комиссаров А. Б., Мингалеев С. Г., Фалеев М. И., Цыбиков Н. А. Объективные предпосылки и возможные варианты дооснащения ресурсно-материальной базы участников аварийно-спасательных и других неотложных работ в зонах чрезвычайных ситуаций и террористических актов // Стратегия гражданской защиты: проблемы и исследования. 2019. Т. 9. № 1 (16). С. 25–60.
7. Гулый В. Г., Мушников В. В., Никитин В. И., Петров Н. А., Поленов Б. В. Дозиметры МКС-85 «Эксперт-2+» и МКС-85 «Эксперт-2» – электронные цифровые дозиметрические приборы нового поколения // АНРИ. 2013. № 4. С. 15–22.
8. Болодурин Б. А., Михайлов А. А. Переносные и стационарные газоанализаторы на базе интеллектуальных сенсорных модулей (ИСМ) // Мониторинг. Наука и безопасность. 2012. № 4. С. 64–67.
9. Комиссаров А. Б. Приоритетные направления модернизации приборного обеспечения мониторинга компонентов окружающей среды в условиях глобальных климатических изменений / «Наука и технологии обеспечения безопасности в чрезвычайных ситуациях»: сборник трудов конференции «Комплексная безопасность-2021». Ч. I. МЧС России. – М.: ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2021. С. 264–268.
10. Комиссаров А. Б. Инновационные решения в современных средствах контроля параметров ионизирующих излучений / «Наука и технологии обеспечения безопасности в чрезвычайных ситуациях»: сборник трудов конференции «Комплексная безопасность-2021». Ч. I. МЧС России. – М.: ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2021. С. 150–152.
11. Глухов Г. Г., Зукау В. В., Нестерова Ю. В., Чикова И. В. Радиационный контроль в современных процессах нефтедобычи // Вестник науки Сибири. 2012. № 2 (3). С. 16–22.
12. Фалеев М. И., Цыбиков Н. А. Преодоление экологических проблем предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций – одно из приоритетных направлений организации спасательных операций /

Гражданская оборона на страже мира и безопасности: материалы III Международной научно-практической конференции, посвященной Всемирному дню гражданской обороны (1 марта 2019 г.). В 3-х частях. Часть 1. М.: Академия ГПС МЧС России, 2019. С. 65–74.

13. Таблицы физических величин. Справочник. Под ред. акад. Кикоина К. И. – М.: Атомиздат, 1976. 1008 с.

14. Голашвили Т. В., Чечев В. П., Бадиков С. А. Справочник нуклидов. Под ред. Т. В. Голашвили. – 4 издание, перераб. и доп. – М.: Издательский дом МЭИ, 2011. 462 с.

15. Большая Российская энциклопедия. Энциклопедический словарь / научно-редакционный совет: председатель – Ю. С. Осипов. – М.: Большая Российская энциклопедия, 2011. 1519 с.

16. Козлов Д. В. Основы гидрофизики: учеб. пособие для студентов с.-х. вузов, обучающихся по специальностям направления подгот. дипломир. специалиста 656800 «Вод. ресурсы и водопользование». Раздел 2. Физические свойства воды, водяного пара, льда и снега / Д. В. Козлов. – М.: Моск. гос. ун-т природообустройства (РИО МГУП), 2004. 246 с.

17. Василенко В. Н., Назаров И. М., Фридман Ш. Д. Мониторинг загрязнения снежного покрова. – Л.: Гидрометеиздат, 1985. 182 с.

18. Войтковский К. Ф. Основы гляциологии. – М.: Наука, 1999. 255 с.

19. Коган Р. М., Назаров И. М., Фридман Ш. Д. Основы гамма-спектрометрии природных сред. Изд. 2-е. – М.: Атомиздат, 1976. 368 с.

20. Машкович В. П., Кудрявцева А. В. Защита от ионизирующих излучений. Справочник. – 5-е изд. – М.: АП «Столица», 2013. 496 с.

21. Гусев Н. Г., Климанов В. А., Машкович В. П., Суворов А. П. Защита от ионизирующих излучений. Т. 1. Физические основы защиты. Под ред. Гусева Н. Г. 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1985. 509 с.

22. Инструкции и методические указания по оценке радиационной обстановки на загрязненной территории: утверждены председателем Межведомственной комиссии по радиационному контролю природной среды Ю. А. Израэлем 17.03.1989.

