

УДК 574:539.1.04:622.349.5

## **ЕСТЕСТВЕННАЯ РАДИОАКТИВНОСТЬ РЕДКОМЕТАЛЛЬНО СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОГО МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ И УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ КАРЕЛО-КОЛЬСКОГО РЕГИОНА КАК ФАКТОР ИХ РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ**

**Г. Б. Мелентьев**

*Объединенный институт высоких температур РАН, Москва, Россия*

Приводятся результаты многоплановых исследований с применением разномасштабных методов картирования и оценки естественной радиоактивности собственно редкометалльного рудного и нерудного сырья Кольского и Карельского регионов. Установлена преимущественно ториевая специализация продуктивных на редкие металлы нефелин-сиенитовых комплексов и торий-урановая карбонатитовых и гранит-пегматитовых. Определены закономерности распределения естественных радионуклидов в рудных телах, минеральные формы их концентрации и радиоэкологическое значение в оценках качества изученных видов сырья и обращения с ними при добыче и переработке. Для территории г. Мурманска, в основном представленной выходами докембрийского фундамента, на геотектонической картографической основе выявлены параметры радонового «дыхания», участки аномальных концентраций и их приуроченность к зонам разломов. Показана эффективность совместного использования результатов радиогеохимического картирования и радиационно-гигиенических обследований населенных пунктов в регионах.

**Ключевые слова:** естественные радионуклиды; редкометалльные руды; нерудное сырье; картирование; радиогеохимия; уран; торий; радон; радиоэкология.

### **G. B. Melentyev. NATURAL RADIOACTIVITY OF RARE-METAL SPECIALIZED MINERAL RAW MATERIALS AND URBANIZED AREAS IN THE KARELIAN-KOLA REGION AS A FACTOR FOR THEIR RADIOECOLOGICAL ASSESSMENT**

The results of multifaceted studies using multiscale methods of mapping and assessment of the natural radioactivity of actual rare-metal ores, and non-metallic raw materials from the Kola and Karelian regions are presented. The thorium specialization was found to be predominant among nepheline-syenite complexes productive in rare metals, and the thorium-uranium specialization prevailed among carbonatite and granite-pegmatite complexes. The distribution patterns of natural radionuclides in ore bodies, the mineral forms of their concentration, and their radioecological significance in assessing the quality of the studied types of raw materials and handling them during mining and processing were determined. For the territory of the City of Murmansk, mainly represented by outcrops of the Precambrian basement, the parameters of radon 'respiration', areas of abnormal concentrations, and their confinement to fault zones were revealed in the geotectonic base map. The effectiveness of the combined use of the results of ra-

dio-geochemical mapping and radiation-hygienic surveys of settlements in the regions is demonstrated.

**Key words:** natural radionuclides; rare-metal ores; nonmetallic raw materials; mapping; radio-geochemistry; uranium; thorium; radon; radioecology.

---

## **Введение**

Новая Россия унаследовала от СССР в значительной степени формализованное отношение к проблеме радиационно-экологической безопасности, обусловленной излучениями земных недр, недостаточную информированность населения о ее различных источниках и, соответственно, о способах предупреждения потенциально опасных воздействий на организм человека. Основные достижения в решении задач радиационно-экологической безопасности связаны с техносферой развития ядерной энергетики как в мирных целях, так и в военных. В известной степени прогресс в этом направлении обусловлен мобилизацией усилий в ликвидации последствий известных аварий и катастроф и, как следствие, в создании автоматизированных систем мониторинга и предупреждения нештатных ситуаций на радиационно опасных объектах техносферы и окружающей среды. С этих позиций представляется целесообразным изложить результаты радиогеохимических и минералогических исследований уровней концентрации и закономерностей распределения урана и тория в различных видах разведанного и эксплуатируемого редкометалльно специализированного сырья Кольского региона и Карелии, а также этих естественных радионуклидов и радона на урбанизированных территориях горнопромышленных комплексов, в частности, г. Мурманска как заполярного мегаполиса. Полученные данные своевременно были учтены и использованы горно-обогатительными предприятиями – заказчиками выполненных договорных НИР и послужили основой сравнительной радиоэкологической оценки территорий муниципальных образований, в т. ч. специализированными медицинскими организациями.

Потенциально опасная для персонала и населения ситуация недооценки радиоэкологического и радиационно-гигиенического факторов сложилась к началу 1990-х годов в сфере геологоразведки и недропользования [Пельменев, 1989; Мелентьев, 1990; Мелентьев и др., 1996]. В 90-х годах расшифровка радиационной аномалии в г. Апатиты, выявленной аэрогаммаспектрометрической съемкой (АГСМ)

ПО «Невскгеология», позволила обнаружить на территории Академгородка заброшенный контейнер с технологической пробой радиоактивного перовскитового концентрата с месторождения Африканда. Подобные «сюрпризы» горняков и обогатителей, не захороненные и не использованные по назначению в советское время, встречаются и за пределами горнопромышленных территорий. Не менее показательной является выполненная в начале 90-х годов расшифровка причин кожной патологии открытой части лиц горняков при взрывах повышенной мощности на одном из подземных горизонтов в процессе эксплуатации ГОК «Карелслюда» пегматитового месторождения слюды-мусковита Малиновая Варакка. Заболевание было вызвано импульсным альфа-излучением при вскрытии взрывами скоплений монацита в приконтактных зонах продуктивных тел, т. е. ториевых аномалий, пропущенных и недооцененных геологами при разведке и эксплуатации данного месторождения нерудного сырья.

С этих позиций автором с коллегами последовательно организованы и выполнены коллективные картировочные радиогеохимические работы на опорных площадках проекта МГХК-1000 (от ИМГРЭ Минприроды России) в пределах кристаллического фундамента СЗ части Кольского региона и выборочная оценка радонового «дыхания» на геотектонической основе территории г. Мурманска в рамках договора с городским экологическим фондом. В порядке личной инициативы и по договорам с горно-обогатительными предприятиями Кольского и Карельского регионов (ОАО «Апатит», «Карелслюда» и «Ковдорслюда», Ловозерский и Ковдорский ГОК) проведены детальные минералого- и радиогеохимические исследования на эксплуатируемых месторождениях, различающихся своей редкометалльной специализацией. Это позволило оценить различия в уровнях концентрации урана и тория как ведущих компонентов естественной радиоактивности в продуктивных залежах, определить минеральные формы их концентрации и закономерности распределения в пределах изученных месторождений нефелиново-сиенитовых, карбонатитовых и гранитовых комплексов. Расшифрована природа естественной радиоак-

тивности, включая соотношения между ураном и торием, проведена дифференцированная оценка ее влияния на качество исходного сырья и концентратов, разработаны научно-методические и практические рекомендации по учету радиационно-экологического фактора при добыче, обогащении и глубокой переработке изученных видов минерального сырья. Важным шагом стало то, что за счет использования радиогеохимических и радиационно-гигиенических методов изучения и оценки площадной и локальной естественной радиоактивности с применением картировочных методов были объяснены различия в дозах облучения населения изотопами радона и торона в эксплуатируемых административных, жилых и подвальных помещениях городов и поселков.

Карта пространственного размещения аномалий урана и тория м-ба 1:1 000 000 в СЗ части Кольского региона была дополнена крупномасштабной картой геохимических аномалий Хибинского массива м-ба 1:50 000, детальной картой аномалий Zr, Hf, U, Th Ковдорского месторождения м-ба 1:5000, графиками распределения урана и тория в разрезах по мощности рудных апатито-нефелиновых тел эксплуатируемых месторождений Хибин и результатами выборочного опробования различных лопаритсодержащих руд Ловозера с составлением поминеральных балансов их распределения. В Карело-Кольском регионе выполнено детальное радиометрическое картирование продуктивных тел керамических и мусковитовых пегматитов с минералого-геохимической заверкой и расшифровкой выявленных радиоактивных аномалий.

В пределах селитебно-промышленных зон г. Мурманска на авторской геотектонической основе впервые выполнена в м-бе 1:25 000 радоновая съемка по разряженной сети с привязкой к выявленным аномальным концентрациям урана и тория.

К сожалению, в связи с ликвидацией городского и регионального экофондов работа осталась незавершенной.

### **Методы исследований**

Необходимость продолжения комплексного изучения и оценки уровней естественной радиоактивности в Карело-Кольском регионе в районах деятельности предприятий горно-промышленного комплекса, проведения геолого-разведочных работ (ГРП) и на урбанизированных территориях не вызывает сомнений, но по ряду причин оно не осуществляется. Любые нарушения естественного залегания гор-

ных пород и вскрыша залежей полезных ископаемых, особенно с применением взрывов повышенной мощности, активизируют естественное излучение, дозы которого возрастают по мере извлечения минеральных компонентов по схеме «добыча – обогащение – глубокие химико-металлургические переделы» с накоплением отходов производства и концентрированием элементов-токсикантов в выбросах и сбросах. Поэтому изучение и оценка уровней естественной радиоактивности, расшифровка ее природы – урановой или ториевой, определение конкретных источников и их радиоэкологического воздействия на среду обитания и человеческий организм исключительно актуальны для районов добычи минерального сырья и селитебно-промышленных территорий населенных пунктов. С учетом этого, а также в связи с более жесткими ПДК тория сравнительно с ураном (с 3-кратной разницей) стала очевидной необходимость не только выявления и оконтуривания аномалий естественной радиоактивности традиционными радиофизическими приборами, но и разработки комплексной методики расшифровки и количественной оценки их минералого-геохимической специализации. Современные требования к качеству минерального сырья, обеспечению радиоэкологической безопасности при его переработке и оценке возможностей устранения из технологических процессов урана и тория, включая выделение последнего в качестве ценного товарного продукта, обусловили необходимость проведения специальных исследований экогеохимической специализации территорий и массивов горных пород на уран и торий, уровней и минеральных форм их концентрации в различных видах минерального сырья и типах руд, закономерностей распределения в рудных телах и между слагающими их минералами и, наконец, в элементопотоках технологических схем обогащения и глубокой переработки исходного сырья, включая складываемые отходы производства, выбросы и сбросы, т. е. техногенные образования. Очевидно, что принятая при проведении ГРП система полевой радиометрии и гамма-каротажа скважин недостаточна для решения задач технологической минералогии и обеспечения радиоэкологической безопасности на всех стадиях переработки исходного сырья, включая воздействие на окружающую среду отходов добычи, обогащения и особенно переделов.

