ГАБЛИН ВАСИЛИЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ

РАДИАЦИОННАЯ ОЦЕНКА ОБЪЕКТОВ ЛИТОМОНИТОРИНГА НА УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ (ТЕОРИЯ И МЕТОДЫ)

Специальность 25.00.36 - Геоэкология

Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора геолого-минералогических наук

Работа выполнена в Российском государственном геологоразведочном университете имени Серго Орджоникидзе (МГРИ-РГГРУ)

Научный консультант: Доктор геолого-минералогических наук,

профессор Верчеба Александр Александрович

Официальные оппоненты:

Доктор геолого-минералогических наук, профессор Голева Рита Владимировна, ФГУП «ВИМС», главный научный сотрудник

Доктор химических наук, профессор Зайцев Владимир Владимирович, Гуманитарно-экологический институт, проректор по научной работе

Доктор геолого-минералогических наук Киселев Георгий Петрович, Институт экологических проблем Севера УрО РАН, заведующий лабораторией экологической радиологии

Ведущая организация:	Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН				
	20 г. в часов на заседании				
· · · •	Д 212.121.04 в Российском государственном оситете имени Серго Орджоникидзе (МГРИ- и, ул. Миклухо-Маклая, д.23.				
С диссертацией можно озна http://www.msgpa.ru/ .	комиться в библиотеке МГРИ-РГГРУ и на сайте				
Автореферат разослан					

Отзывы на автореферат в 2-х экземплярах с подписью, заверенной печатью учреждения, просим направлять по адресу г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д.23, (МГРИ-РГГРУ), ученому секретарю Диссертационного совета Бобкову А.И.

Ученый секретарь Диссертационного совета кандидат геолого-минералогических наук

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. К основным задачам Экологической доктрины РФ относятся создание методологии экологического мониторинга, в т. ч. методологии оценки, а также обеспечение достоверности мониторинговых данных.

В системе обеспечения радиационной безопасности радиационноэкологический мониторинг, под которым понимается система регулярных наблюдений, оценки и прогноза природного и антропогенного радиационного воздействия на человека и окружающую среду, является начальной стадией. Его иногда считают технической стороной радиационной защиты, поскольку он решает задачу получения информации, с помощью которой можно оценить уровни облучения в единицах основных нормируемых величин. Поэтому первые роли в программе мониторинга играют проведение измерений и интерпретация их результатов.

Актуальность работы определяется рядом взаимосвязанных аспектов.

В <u>экологическом</u> отношении актуальной является необходимость максимально точной оценки радиационного воздействия на человека объектов окружающей среды, подвергающихся постоянно возрастающей техногенной, в т. ч. радиационной нагрузке, особенно в пределах урбанизированных территорий.

<u>Правовыми</u> документами федерального уровня радиоактивность грунтов, почв и донных отложений (которые в дальнейшем по тексту могут объединяться термином «объекты литомониторинга») не нормируется, т. е. критериев их радиационной оценки не существует. Между тем, уровни их радиоактивности обычно невысоки, в т. ч. в пределах урбанизированных территорий, а границы нормы при невысокой радиоактивности являются условными и даже спорными. Кроме того, вклад почвы в суммарное облучение человека может превышать 60 %.

Рассматриваемая ступень оценки в ряду «радиационная оценка объектов окружающей среды — оценка дозы облучения — оценка радиационного риска» является первой и единственной метрологически обеспеченной ступенью, поскольку включает измерение физических величин. Именно на этой ступени образуется величина начальной неопределенности радиационной оценки, которая возрастает на каждой последующей стадии каждой последующей ступени.

Существующие методики радиационной оценки объектов окружающей среды характеризуются декларативным и формальным подходом в части отдельных стадий аналитического цикла, что снижает точность оценки.

Недооценка радиационной опасности создает угрозу здоровью и жизни людей, а завышенная оценка ведет к неоправданным расходам на проведение радиационной защите необходимости мероприятий ПО И освоения Поэтому альтернативных источников энергии. максимально радиационная оценка является условием принятия взвешенного решения на основе анализа социально-экономических факторов.

Перечисленные аспекты делают насущными задачи разработки критериев радиационной оценки природных объектов и совершенствования методических подходов к радиационной оценке в целях повышения ее точности и достоверности.