23. Единый план мероприятий по реализации Основ государственной политики Российской Федерации в Арктике на период до 2035 года: утв. распоряжением Правительства Российской Федерации от 15.04.2021 № 996-р.

24. Стратегия развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2035 года: утв. Указом Президента Российской Федерации от 26.10.2020 № 645.

References

1. Vakulovsky S. M., Vetrov V. A., Israel Yu. A., Rovinsky F. Ya., Stukin E. D. (2021). Chernobyl': radioaktivnoe zagryaznenie prirodnykh sred [Chernobyl: radioactive pollution of natural environments]. L.: Hydrometeorological Publishing House, 206 p. [in Russian].

2. Rukovodyashchii document “Kontrol'nye urovni obespecheniya radioekologicheskoi bezopasnosti naseleniya goroda Moskvyy” [The guidance document “Control levels of ensuring radioecological safety of the population of the city of Moscow”]. 2008.

3. Vaganov V. P., Osetrov K. Yu., Salikov V. A., Safronov V. G. (2012). Razrabotka metodicheskikh i tekhnologicheskikh reshenii pri provedenii dezaktivatsionnykh rabot na uchastkakh radioaktivnogo zagryazneniya g. Moskvyy i Moskovskogo regiona. Ser. Trudy GUP MoSNPO “Radon”. Itogi nauchnoi deyatel'nosti za 2009 g. [Development of methodological and technological solutions for decontamination work at sites of radioactive contamination in Moscow and the Moscow region. Works of the State Unitary Enterprise MoSNPO “Radon”. Results of scientific activity for 2009. Issue 17.]. Moscow: IBDG LLC, 89 p. [in Russian].

4. Polenov B. V., Safronov V. G., Tsybikov N. A. (2014). K voprosu sovershenstvovaniya normativnoi bazy, metodov i sredstv obsledovaniya radiatsionno zagryaznennykh ob"ektov i territorii [On the issue of improving the regulatory framework, methods and means of inspection of radiation-contaminated facilities and territories]. Strategiya grazhdanskoi zashchity. Problemy i issledovaniya – Strategy of civil protection. Problems and research, vol. 4, No. 2, pp. 71–85. [in Russian].

5. Polenov B. V., Safronov V. G., Tsybikov N. A. (2015). Sovershenstvovanie metodov i sredstv MCHS Rossii pri optimizatsii radioaktivno zagryaznennykh ob"ektov i territorii. Global'naya i natsional'naya strategii zashchity naseleniya i territorii ot chrezvychainykh situatsii: sbornik [Improving the methods and tools of the Ministry of Emergency Situations of Russia in optimizing radioactively contaminated facilities and territories. In the collection: Global and national strategies for the protection of populations and territories from emergency situations]. Moscow: EMERCOM of Russia, pp. 467–473. [in Russian].

6. Kaganov V. M., Komissarov A. B., Mingaleev S. G., Faleev M. I., Tsybikov N. A. (2019). Ob"ektivnye predposylki i vozmozhnye varianty doosnashcheniya resursno-material'noi bazy uchastnikov avariino-spasatel'nykh i drugikh neotlozhnykh rabot v zonakh chrezvychainykh situatsii i terroristicheskikh aktov [Objective prerequisites and possible options for retrofitting the resource and material base of participants in emergency rescue and other urgent work in areas of emergency situations and terrorist acts]. Strategiya grazhdanskoi zashchity: problemy i issledovaniya – The strategy of civil protection: problems and research, vol. 9, No. 1 (16), pp. 25–60. [in Russian].

7. Guly V. G., Mushnikov V. V., Nikitin V. I., Petrov N. A., Polenov B. V. (2013). Dozimetry MKS-85 "Ehkspert-2+" i MKS-85 "Ehkspert-2" – ehlektronnye tsifrovye dozimetricheskie pribory novogo pokoleniya [Dosimeters ISS-85 "Expert-2+" and ISS-85 "Expert-2" – electronic digital dosimetric devices of a new generation]. ANRI – ANRY, No. 4, pp. 15–22. [in Russian].

8. Bolodurin B. A., Mikhailov A. A. (2012). Perenosnye i statsionarnye gazoanalizatory na baze intellektual'nykh sensorynykh modulei (ISM) [Portable and stationary gas analyzers based on intelligent sensor modules (ISM)]. Monitoring. Nauka i bezopasnost' – Monitoring. Science and security, No. 4, pp. 64–67. ISSN: 2221-6065.