В то же время очевидно, что стадии разведки и эксплуатации минерального сырья (природного и техногенного) должны сопровождаться его санитарно-гигиеническими оценками с последовательным использова-

нием специальных методик ВНИИгеолнеруда [Временные..., 1986] и современных способов нормирования радиационной безопасности – ОСП-72/87(89), ОСПОРБ-99 и НРБ-99. Настоящая работа представляет собой информационно-аналитический обзор результатов целевых многоплановых исследований, выполненных в период с начала 1990-х до первого десятилетия XXI века в сопоставимых масштабах минералого-радиогеохимических, опробовательских и приборных радиогеофизических работ на собственно редкометалльных и редкометалльно специализированных месторождениях, а также на эталонных (опорных) площадках кристаллического фундамента, включая урбанизированную территорию г. Мурманска. Конкретные методы исследования и их результаты кратко изложены в разделах по каждому объекту с рекомендациями, нацеленными на улучшение радиоэкологической обстановки.

### **Радиогеохимическое изучение объектов недропользования**

Основными объектами опытно-методических научно-исследовательских работ, выполненных в 1987–1993 гг. от круглогодичной Кольской партии Московской экспедиции ИМГРЭ (г. Кировск) и в 1994–1999 гг. от ООО СЗ НТЦ «Экология и ресурсы» (г. Мурманск), явились высококомплексные редкометалльно специализированные апатито-нефелиновые руды Хибинских месторождений, эксплуатируемых АО «Апатит» корпорации «ФосАгро», апатито-железорудное сырье Ковдорского месторождения (АО «Ковдорский ГОК» холдинга «ЕвроХим»), собственно редкометалльные лопаритовые и другие руды Ловозерских месторождений (АО «Севредмет» – Ловозерский ГОК) и нерудное сырье пегматитовых месторождений, эксплуатировавшихся на калиевый полевой шпат и слюду-мусковит ГОК «Карелслюда» и «Ковдорслюда». Такие системные НИР в территориально разобщенных районах их проведения при непосредственной заинтересованности в их результатах действующих предприятий были организованы и выполнены впервые.

### **Уровни концентрации и распределение естественных радионуклидов в редкометалльно-глиноземно-фосфатных рудах Хибинских месторождений**

Изучение и оценка уровней концентрации и закономерностей распределения урана и тория в высококомплексных апатито-нефелиновых рудах Хибинского массива выполнялись

на основных эксплуатируемых АО «Апатит» месторождениях [Мелентьев, Малинина, 2006; Мелентьев и др., 2010]. Объектами минералого-геохимического изучения явились пробы весом 20–25 кг, которые отбирались в подземных горных выработках и на поверхности в карьерах по всей мощности зонально-расслоенных продуктивных тел, по их зонам и вмещающим породам. Пробы подвергались анализам на редкие и радиоактивные элементы, а также количественно-минералогическим анализам с последующим выделением мономинеральных фракций и их анализами на те же элементы нейтронно-активационным методом (ИМГРЭ). Согласно результатам анализов, содержание урана во вмещающих породах (ийолит-уртитах и рисчорритах) варьирует в пределах 4–18 г/т, в то время как тория заметно выше – от 6 до 20 г/т. При этом рисчорриты, породы висячего бока (кровли) рудной залежи, как правило, содержат в 1,5–2 раза больше урана и тория, с преобладанием последнего, чем ийолит-уртиты, обычно представляющие лежащий бок (подошву) залежи. В апатит-нефелиновых рудных телах содержание урана несколько ниже, чем в уртитах, в то время как тория – сопоставимо или даже выше в 1,5–2,5 раза. В целом установлено увеличение содержания урана и особенно тория в направлении от Кировского и Юкспорского рудников к Расвумчоррскому и далее к Восточному, представленному карьерами Коашва, Ньюпахк, Суолуайв. Здесь во вмещающих породах содержится до 12–18 г/т урана и 14–26 г/т тория, а в рудах – всего лишь 4–6 г/т урана при 14–22 г/т тория. Таким образом, вмещающие породы и руды Хибинских апатит-нефелиновых месторождений отчетливо фиксируют ведущую ториевую природу радиоактивности. С санитарно-гигиенических позиций даже при максимальном содержании 18 г/т урана и 25 г/т тория во вмещающих породах Ньюпахка общая активность составляет  $8,87 \times 10^{-9}$  Ки/кг, что меньше допустимого уровня по ОСП-72/87(89) для нерадиоактивного минерального сырья ( $\geq 10 \times 10^{-9}$  Ки/кг).

Определение содержания урана и тория тем же методом в главных минералах-концентратах – апатите и сфене (титаните) проводилось в мономинеральных фракциях, выделенных из объединенных проб, подвергнутых химико-аналитическим и количественно-минералогическим исследованиям.

Результаты анализов апатита с рудников Юкспор, Расвумчорр и Восточный (карьеры Коашва, Ньюпахк, Суолуайв) прежде всего свидетельствуют о том, что содержание урана в них варьирует в пределах 15–16 г/т на за-

падных рудниках и 2,2–4,0 г/т на Восточном, в то время как тория соответственно от 15–31 до 4,7–17 г/т при аномальном содержании 111 г/т на Коашве. Таким образом, во-первых, в апатитах установлено стабильное и значительное преобладание тория над ураном и, во-вторых, во вмещающих породах и рудах Восточного рудника это преобладание максимально благодаря значительно меньшему (в 3–4 раза) содержанию в апатитах урана относительно его содержания в западных рудниках. Принимая за максимальное содержание в апатитах 16 г/т урана и 25 г/т тория, в пробе апатит-нефелиновой руды с Расвумчорра получаем:  $(16 \times 0,34 + 25 \times 0,11) \times 10^{-9} = (5,44 + 2,75) \times 10^{-9} = 8,19 \times 10^{-9} \text{ Кг/кг} < 10 \times 10^{-9} \text{ Кг/кг}$ , что соответствует санитарно-гигиеническим нормам.

В сфеновых монофракциях содержание урана варьирует в пределах 10–53 г/т и тория – от 8,3 до 14 г/т. Однако в отличие от апатитов содержание урана в сфенах из руд Восточного рудника сравнительно с западными значительно, в 2–4 раза, выше. Содержание тория также выше, но в меньшей степени (в 1,5–2 раза). Радиологическая оценка сфена с максимальным содержанием от 26 до 53 г/т урана при 10–14 г/т тория через перерасчет на их удельную активность свидетельствует о предельно допустимом уровне радиационной безопасности или превышении его аномального содержания почти вдвое. Следовательно, сфеновые концентраты из руд Восточного рудника, в отличие от западных, могут быть небезопасными с радиологических позиций, особенно при пирохимических переделах и использовании в высокотемпературном литье.

Эти данные по Восточному руднику ориентируют на проведение радиометрической и сопутствующей радиогеохимической съемок с минералого-геохимической заверкой и оценкой выявляемых аномалий на «сквозное» соответствие нормам радиационной безопасности, т. е. с учетом условий не только горной добычи, но и обогащения, включая газо-пылевые выбросы и промстоки, и особенно – последующие переделы апатитов и сфенов.

В титаномагнетитах и ильменитах значения содержания урана и тория сопоставимы. На Юкспорском руднике в них содержится до 3–5 г/т урана и 1,5–4 г/т тория, в то время как на Расвумчорре содержание урана достигает 4–15 г/т и тория 1,6–8 г/т, т. е. в целом заметно выше. Соответствие их санитарно-гигиеническим нормам радиационной безопасности даже в случае планируемых пирометаллургических переделов сомнений не вызывает.

Согласно количественно-минералогическим исследованиям собственно титаново-редкометалльные минералы-концентраты урана и тория присутствуют во вмещающих породах и рудах Хибинских апатит-нефелиновых месторождений в виде мелкой вкрапленности, т. е. являются типично акцессорными и обнаруживаются в составе тяжелой фракции проб под микроскопом. Среди них установлены ринколит, лопарит, перовскит, циркон, ломоносовит-мурманит и другие. Исключение составляет эвдиалит, образующий крупные выделения и гнезда, наиболее характерные для лежачего бока рудной залежи. В связи с тем, что эвдиалит является одновременно и коллекционным и подделочным сырьем, нами произведены радиометрические замеры гамма-активности двух его разновидностей: малиновой с Кировского рудника – 16–18 мкр/час и сиреневато-розовой с Юкспорского рудника – 23–25 мкр/час. На фоне гамма-активности вмещающих уртитов и поздних зон шпреуштейнизации в 13–14 мкр/час эвдиалит выделяется повышенной радиоактивностью, не превышающей норму.