Цель исследования. Создание методологии и критерия радиационной оценки объектов литомониторинга на урбанизированных территориях.

Задачи работы.

- 1. Выявление радиационных различий твердофазных компонентов грунтов, почв и донных отложений на площади Московского региона и обоснование необходимости учета этих различий при интерпретации результатов массовых радиационных измерений.
- 2. Определение условий подготовки счетного образца к радиационным измерениям, обеспечивающих их максимальное качество и надежность.
- 3. Создание алгоритма расчета фоновой радиоактивности грунтов, почв и донных отложений и апробирование его на почвах территории г. Москва.
- 4. Обоснование возможности использования значений фоновой радиоактивности, рассчитанных с учетом твердофазного состава объектов литомониторинга, как основы для радиационного нормирования.
- 5. Разработка технологии подготовки к радиационным измерениям проб грунтов, почв и донных отложений, позволяющей определить их твердофазный и радионуклидный состав как основу расчета фоновой радиоактивности.

Фактический материал и методы исследования. Достижение цели работы и решение перечисленных задач основывается на результатах выборочного изучения вещественного состава проб грунтов, почв и донных отложений, отобранных по опорной сети при проведении радиационно-экологического мониторинга Московского региона за 1999-2013 гг. (более 4200 проб), при обследовании участков радиационного загрязнения, а также проб, отобранных лично автором в Московском регионе для выполнения научно-методических экспериментов, в т. ч. для графического и математического моделирования (около 100 проб).

Для изучения твердофазного состава отобранных проб грунтов, почв и отложений использован комплекс методов, включающий гранулометрический анализ (около 200 анализов) и определение содержания 150 определений). органического вещества (около лабораториях В Радиационно-Аналитического Экспертного Центра (РАЭЦ) ФГУП «РАДОН» выполнено около 600 измерений с использованием аппаратуры фирмы Canberra: радиометрической установки HT-1000; гамма-спектрометрического комплекса GENIE-2000; жидкосцинтилляционного анализатора Tri-Carb 2550 TR/AB. Минеральный состав проб определялся методом рентгеновского фазового анализа с использованием дифрактометра ДРОН-3: на кафедре химии почв МГУ и в Отделе № 7 Центра разработки технологий и аналитического контроля (ЦРТиАК) ФГУП «РАДОН» (24 Минералогический анализ 5 проб почвы, в т. ч. оптико-минералогический анализ зернистой части и рентгенографический количественный анализ глинистой фракции, выполнен в Отделе минералогии ФГУП «ВИМС». В Отделе научно-производственных аналитических работ ФГУП «ИМГРЭ» выполнен 121 рентгеноспектральный анализ на 15 элементов. В ФГУП «ВИМС» выполнено 80 рентгеноспектральных анализов на 16 элементов.

При подготовке проб к радиационным измерениям применялось следующее оборудование: для высушивания — электрошкафы сушильные СНОЛ-3.5 и FD-115 WTB, для ситования — виброгрохот РКФ-2У и анализатор A20-C/220, укомплектованные аналитическими ситами с диаметрами ячеек 0.0625 и 2 мм, для озоления — муфельные печи МПЛ-6, L9/S27 и L9/11SKM, для сокращения — рифленый делитель Fritsch, для взвешивания — весы PB-1501 и ARA 520.

Методика исследований включала моделирование зависимостей радиационных параметров изучаемых объектов от их твердофазного состава с последующим применением этих зависимостей к реальным пробам, разработку экспертной системы данных, обеспечивающей учет этих зависимостей при автоматизированной обработке результатов массовых измерений, построение карт фоновых значений радиационных параметров.

Основные положения, выносимые на защиту.

- 1. Разработан подход к интерпретации результатов массовых радиационных измерений объектов литомониторинга, включая их радиационную оценку, основанный на впервые установленном факте радиационной гетерогенности твердофазного состава этих объектов.
- 2. Обоснован и впервые разработан комплекс требований к аналитическому циклу как условие несмещенной радиационной оценки объектов литомониторинга, включающий сохранение в счетном образце первичного характера распределения радионуклидов и обеспечение максимальной представительности счетного образца, приготовленного из пробы объекта.
- 3. Впервые теоретически обоснован, разработан и апробирован критерий радиационной оценки объектов литомониторинга предельный уровень фоновой радиоактивности, учитывающий их радиационную гетерогенность и региональную радиационную специализацию.
- 4. Теоретически обоснована и разработана не имеющая аналогов технология подготовки к радиационным измерениям проб объектов литомониторинга, обеспечивающая их радиационную оценку на базе достоверных и точных результатов измерений.