9. Komissarov A. B. (2021). Prioritetnye napravleniya modernizatsii pribornogo obespecheniya monitoringa komponentov okruzhayushchei sredy v usloviyakh global'nykh klimaticheskikh izmenenii [Priority directions of modernization of instrumentation for monitoring environmental components in the context of global climate change]. Collection of abstracts: Nauka i tekhnologii obespecheniya bezopasnosti v chrezvychainykh situatsiyakh: sbornik trudov konferentsii "Kompleksnaya bezopasnost'-2021" – Science and technology of ensuring safety in emergency situations "Integrated safety and security exhibition-2021" (pp. 264–268). Moscow: EMERCOM of Russia. [in Russian].

10. Komissarov A. B. (2021). Innovatsionnye resheniya v sovremennykh sredstvakh kontrolya parametrov ioniziruyushchikh izluchenii [Innovative solutions in modern means of monitoring the parameters of ionizing radiation]. Collection of abstracts: Nauka i tekhnologii obespecheniya bezopasnosti v chrezvychainykh situatsiyakh: sbornik trudov konferentsii "Kompleksnaya bezopasnost'-2021" – Science and technology of ensuring safety in emergency situations "Integrated safety and security exhibition-2021" (pp. 150–152). Moscow: EMERCOM of Russia. [in Russian].

11. Glukhov G. G., Zukau V. V., Nesterova Yu. V., Chikova I. V. (2012). Radiatsionnyi kontrol' v sovremennykh protsessakh nefte dobychi [Radiation control in modern oil production processes]. Vestnik nauki Sibiri – Bulletin of Siberian Science, No. 2 (3), pp. 16–22. [in Russian].

12. Faleev M. I., Tsybikov N. A. (2019). Preodolenie ehkologicheskikh problem preduprezhdeniya i likvidatsii chrezvychainykh situatsii – odno iz prioritetykh napravlenii organizatsii spasatel'nykh operatsii [Overcoming environmental problems of preventing and eliminating emergency situations is one of the priorities of organizing rescue operations]. Grazhdanskaya oborona na strazhe mira i bezopasnosti: materialy III Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii, posvyashchennoi Vsemirnomu dnyu grazhdanskoi oborony – Civil Defense on guard of peace and security. Proceedings of the III International Scientific and Practical Conference dedicated to the World Civil Defense Day (March 1, 2019) (pp. 65–74). [in Russian].

13. Kikoin K. I. (Ed.) (1976). Tablitsy fizicheskikh velichin. Spravochnik [Tables of physical quantities. Guide]. Moscow: Atomizdat, 1008 p. [in Russian].

14. Golashvili T. V., Chechev V. P., Badikov S. A. (2011). Spravochnik nuklidov [Handbook of nuclides]. Edited by T. V. Golashvili. 4th edition, revised and expanded. Moscow: Publishing House of the Moscow Institute of Economics. [in Russian].

15. (2011). Bol'shaya Rossiiskaya ehntsiklopediya. Ehntsiklopedicheskii slovar' [The Great Russian Encyclopedia. The Encyclopedic Dictionary]. Chairman of the Scientific and Editorial Board – Osipov Yu. S. Responsible editor-in-chief – Kravets S. L. Moscow: The Great Russian Encyclopedia. [in Russian].

16. Kozlov D. V. (2004). Osnovy gidrofiziki: ucheb. posobie dlya studentov s.-kh. vuzov, obuchayushchikhsya po spetsial'nostyam napravleniya podgot. diplomir. spetsialista 656800 "Vod. resursy i vodopol'zovanie". Razdel 2.

Fizicheskie svoystva vody, vodyanogo para, l'da i snega [Methodological guidelines “Fundamentals of hydrophysics”, section 2. Physical properties of water, water vapor, ice and snow]. Moscow: Moscow State University of Natural Sciences. [in Russian].

17. Vasilenko V. N., Nazarov I. M., Friedman S. D. (1985). Monitoring zagryazneniya snezhnogo pokrova [Monitoring of snow cover pollution]. Leningrad: Hydrometeoizdat. [in Russian].