Акцессорные минералы – концентраты радиоактивных компонентов в пределах Кировского рудника (Саамский карьер) встречаются редко, образуя скопления в пегматоидных шлирах, где в ризкорритах кровли количество лопарита достигает 0,5 кг/т, а перовскит накапливается до 200–376 г/т в апатит-нефелиновых рудах и в «сфенитах» со стороны висячего бока рудной залежи. Количество ринколита в рудах достигает 487 г/т. На Юкспорском руднике лопарит встречается как в уртитовых лежачего бока (117–465 г/т), так и в ризкорритах висячего бока (251 г/т) рудной залежи. Здесь же, в рудах лежачего бока, содержание перовскита не превышает 1–4 г/т. Мурманит-ломоносовит распространен и в рудах, и во вмещающих породах (250–350 г/т), содержание ринколита – до 100–200 г/т, а эвдиалита – до 4–13 кг/т. На Расвумчоррском руднике в породах кровли содержится 132–955 г/т лопарита, в них же – 0,2–1,2 кг/т перовскита при содержании его в руде до 195 г/т, а также по 0,5–1 кг/т ломоносовита-мурманита и эвдиалита. На Восточном руднике в переслаивающихся вмещающих породах и рудах ринколит, лопарит, перовскит и эвдиалит распространены повсеместно, во всем объеме, в то время как ломоносовит-мурманит встречается реже, образуя визуально наблюдаемые «музейные» выделения на вершине между Коашвой и Ньюрпахком. При этом количество ринколита достигает 0,2–1 кг/т, лопарита – 54–453 г/т и перовскита – 11–31 г/т.

В целом количество минеральных видов – концентратов редких и радиоактивных компонентов и их средневзвешенное содержание обнаруживают тенденцию к увеличению в рассматриваемом направлении, с запада на юг и восток по Хибинской «дуге», т. е. с приближением к Ловозерскому массиву [Мелентьев, Малинина, 2006; Мелентьев и др., 2010]. Это обстоятельство свидетельствует не только о существенном изменении количественных соотношений между апатитом и минералами – концентраторами титана, включая сфен, в пользу последних в рудах фланговых месторождений Хибинской «дуги» (Олений ручей, Партомчорр, Лявочорр-Валлепахк), но и, соответственно, об увеличении их «вклада» в уровни естественной радиоактивности этих месторождений, где также прогнозируется повышенное содержание акцессорных минералов – концентратов титана, редких металлов и радиоактивных компонентов. Очевидно, что такой прогноз ориентирует на проведение соответствующего комплекса прикладных минералого-геохимических исследований методами малообъемного картирования на этих месторождениях по мере вовлечения в промышленное использование «Северо-Западной Фосфорной Компании» (СЗФК) холдинга «Акрон», в том числе – в целях радиоэкологической оценки промышленно ценных концентратов, отходов обогащения, пылей и рудничных стоков.

Основные результаты исследований заключаются в следующем:

– для Хибинских апатит-нефелиновых руд, вмещающих пород и основных минералов – концентратов радиоактивных элементов (apatита и сфена) характерно преобладание тория над ураном;

– содержание тория и урана возрастает от центральных (западных) месторождений Хибинской «дуги» (Кукисвумчорр, Юкспор, Расвумчорр) к фланговым восточным (Коашва, Ньюрпахк, Суолуайв) вплоть до появления собственных акцессорных минералов – концентратов радиоактивных элементов: ринколита, лопарита, перовскита, мурманита-ломоносовита и др. (в сумме 0,5–1,5 кг/т и более);

– для апатитов характерно стабильное преобладание тория над ураном, максимально проявленное в рудах восточных месторождений; при этом сфен, в отличие от апатита, максимально обогащен на востоке и ураном и торием – либо на пределе допустимого уровня радиационной безопасности, либо с превышением его в 2 раза;

– расчетные удельные активности хибинских апатит-нефелиновых руд и выпускаемых

концентратов не превышают санитарно-гигиенические нормы, установленные для радиоактивного сырья; однако по мере углубления эксплуатационных выработок Восточного рудника эта ситуация может измениться, что потребует организации специального радиационного мониторинга в карьерах за составом руды и на обогатительных установках – за соответствием нормам безопасности концентратов и хвостов обогащения.

Согласно специальным исследованиям в ИХТРЭМС КНЦ РАН [Николаев и др., 2006] природы повышенной радиоактивности сфеновых концентратов (в отличие от монофракций), аномальное содержание радионуклидов и удельная активность обусловлены присутствием в изученных сфеновых продуктах перовскита, характеристики которого сравнивались с перовскитовыми концентратами Африканды как эталонными. Тем самым поставлен вопрос о необходимости разделения сфена и перовскита обогатительными методами, особенно при селективной переработке сфенитовых руд, включая пирохимические и металлургические переделы товарных сфеновых концентратов. Это обстоятельство имеет прямое отношение к планам промышленного освоения СЗФК месторождения Партомчорр, руды которого аномально обогащены сфеном относительно апатита.

### **Объекты коллекционно-минералогического туризма как источники повышенной радиоактивности**

Карело-Кольский регион, богатый разнообразными минеральными ресурсами, другими природными, историческими и этнографическими достопримечательностями, ежегодно привлекает значительное число любителей некомфортного научно-познавательного и спортивно-оздоровительного туризма – горного, водного, экологического, коллекционно-минералогического и др. Достаточно указать, что только Хибины в теплое время года посещают тысячи «неорганизованных» туристов – любителей камня, в том числе не имеющих специального геологического образования. Очевидно, что с созданием национального парка «Хибины» объекты их посещений и особенно собираемый каменный материал должны быть изучены, оценены и классифицированы с позиций радиационной безопасности с изданием соответствующих справочных руководств.

В пределах Хибинского массива существует целый ряд других, в т. ч. известных с 30-х годов прошлого столетия [Комлев, 1933] собственно

редкометалльных проявлений, характеризующихся повышенной и высокой радиоактивностью. Среди них выделяются пегматоидные эгириновые альбититы с титаново-циркониево-ниобиевым (ильменит-циркон-пироклоровым) оруденением (уч. Рестинюн – Намуайв), калишпатиты с циркониево-тантал-ниобиевым (эвдиалит-лопаритовым) оруденением (уч. Пика Марченко), ловчоррит(ринколит)-эгрин-полевошпатовые пегматиты Юкспорского ториево-редкоземельного месторождения и др. Как правило, эти объекты, посещаемые многочисленными туристическими и студенческими группами, включая любителей коллекционной минералогии, остаются неизученными и не оконтуренными по площади радиофизическими и тем более радиогеохимическими методами. В то же время жильное поле редкометалльных эгириновых альбититов на уч. Рестинюн – Намуайв, открытое в 1960 г. С. И. Заком на востоке Хибин (западное побережье оз. Умбозеро), в свое время служило объектом поисков на уран ПО «Невскгеология».

На уч. Пик Марченко лопаритсодержащие калишпатиты, открытые Л. В. Козыревой (ГИ КНЦ РАН) в 3 км от грунтовой дороги, связывающей участок с г. Кировском (15 км), содержат 13 г/т урана и 72 г/т тория. Соседние пегматитовые жилы, известные в качестве источника коллекционного циркона, содержат 95 г/т урана и 26–67 г/т тория, т. е. отличаются от лопаритсодержащих зон преимущественно урановой природой радиоактивности, носителем которой в значительной степени являются кристаллы циркона. Наконец, сопряженные с зоной лопаритсодержащих калишпатов небольшие по размерам, но богатые апатитом и сфеном жилы апатит-нефелиновых руд на уч. Пика Марченко содержат всего лишь 3,5 г/т урана и 14 г/т тория. До сих пор остаются неизученными с радиоэкологических позиций места бывшей добычи, а затем бесконтрольного отбора и вывоза образцов коллекционного и подделочного астрофиллита в пегматоидных альбититах уч. Любительского и Поднебесного на г. Эвеслогчорр, участка в приводораздельной части северо-восточного склона Кукисвумчорра за Лопарским перевалом и т. д.

К числу наиболее радиоактивных природных объектов Хибин, посещаемых любителями горного туризма и минералогами-коллекционерами, относится Юкспорское месторождение ловчоррита-ринколита, расположенное в 10 км от г. Кировска в правом борту ущелья Гакмана и в приводораздельной части северного склона хр. Юкспор. Это месторождение, открытое в 1930 г. Н. Н. Гутковой, эксплуатировалось

с 1933 по 1937 г. в качестве источника получения редкоземельно-ториевого концентрата, а из последнего – соединений церия и тория. Содержание ловчоррита-ринколита в жилах варьирует в пределах до 7–24 %, в среднем составляя 5–6 %, т. е. он является одновременно и ведущим редкометалльным, и второстепенным породообразующим минералом. С современных позиций наибольшую ценность в составе ловчоррита-ринколита среди элементов редкоземельной группы представляют не церий (до 8 %) и лантан (5,15–9,57 %), а иттрий (1,26–1,36 %), другие особо ценные «индивидуалы» этой группы и, возможно, скандий. В составе ловчоррита-ринколита исследованиями И. Д. Борнеман-Старынкевич [1935] в 30-х годах и Ю. С. Слепнева (ИМГРЭ) в 50-х годах установлено до 1 % тория и 0,02 % урана, т. е. преобладание первого над вторым в 50 раз. Очевидно, что этот минерал, содержащий его рудные тела и вмещающие породы экзоконтактов, а также продукты их дезинтеграции, включая отходы обогащения бывшей фабрики, представляют собой источники высокой естественной радиоактивности.

Выборочными радиометрическими замерами установлено, что преобладающий радиационный фон внутри главной штольни на Ловчорритовом руднике составляет 700 мкр/час, а непосредственно в стенках выработок, пройденных в рудных телах, зафиксирована гамма-активность в 1200–1600 мкр/час. У входа в Главную штольню радиоактивный фон не превышает 140 мкр/час, в осыпи на склоне фиксируется от 200 до 110 мкр/час, а в тальвеге реки – 80 мкр/час; для воды в руч. Гакмана под штольнями и из скважины характерны 30–40 мкр/час. Таким образом, бывший рудник как природно-исторический объект представляет собой вполне определенный источник радиационной опасности при длительном нахождении в зоне ее действия, вдыхании рудничной пыли, употреблении местной питьевой воды, транспортировке и хранении образцов ловчоррита-ринколита. Эта ситуация как минимум требует установки для посетителей разъяснительных и предупреждающих о радиационной опасности надписей и специальных знаков, а в перспективе – проведения детальной радиометрической съемки с сопровождающей радиогеохимической заверкой выявляемых аномалий.