Научная новизна.

- 1. Доказано, что установленные в результате исследований автора радиационные различия твердофазных компонентов объектов литомониторинга не позволяют применять стандартные статистические приемы при обработке результатов массовых измерений.
- 2. Доказано, что сохранение в счетном образце характера первичного распределения радионуклидов обеспечивает точность радиационной оценки.

- 3. Установлено, что важнейшим условием точной радиационной оценки является обеспечение максимальной представительности счетных образцов.
- 4. Впервые научно обоснована и разработана модель фоновой радиоактивности почв, грунтов и донных отложений как критерий их радиационной оценки.

Практическая ценность работы.

- 1. Экспериментальное подтверждение разработанной модели на почвах г. Москва позволило использовать ее в интерпретации результатов массовых измерений при проведении радиоэкологического мониторинга Московского региона.
- 2. Алгоритм расчета фоновой радиоактивности объектов литомониторинга, учитывающий их радиационную гетерогенность, может быть принципиально реализован в любых ландшафтных условиях вне зависимости от радионуклидного состава этих объектов.
- 3. Результаты исследований оптимизируют аналитический цикл радиолитомониторинга для последующего внедрения его в практику производственных организаций и в первую очередь в рядовые лаборатории радиационного контроля.
- В системе Росстандарта аттестованы разработанные автором «Методика измерений суммарной альфа- и бета-активности в гранулометрически охарактеризованных пробах грунтов» и «Методика выполнения радиометрических измерений суммарной альфа- и бета активности радионуклидов в пробах почв с учетом вещественного состава».

Личный соискателя. Диссертация вклад исследований соискателя, выполненных в ФГУП «РАДОН» в 1999-2013 гг. Автором отобраны пробы грунта и почвы, результаты измерения которых использованы при разработке модели фоновой радиоактивности, установлены радиационные различия твердофазных компонентов грунтов, почв и донных отложений, доказана возможность повышения степени представительности счетных образцов, обоснован принципиально новый подход к интерпретации результатов массовых радиационных измерений природных объектов и апробирована методика такой интерпретации на почвах г. Москва с использованием модели фоновой радиоактивности, определены схема и технологические режимы подготовки к радиационным измерениям проб грунтов, почв и донных отложений, обеспечивающей как представительность, так и гомогенность счетного образца.

Полнота изложения материала по теме в опубликованных работах. По теме диссертации автором опубликовано 57 научных работ в различных изданиях, в том числе 20 статей в рецензируемых журналах «Аппаратура и новости радиационных измерений», «Геоэкология», «Известия вузов. Геология и разведка», «Экология урбанизированных территорий».

Результаты работ автора апробированы на многих конференциях, семинарах и симпозиумах: Второй Международный Сибирский геоаналитический семинар (Иркутск, 2001), NORM-IV. International

Conference: Naturally occurring radioactive materials (Szczyrk, Poland, 2004), ECORAD-2004. International conference: The scientific basis for environment (Aix-en-Provence, protection against radioactivity France, 2004), Международная коференция: Радиоактивность и радиоактивные элементы в обитания человека (Томск, 2004), XI ежегодный Спектрометрический анализ. Аппаратура и обработка данных на ПЭВМ (Обнинск, 2005), XI Международнародный экологический симпозиум: Урал атомный, Урал промышленный (Екатеринбург, 2005), Семинар: Приборнометодическое обеспечение радиационного контроля воды (С.-Петербург, 2005), ICEM-05: The 10th International Conference on Environmental Remediation and Radioactive Waste Management (Glasgow, Scotland, 2005), Всероссийская научно-практическая конференция: Современные проблемы почвоведения и экологии (Йошкар-Ола, 2006), VIII Международная конференция: Новые идеи в науках о Земле (Москва, 2007), IV Международная научноконференция: Экологические проблемы индустриальных практическая мегаполисов (Москва, 2007), ICEM-07. The 11th International Conference on Environmental Remediation and Radioactive Waste Management (Bruges, Belgium, 2007), IRPA 12. The 12th International Congress of The International Radiation Protection Association (Buenos Aires, Argentina, 2008), Сибирцевские чтения. Всероссийская научная конференция, посвященная рождения Н.М. Сибирцева: Генезис, ДНЯ классификация почв и оценка почвенных ресурсов (Архангельск, 2010), Международная научно-практическая конференция: Современное состояние и перспективы ведения лесного хозяйства на загрязненных радионуклидами землях (Гомель, 2011), Экология и геологические изменения в окружающей среде северных регионов: Материалы докл. Всероссийской конференции с международным участием (Архангельск, 2012), IV Международная конференция: Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания (Томск, 2013); Международная конференция: Геохимия минералогия геоэкосистем крупных городов. (С.-Петербург, 2013).