18. Voytkovsky K. F. (1999). Osnovy glyatsiologii [Fundamentals of glaciology]. Moscow: Nauka. [in Russian].

19. Kogan R. M., Nazarov I. M., Friedman S. D. (1976). Osnovy gamma-spektrometrii prirodnykh sred [Fundamentals of gamma-ray spectrometry of natural media]. Moscow: Atomizdat. [in Russian].

20. Mashkovich V. P., Kudryavtseva A. V. (2013). Zashchita ot ioniziruyushchikh izluchenii. Spravochnik [Protection from ionizing radiation. Reference]. Moscow: AP “Stolitsa”. [in Russian].

21. Gusev N. G., Klimanov V. A., Mashkovich V. P., Suvorov A. P. (1985). Zashchita ot ioniziruyushchikh izluchenii. Tom 1. Fizicheskie osnovy zashchity [Protection from ionizing radiation. Vol. 1. Physical foundations of protection]. Moscow: Energoatomizdat. [in Russian].

22. Instruktsii i metodicheskie ukazaniya po otsenke radiatsionnoi obstanovki na zagryaznennoi territorii [Instructions and guidelines for assessing the radiation situation in a contaminated area]. 1989.

23. Edinyi plan meropriyatii po realizatsii Osnov gosudarstvennoi politiki Rossiiskoi Federatsii v Arktike na period do 2035 goda [Unified action plan for the implementation of the Fundamentals of the State Policy of the Russian Federation in the Arctic for the period up to 2035]. 2021.

24. Strategiya razvitiya Arkticheskoi zony Rossiiskoi Federatsii i obespecheniya natsional'noi bezopasnosti na period do 2035 goda [Strategies for the development of the Arctic zone of the Russian Federation and ensuring national security for the period up to 2035]. 2020.

Сведения об авторах

Цыбиков Николай Александрович, член-корреспондент Российской экологической академии, ведущий научный сотрудник научно-исследовательского отдела, федеральное государственное бюджетное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций МЧС России» (Федеральный центр науки и высоких технологий) (121352, Москва, ул. Давыдовская, д. 7). ORCID: 0009-0002-5062-2708.

Сидорович Татьяна Ивановна, инженер I категории научно-исследовательского отдела, федеральное государственное бюджетное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций МЧС России» (Федеральный центр науки и высоких технологий) (121352, Москва, ул. Давыдовская, д. 7).

Фалеев Михаил Иванович, главный специалист, федеральное государственное казенное учреждение «Государственный центральный аэромобильный спасательный отряд» (Центроспас) (140180, Московская область, г. Жуковский, ул. Менделеева, д. 12).

Authors credentials

Tsybikov Nikolay Alexandrovich, Member-correspondent of the Russian Academy of Ecology, Leading Researcher, Federal State Budgetary Institution “All-Russian Research Institute for Civil Defense and Emergency Situations of the Ministry of the Russian Emergencies Ministry” (Federal Center for Science and High Technologies) (7, Davydkovskaya str., Moscow, 121352), e-mail: ntsybikov@yandex.ru.

Sidorovich Tatyana Ivanovna, Category 1 Engineer, Federal State Budgetary Institution “All-Russian Research Institute for Civil Defense and Emergency Situations of the Ministry of the Russian Emergencies Ministry” (Federal Center for Science and High Technologies) (7, Davydkovskaya str., Moscow, 121352), e-mail: s.t.i.-2009@mail.ru.

Faleev Mikhail Ivanovich, Chief Expert, Federal State Public Institution “State Central Airmobile Rescue Team of the Russian Emergencies Ministry” (“Centrosпас”) (12, Mendeleev str., Zhukovsky, Moscow region, 140180), e-mail: od_camo@mail.ru.

Для цитирования

Цыбиков Н. А., Сидорович Т. И., Фалеев М. И. Оптимизация всепогодных радиационных обследований территорий в условиях интенсивной эксплуатации российских макрорегионов // Ядерная и радиационная безопасность. 2024. № 1 (111). С. 17–35. DOI: 10.26277/SECNRS.2024.111.1.002.

For citation

Tsybikov N. A., Sidorovich T. I., Faleev M. I. Optimization of all-season radiation surveys of territories in conditions of intensive exploitation of Russian macroregions. Nuclear and Radiation Safety Journal. 2024, No. 1 (111), pp. 17–35. [in Russian]. DOI: 10.26277/SECNRS.2024.111.1.002.