За годы эксплуатации на Ловчорритовом руднике добыто около 5 тыс. т руды, из которой, после предварительного обогащения на месте ручной разборкой, на обогатительной фабрике в пос. 23 км (левый берег р. Юкс-

порйок) в 1934–1937 гг. получено до 650–700 т радиоактивного ловчоррит-ринколитового концентрата. По нашему мнению, необходима постановка детальной радиометрической съемки района бывшей фабрики, хвосты которой могли «питать» сток р. Юкспорйок и его устье при впадении в оз. Б. Вудьявр, служившее ранее источником водозабора из поверхностных вод для г. Кировска. В условиях морозного выветривания и водной среды скрытокристаллический и частично аморфный ловчоррит-ринколит легко подвергается изменениям с последующим полным растворением. Это могло обеспечить выщелачивание не только тория и урана, но и содержащегося в исходных минералах фтора (до 4–5 %), с переходом их в подвижное состояние и переотложением в донных осадках, включающих такие сорбенты, как илистые фракции, отложения мазутных остатков с Кировской ГРЭС на дне оз. Б. Вудьявр и т. д. Как известно, подобные осадки, особенно загрязненные радиоактивными компонентами, представляют собой активные канцерогены и поэтому требуют специальных исследований и оценки как возможные дополнительные факторы онкологических заболеваний населения.

В последние десятилетия волна неорганизованного туризма и несанкционированного сбора каменного материала распространилась, кроме Хибин и Ловозера, в центральные районы Кольского региона (Кейвы), где пегматоидные производные щелочных гранитов представляют интерес для любителей коллекционной минералогии и в то же время характеризуются повышенной радиоактивностью целого ряда «экзотических» минералов. Подобная ситуация характерна для рудничных отвалов Ковдорского района, где максимальная радиоактивность установлена в разновидностях мелкокристаллических апатит-магнетитовых руд, а крупные выделения радиоактивных минералов встречаются в нерудном пегматитовом (керамическом и слюдяном) сырье – уранинит, монацит как концентратор тория, ортит (140 мкр/час) и др. Для Карелии, где добыча пегматитового сырья осуществлялась на шести рудниках, характерна подобная ситуация. Кроме того, радиоактивные редкоземельные минералы широко распространены и в других районах локализации карельских пегматитовых месторождений, включая заброшенные карьеры и т. д. Все они, как и дренирующие их водотоки и водоемы, включая донные осадки, требуют проведения радиохимического изучения и оценки с изданием необходимого справочника-руководства для туристов-любителей, как российских, так и зарубежных.

## **Уровни концентрации и распределение естественных радионуклидов в редкометалльных рудах Ловозера**

Изучение уровней концентрации и распределения урана и тория в собственно редкометалльных рудах (Ta, Nb, TR, Ti) и вмещающих породах Ловозера, характеризующихся повышенной радиоактивностью, проведено в процессе детальной минералого-геохимической паспортизации основных разновидностей лопаритсодержащего сырья, эксплуатируемого ОАО «Ловозерская ГОК» (бывший «Севредмет») традиционным способом, а также нетрадиционных его видов – апатит-лопаритовых уртитов (горизонт II-7) и лопарит-эвдиалитовых луявритов (уч. Аллуайв), частично разведанных и рекомендуемых в промышленное освоение открытым способом [Мелентьев и др., 2006; Мелентьев, 2007, 2014]. В отличие от предыдущих объектов изучение ловозерского сырья сопровождалось составлением поминеральных балансов распределения редких и радиоактивных элементов в каждой из 11 выделенных и опробованных разновидностей руд с учетом состава тяжелой и легкой фракций.

В результате исследований установлены следующие особенности в распределении радиоактивных компонентов в ловозерском редкометалльном сырье:

- сопоставимость разновидностей лопаритсодержащих руд по содержанию урана (3–14 г/т) при значительной разнице в содержании тория, максимальном в лопаритовых уртитах (120–210 г/т) и минимальном в лопарит-эвдиалитовых луявритах (110 г/т);
- значительное преобладание тория над ураном во всех видах сырья;
- преимущественная концентрация радиоактивных элементов в лопарите: тория – на 86,4–97,9 % и урана – до 75–99 %, с преобладанием первого над вторым в десятки раз;
- в апатит-лопаритовых рудах радиоактивные элементы распределяются между лопаритом и частично апатитом (0,43 % Th), что необходимо учитывать при разработках схем их обогащения и прямых переделов [Мелентьев и др., 2006].

Как известно, уровни концентрации урана и тория в эксплуатируемых лопаритовых уртитах не превышают допустимых пределов, в то время как лопаритовые концентраты относятся к классу радиоактивных веществ и требуют специального обращения при выпуске, складировании и транспортировке. Продуктивные лопаритсодержащие горизонты на руднике Карнасарт  $\leq 1$  м характеризуются малой вые-



мочной мощностью. Этим обусловлены ограниченные возможности работы горняков-проходчиков в забое: бурение шпуров осуществляется в лежачем положении в условиях запыленности рудным веществом. Лопаритовый концентрат с обогатительной фабрики характеризуется более высокой радиоактивностью сравнительно с допустимой в рудной массе и поэтому транспортируется на переработку в Соликамск (СМЗ) в свинцовых контейнерах. Радиометрический контроль руды, поступающей в вагонетки на фабрику, с 90-х годов осуществлялся дистанционно и автоматически: в случае превышения допустимого уровня содержимое вагонетки направлялось в отвал из производственного процесса.

С учетом вышеизложенного радиоэкологические последствия добычи, обогащения и переделов ловозерских редкометалльных руд требуют специального изучения в окружающей среде, включая подвижные формы тория и урана в связи с очевидными возможностями их вторичного накопления в растениях, дикорастущих плодах, рыбе и в конечном итоге в организме персонала и населения с развитием специфической заболеваемости (онкология и др.).

### **Уровни концентрации и распределение естественных радионуклидов в редкометалльно-фосфатно-железородном сырье Ковдора**

Оптимальное сочетание детального радиометрического и минералого-геохимического картирования бадделеит-апатит-магнетитовых руд в карбонатитах Ковдорского месторождения, эксплуатируемого одноименным ГОКом, с визуальным минералого-петрографическим методом предварительной классификации разновидностей этих руд позволили очертить их основные, наиболее контрастные типы (сорта) на сводном погоризонтном плане изоконцентрами распределения редких и радиоактивных элементов. Детальное минералого-геохимическое изучение выделенных разновидностей и трех основных сортов бадделеитсодержащих руд, включая мономинеральные фракции и промышленные концентраты, потребовало выполнения трудоемких количественно-минералогических анализов рудных проб в сочетании с прецизионными физико-химическими и физическими методами, включая использование микрозонда для изучения состава тонковкрапленного бадделеита. Тем самым были расшифрованы природа и специфика пространственной локализации участков повышенной радиоактивности бадделеитсо-

держающего ковдорского сырья, недоизученных в процессе разведки месторождения и оказавшихся необходимыми при организации выпуска, оценке и особенно реализации бадделеитового концентрата как наиболее ценного товарного продукта [Мелентьев, 2016].

Выполненные исследования с составлением сводных геохимических планов распределения Zr, Hf, U и Th в пределах эксплуатируемого месторождения позволили получить следующие основные результаты:

- оконтурены (в изоконцентрах) участки и зоны повышенного содержания редких металлов и радиоактивных элементов;

- установлена более широкая площадная распространенность 6–8 локальных радиоактивных аномалий в пределах южной и центральной части рудной залежи сравнительно с данными ГРП, согласно которым выделялась центральная «Аномальная зона», где главные минералы – концентраторы радиоактивных элементов были представлены гатчеттолитом и циркелитом, т. е. преимущественно коррелировались с танталом и ниобием;

- выявлена повышенная радиоактивность бадделеита, максимальная в пределах нескольких комплексных редкометалльно-радиоактивных аномалий, представляющих район «Аномальной зоны», выделенной в процессе ГРП в качестве однородного участка, а также его повышенная извлекаемая ценность за счет высокого содержания гафния (1,5 кг/т), тантала (2,2 кг/т), скандия (от средних 250 до 400–600 г/т);

- определены уровни концентрации урана (400–1100 г/т  $UO_2$ ) и тория (50–300 г/т  $ThO_2$ ) в мономинеральных фракциях бадделеита и предельные величины удельной радиоактивности товарных бадделеитовых концентратов (470–510 Ки/кг) относительно фона (40 н Ки/кг);

- установлена минимальная радиоактивность бадделеита из силикатных разновидностей руд при пониженной роли тория относительно урана и максимальная – для бадделеита из карбонатных и особенно доломитсодержащих руд карбонатитового ядра с повышением соотношения Th/U от 3 до 6;

- обнаружены различия в содержании радионуклидов в наиболее распространенной светло-розовой разновидности бадделеита сравнительно с его темно-бурой разновидностью: первая содержит в 2,5 раза больше урана и в 4 раза меньше тория;

- повышенная радиоактивность бадделеитовых концентратов относительно двух разновидностей монофракций обусловлена ми-

кропримесями и сростками ассоциирующих с ними минералов – концентраторов радиоактивных элементов (гатчеттолит, циркелит, пировскит и др.), которые сосредоточены в оконтуренных аномально радиоактивных участках.

Пространственное совмещение локальных максимумов концентрации Zr и Hf на севере рудной залежи при отсутствии радиоактивности, Zr и Hf с Th на востоке и, наконец, Zr, Hf, U и Th в южной и центральной части залежи, заверенных количественно-минералогическими анализами и данными об их содержании в бадделеитах, позволяет выделять три сорта бадделеитсодержащих руд и рекомендовать их селективную добычу и переработку для разных потребительских целей: 1-й нерадиационный сорт – для традиционного производства огнеупорных изделий, 2-й ториевый – для специальной металлокерамики и извлечения редких металлов и тория, 3-й торий-урановый – для тех же целей с предварительным извлечением радиоактивных элементов [Мелентьев, 2016].

Развитие горной добычи редкометалльно-фосфатно-железородного сырья Ковдорским ГОКом по площади и на глубину, включая неизученные с изложенных позиций апатит-штаффелитовые и, возможно, другие типы руд, позволяет рекомендовать: 1) проведение детального погоризонтного минералого-геохимического картирования рудной залежи с использованием проб эксплоразведки и хвостов обогащения; 2) изучение изменчивости поликомпонентного состава бадделеита; 3) организацию химико-технологических изысканий способов вскрытия и глубокой переработки бадделеитовых концентратов на месте с извлечением циркония, гафния, скандия и других особо ценных микрокомпонентов попутного производства, а также радионуклидов.

### **Естественная радиоактивность нерудного пегматитового сырья карельских и кольских месторождений калиевого полевого шпата и слюды-мусковита**

Изучение и оценка радиоактивности нерудного пегматитового сырья, служившего объектом эксплуатации на крупнопластинчатую слюду-мусковит и калиевый полевой шпат, выполнены на рудниках ГОКа «Карелслюда» (Малиновая Варакка и др.), а затем ГОКа «Ковдорслюда» (Енский, Риколатвинский, Чалмозерский и др.), т. е. на «слюдяных» и «керамических» пегматитах соответственно. Комплекс исследований включал погоризонтную радиометрию вмещающих пород и пегматитовых тел в горных выработках вкрест простира-

продуктивных жил с последующим выборочным отбором по ним в участках радиоактивных аномалий проб весом 20–25 кг. Эти пробы подвергались анализам на уран и торий, прямым количественно-минералогическим анализам и выделению монофракций минералов – концентраторов радиоактивных элементов с определением их содержания [Мелентьев и др., 1990]. В результате исследований установлены:

- повышенная радиоактивность мусковитовых пегматитов относительно керамических;
- локальный (участковый) характер радиоактивных аномалий (максимальных – до 800–1200 мкр/час), приуроченных к продуктивному на товарную слюду обрамлению кварцевых ядер;
- минералы – концентраторы тория в мусковитовых пегматитах: мелковкрапленный монацит (Малиновая Варакка, Ена) и урана: желваковый уранинит (Риколатва); в керамических – спорадические скопления ортита (140 мкр/час);
- отсутствие радиоактивности в товарной слюде-сырце;
- импульсное альфа-излучение как причина кожных патологий на открытой части лиц горняков при взрывах повышенной мощности мусковитовых пегматитов с ториевыми аномалиями;
- отсутствие радиоактивных аномалий в карьерах по добыче флогопита и вермикулита.

Проведенными Н. В. Мельник и А. И. Савицким детальными исследованиями соответствия горных пород Карело-Кольского региона, включая вскрышные с эксплуатируемых рудных месторождений, радиационным санитарно-гигиеническим нормативам для строительных материалов установлена их пригодность к многоцелевому использованию в соответствии с различиями в показателях удельной активности. Повышенная в допустимых пределах радиоактивность характерна для гранитов, но использование в строительных целях их мелких фракций может быть радоноопасным [Мельник, 2003; Савицкий, Бархатов, 2005].

### **Методика и результаты комплексного радиоэкологического изучения и оценки урбанизированных территорий г. Мурманска**

Организация специализированных радиоэкологических исследований в Мурманске, как мегаполисе Заполярья, непосредственно была связана с выполнением коллективом специалистов СЗ НТЦ «Экология и ресурсы» договорной работы с экологическим фондом городской администрации по комплексному экологическо-

му картированию и оценке г. Мурманска и его окрестностей (~60 км<sup>2</sup>). Основанием для выполнения этих НИР явились:

- повышенный фон естественной (природной) радиоактивности, характерный для гранито-гнейсов Балтийского щита, представляющих 60 % площади города;

- наличие локальных аномалий тория, урана и K<sup>40</sup>, выявленных ПО «Невскгеология» в пределах города дистанционной АГСМ без заверки наземными методами и расшифровки их природы;

- составление специалистами СЗ НТЦ «Экология и ресурсы» обновленных геологической и тектонической карт г. Мурманска м-ба 1:25 000 с выделением четырех разновидностей гнейсов и основных элементов разломной тектоники, выраженных в рельефе;

- повышенное внимание городского населения и администрации к медико-экологическим аспектам радиационной безопасности, включая аккумулирующий во времени эффект малых доз, остающийся недоизученным.

Для территории г. Мурманска с окрестностями специалистами СЗ НТЦ «Экология и ресурсы» впервые составлена карта трещинной тектоники в м-бе 1:25 000, а также проведены анализ приуроченности к зонам разломов аномалий естественной радиоактивности, выявленных ранее АГСМ ПО «Невскгеология», их наземная заверка и выборочное обследование на радон площади города и общественных учреждений (детских, лечебных и ряда административных) [Мелентьев и др., 2003].

По результатам дешифрирования космических и аэрофотоснимков на обзорной карте района г. Мурманска м-ба 1:200 000 и карте города м-ба 1:25 000 выделены лишь те тектонические нарушения (разломы), которые проявляются в структурных формах рельефа, гидросети, растительного покрова и сформированы главным образом неотектоническими дислокациями. Система наиболее крупных зон разломов меридионального, субширотного и СВ простирания определяет конфигурацию Кольского залива, который представляет собой грабен древнего заложения (в плане – коленообразный). В целом структура деформаций, проявленных в его пределах, кулисообразная (Мурмаши – Кола – Североморск – Полярный). В районе Мурманска прослеживается наибольшая по величине разгрузка напряжений, фиксируемая сколовыми деформациями и смещением блоков вдоль разломов СВ простирания. Зона наиболее крупного Субмеридионального разлома, отчетливо выраженного на космоснимках, трассируется в осевой части города, параллельно

генеральному простиранию Кольского залива; подобная же зона определяет конфигурацию восточного побережья Кольского залива на севере города. Там же прослеживается крупная, активная северо-западная зона разломов древнего заложения, которая отделяет Северный блок от Центрального. В узлах пересечений СЗ зоны главным Субмеридиональным и более молодым Северо-Восточным разломами в максимальной степени развиты глинистые отложения и торфяники, ныне перекрытые насыпными грунтами в основаниях сооружений Северной промзоны. Центральная зона разломов, подобная Северо-Западной, разделяет Центральный и Южный блоки, каждый из которых характеризуется преобладанием соответствующих разновидностей гранито-гнейсов. В южной части города заметно выделяется район г. Горелой как тектонический блок, ограниченный крупными разломами СВ простирания, в то время как его СЗ граница определяет конфигурацию береговой черты Кольского залива. Этот относительно молодой блок наиболее приподнят и в то же время, предположительно, выдвинут в СЗ направлении. С ним связана повышенная тектоническая активность, отчетливо фиксируемая на карте густой сетью разломов различных порядков, что резко отличает эту часть города от остальных его районов на юге, в центре и на севере. Среди широтных разломов крупных тектонических зон не выявлено. Разломы этого направления наиболее распространены в центральной части площади. Они не определяют структуру основных тектонических блоков, но проявляются в очертании гидросети, мелких форм рельефа и, по-видимому, являются наиболее молодыми.

С главным субмеридиональным разломом в центральной части г. Мурманска связаны радиационные аномалии K<sub>40</sub>, которые смещены к востоку, а в районе г. Горелой прослеживаются и в широтном направлении. Непосредственно на площади г. Горелой фиксируются обширные аномалии тория и несоизмеримо меньшие – урана. Подобные же, но разрозненные аномалии K<sub>40</sub>, тория и урана установлены в черте города вдоль восточного побережья Кольского залива. Непосредственной радиационной опасности для здоровья населения эти аномалии не представляют, но исключают возможность жилой застройки района г. Горелой, предусмотренной ранее генеральным планом развития города [Мелентьев и др., 2003].

Выполнены следующие виды работ [Мелентьев и др., 2009]:

- гамма-съемка на местности в пяти профилях, ориентированных вкрест простирания

территории Мурманска вдоль Кольского залива (30 км); общая протяженность профилей 25 км при интервалах между ними ~ 6 км;

– выборочная гамма-съемка и обследование карьеров, территорий промышленных объектов, свалок, гаражных городков, ж/д полотна, мостов, общественных и административных зданий, их цоколей и облицовки, исторических памятников и т. д.;

– измерения удельной радиоактивности естественных радионуклидов  $Ra^{226}$ ,  $Th^{232}$ ,  $K^{40}$  и цезия-137, определяющих мощность дозы гамма-излучения (МЭД) в пробах горных пород, грунтов и почв, песка и щебня из карьеров, различного минерального сырья, продуктов и отходов его переработки (углей, апатита и минеральных удобрений, цемента, извести, шлаков и зольных остатков, донных осадков и т. д.);

– измерения объемной активности радона на местности в почвенном воздухе пяти профилей и в помещениях обследуемых общественных и административных зданий, детских садов, лечебных и учебно-педагогических учреждений и т. д.

Общее число измерений всех видов составило более 9 тыс., количество обследованных объектов – 74, протяженность маршрутов гамма-съемки – более 50 км. Для гамма-съемки использовались универсальный дозиметр-радиометр ДРБП-03 и поисковый радиометр СРП-88, для измерений удельной радиоактивности радионуклидов в пробах – спектрометрическая аппаратура «Прогресс-Спектр БГ-011» и объемной активности радона – специальный радиометр РРА-01М (НПО ЛРК «Экотрон»). Привязка проб осуществлена на государственной топооснове м-ба 1:10 000 с выносом на карты фактического материала опробования м-ба 1:25 000. Расчетно-оценочная часть работы выполнена в соответствии с требованиями, предусмотренными Законом РФ «О радиационной безопасности населения», НРБ-96, СНиП 11-2-96 «Инженерно-экологические изыскания для строительства» и др. нормативные документы.

В результате установлено, что естественный радиационный фон на территории г. Мурманска в среднем составляет 10 мкр/час, что позволяет считать повышенными уровни природной радиоактивности в интервале  $15 < \text{МЭД} < 50$  мкр/час. Такие аномальные значения МЭД (25–30 мкр/час) зафиксированы в коренных пегматоидных гранито-гнейсах, вскрытых карьером в западной части города на сопке Горелая, в валунах красного гранита в карьере Салаварака к югу от города (до 60 мкр/час) и на двух свалках – в районе опто-

вых баз Промзоны (38–58 мкр/час) и в районе бывшего свинокомплекса на Планерном поле (38 мкр/час). Повышенная радиоактивность не обнаружена у городских зданий и сооружений – за исключением гранитных памятников В. И. Ленину (22–24 мкр/час) и С. М. Кирову (17–45 мкр/час). Удельная эффективная активность, рассчитанная по результатам гамма-спектрометрического анализа индивидуальных радионуклидов в минеральном сырье, продуктах и отходах его переработки также не превышает нормативных требований по каждому виду. Максимальные ее значения установлены для коренных гранито-гнейсов и аплитов, щебня и песка из карьеров по добыче стройматериалов (50–120 Бк/кг), для апатитового концентрата (167 Бк/кг), минеральных удобрений (20–347 Бк/кг), перегружаемых в порту, в меньшей степени – для цемента и пылей с термического завода «Шунгизит» (70–74 мкр/час), а также шлакозольных отходов различных производств (до 50–70 Бк/кг) с мусоросжигающего завода при норме для стройматериалов  $\leq 370$  Бк/кг.

Замерами радона в почвенном воздухе зон разломов в пяти поперечных профилях через территорию города установлено, что при фоновой активности радона в  $1000 \text{ Бк/м}^3$  встречаются аномальные участки с активностью до  $7600 \text{ Бк/м}^3$ , значительно превышающей все нормативы. Эти данные свидетельствуют о возможности выявления радоновых аномалий не только в зонах крупных тектонических нарушений, но и опережающих их более мелких [Мелентьев и др., 2009].

Выборочное обследование на радон 78 помещений, особенно над подвалами, впервые проведенное нами в г. Мурманске в пределах 26 зданий детских, общественных и административных учреждений, позволило установить безопасность большинства из них. Вместе с тем до 10 % обследованных зданий (Мурманская городская администрация, Детский дом № 7, Кукольный театр и др.) признаны потенциально радоноопасными по установленным превышениям принятых нормативов. Дополнительное обследование на радон рекомендовано для 42 % зданий (детские сады №№ 41, 130, 156, дома детского творчества, Областной медико-диагностический центр, Облздрав, УЖКХ и т. д.).

В настоящее время результаты выборочного обследования Мурманска на радон требуют продолжения этой работы, имеющей в равной степени прямое отношение к деятельности городского центра Госпотребнадзора и Комитета ГО МЧС.

Очевидно, что объективная радиационно-гигиеническая оценка территории г. Мурманска, а также других урбанизированных, в том числе геологически «закрытых», территорий обосновывает проведение площадного картирования с привязками объектов обследования на радон и точек натуральных измерений к зонам тектонических разломов, выраженных в рельефе. Такой методический подход, вместо выборочного и формально-статистического, может оказаться наиболее продуктивным как в расшифровке причин эндемической заболеваемости населения (онкология и др.), так и в оценке геопатогенной опасности разломов и их «радонного дыхания».

С изложенных позиций первоочередными объектами для оценки радоновой опасности на местности являются водоемы и водотоки, как правило, приуроченные к зонам разломов, рудниковые воды, городские свалки и т. д.

## Заключение

Установлены существенные различия в уровнях естественной радиоактивности собственно редкометалльного и высококомплексного редкометалльно специализированного минерального сырья, добываемого и обогащаемого горно-обогатительными предприятиями акционерных обществ и холдингов на Северо-Западе России. Выявлены ведущие и сопутствующие минералы – концентраторы урана и тория в различных типах руд и закономерности их распределения. Обнаружено преимущественное преобладание тория над ураном, что позволяет рекомендовать более жесткие радиационно-гигиенические требования к качеству минерального сырья, продуктам и отходам его переработки.

На примере г. Мурманска картировочно-оценочными методами доказана приуроченность радоновых аномалий к зонам разломов в кристаллическом фундаменте, проведено выборочное ранжирование зданий и сооружений по степени радоноопасности.

Обнаружена эмпирическая зависимость доз облучения природными источниками населения городов и рудничных поселков Кольского региона от уровней радиоактивности минерального сырья, добываемого и обогащаемого в районах локализации соответствующих ГОКов и населенных пунктов. Максимальные значения эквивалентной равновесной объемной активности радона (ЭРОА) выявлены в помещениях Кировска ( $260 \text{ Бк/м}^3$ ) и пос. Ревда ( $245 \text{ Бк/м}^3$ ) и, соответственно, в подвалах, где накапливается радон, в Кировске ( $278 \text{ Бк/м}^3$ ) и пос. Ревда ( $478 \text{ Бк/м}^3$ ), т. е. в районах лока-

лизации, добычи и обогащения Хибинского горно-химического сырья и Ловозерского радиоактивного редкометалльного, для которого характерна максимальная радиоактивность. Для г. Апатиты, удаленного от рудников, характеристики ЭРОА оказались промежуточными между установленными в пос. Ревда и г. Кировске: в помещениях  $189 \text{ Бк/м}^3$  и в подвалах  $174 \text{ Бк/кг}$  [Романович и др., 2006]. В то же время в г. Оленегорске (железородное сырье), а также в гг. Кандалакше и Мурманске, где нет рудных объектов, ЭРОА не превышает  $100 \text{ Бк/м}^3$  (2-я группа). При установленных в помещениях населенных пунктов группы «Хибины – Ловозеро» значениях ЭРОА  $22\text{--}54 \text{ Бк/м}^3$  очевидно, что указанные максимальные значения ( $174\text{--}478 \text{ Бк/м}^3$ ) являются аномальными относительно санитарно-гигиенической нормы в  $200 \text{ Бк/м}^3$ . Кроме того, одновременными замерами в г. Апатиты ЭРОА торона и радона установлено, что их соотношение достигает  $\sim 33\%$ . Это свидетельствует о необходимости проведения при радиационно-экологических обследованиях измерений объемной активности не только радона, но и торона, тем более что концентрации тория в рудах Ловозера и Хибин превышают концентрации урана, а ПДК тория в 3 раза жестче, чем ПДК урана. Соответственно, рассчитанные средние дозы облучения населения в городах 1-й группы составили  $2,25\text{--}4,38 \text{ мЗв}$  в год, а максимальные – до  $5\text{--}18 \text{ мЗв}$  в год, при средних для городов 2-й группы  $1,94 \text{ мЗв}$  в год и максимальных –  $3 \text{ мЗв}$  в год [Романович и др., 2006]. Рекомендованы сочетанное проведение традиционного геохимического и медико-радиоэкологического картирования населенных пунктов Кольского региона и организация подобных исследовательских работ в Карелии. С методологических позиций комплексная геоэкологическая оценка территорий деятельности горнопромышленных, химико-металлургических и топливно-энергетических комплексов должна включать опробование и картирование изменчивости химического состава всех компонентов среды обитания, депонирующих техногенные загрязнения, а в пределах их промышленных источников – составление балансов распределения компонентов-загрязнителей в материальных потоках производства, включая их отходы [Мелентьев и др., 2005]. Тем самым будет обеспечиваться прикладной научно-технический характер рекомендуемых исследований, их межведомственный корпоративный характер и возможность включения соответствующих региональных проектов в программу национального проекта «Наука».

Автор выражает глубокую благодарность инженеру-картографу Е. Н. Малининой за активное участие в полевых работах и камеральной обработке результатов исследований.

## Литература

Борнеман-Старынкевич И. Д. Ловчоррит и его аналоги // Материалы к геохимии Хибинских тундр / Под ред. А. Е. Ферсмана. М.; Л.: АН СССР, 1935. С. 43–66.

Временные методические указания по радиационно-гигиенической оценке полезных ископаемых при производстве геологоразведочных работ на месторождениях строительных материалов. Казань: ВНИИГеолнеруд, 1986. 48 с.

Комлев Л. В. Радиологические исследования в Хибинских тундрах // Хибинские Апатиты. VI Хибинский сборник / Под ред. акад. А. Е. Ферсмана. Л.: НИС НКТП, 1933. С. 135–139.

Мелентьев Г. Б. Актуальные задачи радиационно-экологической оценки редкометалльного, комплексного и нерудного сырья с применением геохимического картирования и минералого-геохимических методов // Тезисы годичной сессии Всесоюз. минералогич. общ. Звенигород, март 1989 г. М.: ВИМС, 1990.

Мелентьев Г. Б., Амосова Л. П., Чельшев С. В., Павлов В. А., Росляков В. С. Проблема естественной радиоактивности в Карело-Кольском регионе // Окружающая среда в Баренцевоморском регионе: Тез. докл. 3-й Междунар. симп. (Киркенес, Норвегия, 12–15 сентября 1996 г.). Апатиты: КНЦ РАН, 1996.

Мелентьев Г. Б., Аргамаков И. Г., Лоскутова Л. М., Павлов Н. В., Марьянова Н. П. Распределение редких и радиоактивных элементов в апатито-лопаритовых рудах Ловозера и перспективы вовлечения их в комплексное промышленное использование // Комплексная переработка нетрадиционного титано-редкометалльного и алюмосиликатного сырья: современное состояние и перспективы: Матер. междунар. конф. (4–8 апреля 2006 г.). Апатиты: КНЦ РАН, 2006. С. 189–196.

Мелентьев Г. Б., Малинина Е. Н., Крампит И. А., Мильчаков В. И., Калитка И. Е. Методика и результаты комплексного радиоэкологического изучения и оценки урбанизированных территорий // Экологическая геология: научно-практические, медицинские и экономико-правовые аспекты: Матер. Междунар. науч.-практ. конф. (Воронеж, 6–10 октября 2009 г.). Воронеж: ВГУ, 2009. С. 36–38.

Мелентьев Г. Б., Малинина Е. Н. Уровни концентрации и распределение урана и тория в минеральном сырье как критерии оценки перспектив его рационального и экологически безопасного использования // Комплексная переработка нетрадиционного титано-редкометалльного и алюмосиликатного сырья: современное состояние и перспективы: Матер. междунар. конф. (4–8 апреля 2006 г.). Апатиты: КНЦ РАН, 2006. С. 196–200.

Мелентьев Г. Б. Научно-методические основы и результаты комплексной оценки месторождений

природного и техногенного сырья // Значение исследований технологической минералогии в решении задач комплексного освоения минерального сырья: Матер. 2-го Всерос. семинара по технологич. минералогии (Петрозаводск, 14–16 июня 2007 г.). Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2007.

Мелентьев Г. Б., Павлов Р. И., Трубин В. И., Совсуняк В. И., Шарый А. Б. Перспективы разработки комплекса геолого-геохимических методов локального прогнозирования, поисков и оценки пегматитовых месторождений высококачественного нерудного сырья // Геохимические методы поисков неметаллических полезных ископаемых / Ред. В. В. Иванов, Г. Б. Мелентьев. М.: ИМГРЭ, 1990. С. 196–200.

Мелентьев Г. Б. Парагенетические ассоциации и типоморфные особенности «экзотических» промышленно-ценных минералов редкометалльных производных гранитовых, нефелин-сиенитовых и карбонатитовых комплексов и их роль в оценке качества поликомпонентного сырья // Роль технологической минералогии в получении конечных продуктов передела минерального сырья: Сб. статей X Рос. семинара по технол. минералогии, 22–24 апреля 2015 г., Белгородский ГТУ им. В. Г. Шухова. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2016. С. 24–42.

Мелентьев Г. Б., Попова М. Н., Журавлев В. А., Малинина Е. Н. Геотектоника как фактор прогнозирования и предупреждения природно-техногенных катастроф и геопатогенной заболеваемости на урбанизированных территориях // Современные проблемы строительства и реконструкции зданий и сооружений: Матер. междунар. науч.-техн. конф. Вологодского ГТУ (Вологда, 29–31 октября 2003 г.). Вологда, 2003. С. 145–149.

Мелентьев Г. Б., Самаев С. Б., Букарь В. П., Сахаров И. В., Малинина Е. Н. Интегрированная геоэкологическая оценка территорий в целях предупреждения природно-техногенных катастроф и профилактики экологически обусловленной заболеваемости населения // Экология промышленного производства. 2005. № 2. С. 15–25.

Мелентьев Г. Б., Самонов А. Е., Малинина Е. Н. Радиогеохимические и геотектонические аспекты изучения и радиоэкологические оценки объектов недропользования и урбанизированных территорий // Экология промышленного производства. М.: ФГУП ВИМИ, 2010. Вып. 3, ч. 1. С. 12–26; вып. 4, ч. 2. С. 2–15.

Мелентьев Г. Б. Уровни концентрации и закономерности распределения естественных радионуклидов в приоритетных источниках редкоземельных металлов как факторы оценки перспективности природного и техногенного сырья // Технологическая минералогия в оптимизации процессов рудоподготовки и обогащения минерального сырья. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2014. С. 27–51.

Мельник Н. А. Радиоэкологические аспекты безопасного использования отходов Кольского региона в производстве строительных материалов. Апатиты: ИХТРЭМС КНЦ РАН, 2003. 114 с.

Николаев А. И., Петров В. Б., Мельник Н. А., Брыляков Ю. Е., Плешаков Ю. В., Федченко В. Ф. Исследование состава и радиационных характери-

стик сфенового концентрата из апатит-нефелиновых руд Хибинских месторождений // Комплексная переработка нетрадиционного титано-редкометалльного и алюмосиликатного сырья. Современное состояние и перспективы: Матер. междунар. конф., 4–8 апреля 2006 г. Апатиты: ИХТРЭМС КНЦ РАН, 2006. С. 200–204.

Пельменев М. Д. О радиационной характеристике редкометалльных месторождений / Директивное письмо-указание Мингео СССР, исх. № 159-Д от 19.05.1989 г. М., 1989.

Романович И. К., Чернев А. В., Стамат И. П., Венков В. А., Кормановская В. А. Дозы облучения населения Мурманской области природными источни-

ками излучения и радионуклидами глобальных выпадений // Экология промышленного производства. 2006. № 1. С. 36–38.

Савицкий А. И., Бархатов А. В. Радиационно-гигиеническая оценка строительных материалов с учетом радоноопасности // Проблемы рационального использования природного и техногенного сырья Баренцева региона в технологии строительных материалов: Матер. 2-й Междунар. науч. конф. (Петрозаводск, 12–16 сентября 2005 г.). Петрозаводск, 2005. С. 172–175.

Поступила в редакцию 05.07.2020

## References

Borneman-Starynkevich I. D. Lovchorrit i ego analogi [Lovchorrite and its analogs]. *Mat. k geokhim. Khibinskikh tundr* [Materials for the geochemistry of the Khibiny tundra]. Ed. A. E. Fersman. Moscow; Leningrad: AN SSSR, 1935. P. 43–66.

Komlev L. V. Radiologicheskie issledovaniya v Khibinskikh tundrakh [Radiological research in the Khibiny tundra]. *Khibinskie Apatity. VI Khibinskii sbornik* [Apatity in the Khibiny. VI Khibiny coll.]. Ed. A. E. Fersman. Leningrad: NIS NKTP, 1933. P. 135–139.

Melent'ev G. B. Aktual'nye zadachi radiatsionno-ekologicheskoi otsenki redkometal'nogo, kompleksnogo i nerudnogo syr'ya s primeneniem geokhimicheskogo kartirovaniya i mineralogo-geokhimicheskikh metodov [Topical issues of radiation-ecological assessment of rare-metal, complex, and non-metallic raw materials with the use of geochemical mapping and mineralogical and geochemical methods]. *Tezisy godichnoi sessii Vsesoyuz. mineralogich. obshch. Zvenigorod, mart 1989 g.* [Abs. Annual session of the All-Union Mineralogical Soc. Zvenigorod, March 1989]. Moscow: VIMS, 1990.

Melent'ev G. B., Amozova L. P., Chelyshev S. V., Pavlov V. A., Roslyakov V. S. Problema estestvennoi radioaktivnosti v Karelo-Kol'skom regione [The problem of natural radioactivity in the Karelo-Kola region]. *Okruzhayushchaya sreda v Barentsevomorskom reg.: Tez. dokl. 3-i Mezhdunar. simp. (Kirkenes, Norvegiya, 12–15 sent. 1996 g.)* [Environment in the Barents Sea Region: Proceed. 3<sup>rd</sup> int. symp. (Kirkenes, Norway, Sept. 12–15, 1996)]. Apatity: KSC RAS, 1996.

Melent'ev G. B., Argamakov I. G., Loskutova L. M., Pavlov N. V., Mar'yanova N. P. Raspredelenie redkikh i radioaktivnykh elementov v apatito-loparitovykh rudakh Lovozera i perspektivy вовлечения их в комплексное промышленное использование [Distribution of rare and radioactive elements in apatite-loparite ores of Lovozero and prospects for their involvement in complex industrial use]. *Kompleksnaya pererabotka netraditsionnogo titano-redkometal'nogo i alyumosilikatnogo syr'ya: sovr. sostoyanie i perspektivy: Mat. mezhdunar. konf. (4–8 aprelya 2006 g.)* [Complex processing of unconventional titanium-rare metal and aluminosilicate raw materials: Current state and prospects: Proceed. int. conf. (April 4–8, 2006)]. Apatity: KSC RAS, 2006. P. 189–196.

Melent'ev G. B., Malinina E. N. Urovni kontsentratsii i raspredelenie urana i toriya v mineral'nom syr'e kak kri-

terii otsenki perspektiv ego ratsional'nogo i ekologicheskogo bezopasnogo ispol'zovaniya [Levels of concentration and distribution of uranium and thorium in mineral raw materials as criteria for assessing the prospects for its rational and environmentally safe use]. *Kompleksnaya pererabotka netraditsionnogo titano-redkometal'nogo i alyumosilikatnogo syr'ya: sovr. sostoyanie i perspektivy: Mat. mezhdunar. konf. (4–8 aprelya 2006 g.)* [Complex processing of unconventional titanium-rare metal and aluminosilicate raw materials: Current state and prospects: Proceed. int. conf. (April 4–8, 2006)]. Apatity: KSC RAS, 2006. P. 196–200.

Melent'ev G. B., Malinina E. N., Krampit I. A., Mil'chakov V. I., Kalitka I. E. Metodika i rezul'taty kompleksnogo radioekologicheskogo izucheniya i otsenki urbanizirovannykh territorii [A technique and results of a comprehensive radioecological study and assessment of urbanized territories]. *Ekol. geologiya: nauchno-praktich., meditsinskie i ekonomiko-pravovye aspekty: Mat. Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. (Voronezh, 6–10 okt. 2009 g.)* [Ecol. geology: sci. practical, medical, economic, and legal aspects: Proceed. int. sci. practical conf. (Voronezh, Oct. 6–10, 2009)]. Voronezh: VGU, 2009. P. 36–38.

Melent'ev G. B. Nauchno-metodicheskie osnovy i rezul'taty kompleksnoi otsenki mestorozhdenii prirodnogo i tekhnogennogo syr'ya [Scientific and methodological foundations and results of a comprehensive assessment of deposits of natural and man-made raw materials]. *Znachenie issled. tekhnol. mineralogii v reshenii zadach kompleksnogo osvoeniya mineral'nogo syr'ya: Mat. 2-go Vseros. seminar po tekhnol. mineralogii (Petrozavodsk, 14–16 iyunya 2007 g.)* [Significance of research in technol. mineralogy in solving problems of integrated development of mineral raw materials: Proceed. 2<sup>nd</sup> All-Russ. seminar on technol. mineralogy (Petrozavodsk, June 14–16, 2007)]. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2007.

Melent'ev G. B. Parageneticheskie assotsiatsii i tipomorfnye osobennosti "ekzoticheskikh" promyshlennno-tsennykh mineralov redkometal'nykh proizvodnykh granitovykh, nefelin-sienitovykh i karbonatitovykh kompleksov i ikh rol' v otsenke kachestva polikomponentnogo syr'ya [Paragenetic associations and typomorphic features of 'exotic' industrially valuable minerals of rare-metal derivatives of granite, nepheline-syenite and carbonatite complexes and their role in assess-

ing the quality of multicomponent raw materials]. *Rol' tekhnol. mineralogii v poluchenii konechnykh produktov peredela mineral'nogo syr'ya: Sb. statei X Ros. seminar po tekhnol. mineralogii, 22–24 aprelya 2015 g., Belgorodskii GTU im. V. G. Shukhova* [The role of technol. mineralogy in obtaining the final products of the redistribution of mineral raw materials: Proceed. X Russ. seminar on technol. mineralogy, April 22–24, 2015, Belgorod St. Tech. Univ. named after V. G. Shukhov]. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2016. P. 24–42.

*Melent'ev G. B., Pavlov R. I., Trubin V. I., Sovsunyak V. I., Sharyi A. B.* Perspektivy razrabotki kompleksa geologo-geokhimicheskikh metodov lokal'nogo prognozirovaniya, poiskov i otsenki pegmatitovykh mestorozhdenii vysokokachestvennogo nerudnogo syr'ya [Prospects for the development of a complex of geological and geochemical methods for local forecasting, prospecting, and evaluation of pegmatite deposits of high-quality non-metallic raw materials]. *Geokhim. metody poiskov nemetal. poleznykh iskopaemykh* [Geochem. Methods for prospecting non-metallic minerals]. Eds. V. V. Ivanov, G. B. Melent'ev. Moscow: IMGRE, 1990. P. 196–200.

*Melent'ev G. B., Popova M. N., Zhuravlev V. A., Malinina E. N.* Geotektonika kak faktor prognozirovaniya i preduprezhdeniya prirodno-tekhnogennykh katastrof i geopatogennoi zaboлеваemosti na urbanizirovannykh territoriyakh [Geotectonics as a factor in predicting and preventing natural and man-made disasters and geopathogenic morbidity in urbanized areas]. *Sovr. probl. stroitel'stva i rekonstruktsii zdaniy i sooruzhenii: Mat. mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. Vologdskogo GTU (Vologda, 29–31 okt. 2003 g.)* [Current probl. of construction and reconstruction of buildings and structures: Proceed. int. sci. tech. conf. Vologda St. Tech. Univ. (Vologda, Oct. 29–31, 2003)]. Vologda, 2003. P. 145–149.

*Melent'ev G. B., Samaev S. B., Bukar' V. P., Sakharov I. V., Malinina E. N.* Integrirovannaya geoekologicheskaya otsenka territorii v tselyakh preduprezhdeniya prirodno-tekhnogennykh katastrof i profilaktiki ekologicheskoi obuslovlennoi zaboлеваemosti naseleniya [Integrated geoecological assessment of territories in order to prevent natural and man-made disasters as well as to prevent ecologically caused morbidity of the population]. *Ekol. promyshl. proizvodstva* [Ecol. Industrial Production]. 2005. No. 2. P. 15–25.

*Melent'ev G. B., Samonov A. E., Malinina E. N.* Radiogeokhimicheskie i geotektonicheskie aspekty izucheniya i radioekologicheskoe otsenki ob'ektov nedropol'zovaniya i urbanizirovannykh territorii [Radiogeochemical and geotectonic aspects of the study and radioecological assessments of the objects of subsoil use and urbanized territories]. *Ekol. promyshl. proizvodstva* [Ecol. Industrial Production]. Moscow: FGUP VIMI, 2010. Iss. 3, pt. 1. P. 12–26; iss. 4, pt. 2. P. 2–15.

*Melent'ev G. B.* Urovni kontsentratsii i zakonmernosti raspredeleniya estestvennykh radionuklidov v prioritnykh istochnikakh redkozemel'nykh metallov kak faktory otsenki perspektivnosti prirodnogo i tekhnogenogo syr'ya [Concentration levels and patterns of distribution of natural radionuclides in priority sources of rare-earth metals as factors for assessing the prospects

of natural and man-made raw materials]. *Tekhnol. mineralogiya v optimizatsii protsessov rudopodgotovki i obogashcheniya mineral'nogo syr'ya* [Technol. mineralogy in optimizing the processes of ore preparation and concentration of mineral raw materials]. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2014. P. 27–51.

*Mel'nik N. A.* Radioekologicheskie aspekty bezopasnogo ispol'zovaniya otkhodov Kol'skogo regiona v proizvodstve stroitel'nykh materialov [Radioecological aspects of the safe use of waste in the Kola region in the production of building materials]. Apatity: KSC RAS, 2003. 114 p.

*Nikolaev A. I., Petrov V. B., Mel'nik N. A., Brylyakov Yu. E., Pleshakov Yu. V., Fedchenko V. F.* Issledovanie sostava i radiatsionnykh kharakteristik sfenovogo kontsentrata iz apatit-nefelinovykh rud Khibinskikh mestorozhdenii [Study of the composition and radiation characteristics of sphene concentrate from apatite-nepheline ores of the Khibiny deposits]. *Kompleksnaya pererabotka netraditsionnogo titano-redkometal'nogo i alyumosilikatnogo syr'ya: sovr. sostoyanie i perspektivy: Mat. mezhdunar. konf. (4–8 aprelya 2006 g.)* [Complex processing of unconventional titanium-rare metal and aluminosilicate raw materials: Current state and prospects: Proceed. int. conf. (April 4–8, 2006)]. Apatity: KSC RAS, 2006. P. 200–204.

*Pel'menev M. D.* O radiatsionnoi kharakteristike redkometal'nykh mestorozhdenii. Direktivnoe pis'mo-ukazanie Mingeo SSSR, iskh. № 159-D ot 19.05.1989 g. [On the radiation characteristics of rare metal deposits. Letter of instruction/order of the Ministry of Geology of the USSR, ref. No. 159-D dated May 19, 1989]. Moscow, 1989.

*Romanovich I. K., Chernev A. V., Stamat I. P., Venkov V. A., Kormanovskaya V. A.* Dozy oblucheniya naseleniya Murmanskoi oblasti prirodnyimi istochnikami izlucheniya i radionuklidami global'nykh vypadenii [Doses of the Murmansk Region population exposure to natural sources of radiation and radionuclides of global fallout]. *Ekol. promyshl. proizvodstva* [Ecol. Industrial Production]. 2006. No. 1. P. 36–38.

*Savitskii A. I., Barkhatov A. V.* Radiatsionno-gigienicheskaya otsenka stroitel'nykh materialov s uchetchom radonoopasnosti [Radiation-hygienic assessment of building materials in view of radon hazard]. *Probl. ratsional'nogo ispol'zovaniya prirod. i tekhnogenogo syr'ya Barentseva reg. v tekhnologii stroitel'nykh materialov: Mat. 2-i Mezhdunar. nauch. konf. (Petrozavodsk, 12–16 sent. 2005 g.)* [Probl. of rational use of nat. and man-made raw materials from the Barents region in building materials technology: Proceed. 2<sup>nd</sup> int. sci. conf. (Petrozavodsk, Sept. 12–16, 2005)]. Petrozavodsk, 2005. P. 172–175.

*Vremennyye metodicheskie ukazaniya po radiatsionno-gigienicheskoi otsenke poleznykh iskopaemykh pri proizvodstve geologorazvedochnykh rabot na mestorozhdeniyakh stroitel'nykh materialov* [Temporary guidelines for radiation and hygienic assessment of minerals during geological survey at the deposits of building materials]. Kazan': VNIIGeolnerud, 1986. 48 p.

Received July 05, 2020



**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:****Мелентьев Гелий Борисович**

старший научный сотрудник, к. г.-м. н.  
Объединенный институт высоких температур РАН  
(ОИВТ РАН)  
ул. Ижорская, 2, стр. 2, Москва, Россия, 125412  
эл. почта: gb\_melent@mail.ru  
тел.: (499) 1677931

**CONTRIBUTOR:****Melentyev, Geliy**

Joint Institute for High Temperatures,  
Russian Academy of Sciences  
2 Izhorskaya St., bld. 2, 125412 Moscow, Russia  
e-mail: gb\_melent@mail.ru  
tel.: (499) 1677931