Уровень исследований подтвержден патентами на изобретения: «Стандартный образец радионуклидного состава на основе природной почвы и способ его получения» (№ 2157518), «Способ определения радиационного фона почв при проведении радиоэкологического мониторинга промышленного региона» (№ 2209445), «Способ радиоэкологического мониторинга почв, грунтов и донных отложений» (№ 2223518).

Структура и объем диссертации. Работа состоит из введения, 5 глав, заключения и списка литературы из 411 наименований. Включает 188 страниц текста, 33 рисунка и 40 таблиц.

Глубокая признательность адресуется всем коллегам, принимавшим участие в исследованиях, в первую очередь, соавторам публикаций, а также отдельно сотрудникам ФГУП «РАДОН»: Абраменко А.И., Гордееву С.К., Жуковой Н.О., Зайцеву В.В., Коренкову И.П., Лакаеву В.С., Стефановскому С.В.; сотруднику ООО НПП «Доза» Мартынюку Ю.Н., сотрудникам ФГУП «ВИМС»: Березиной Л.А., Быховскому Л.З., Дубинчуку В.Т., Зуеву Д.М.,

Кузькину В.И., Куприяновой И.И., Овсянниковой Т.М., Ожогиной Е.Г., Серпер Н.А., Сидоренко Г.А., Скоробогатовой Н.В., Спорыхиной Л.В., Стародубову А.В., Шуриге Т.Н.; сотрудникам ОАО «Атомэнергопроект» Митроновой Ю.Н. и Пономареву И.М.; сотрудникам ИГЭ РАН Микляеву П.С., Макарову В.И. и Семенову С.М.; сотрудникам ГУП ЦИКВ Бабаеву А.С. и Шипунову А.И.; сотрудникам ФГУП «ИМГРЭ» Айзенфельд Е.С. и Бахаревой Т.В.; сотрудникам других организаций: Горобцу Б.С., Полякову В.А., Семеновой О.С., Сэпману С.В., Ярыне В.П. За аналитическое и информационное обеспечение работы искренняя благодарность выражается всему коллективу Радиационно-аналитического экспертного центра ФГУП «РАДОН». Автор признателен всем административным и техническим работникам, внесшим свой вклад в обеспечение выполнения работы.

СОКРАЩЕНИЯ, ЕДИНИЦЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Бк/кг – единица удельной активности.

Зв – зиверт, единица эффективной дозы.

КУ – контрольные уровни.

ЛРК – лаборатория радиационного контроля.

МДА – минимальная детектируемая активность.

НРБ – нормы радиационной безопасности.

Представительность счетного образца — достоверное отражение неоднородности пробы, из которой он приготовлен (представительность пробы — достоверное отражение неоднородности участка опробования).

Радиационные параметры — параметры, контролируемые при проведении радиоэкологического мониторинга: удельная суммарная активность альфа- и бета-излучающих радионуклидов ($\Sigma \alpha$ и $\Sigma \beta$); удельные активности отдельных радионуклидов ($\Sigma \alpha$ и $\Sigma \beta$); удельные удельная активность гамма-излучающих радионуклидов $\Delta \alpha$

СКО – среднеквадратичное отклонение.

СОРН – стандартный образец радионуклидного состава.

Счетный образец — определенное количество вещества, полученного из пробы согласно установленной методике и предназначенного для измерений его радиационных параметров в соответствии с регламентированной методикой выполнения измерений.

ТЛД – термолюминесцентный дозиметр.

УРЗ – участок радиационного загрязнения.

1. ПРОБЛЕМЫ РАДИОЛИТОМОНИТОРИНГА УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ

Радиоэкологический мониторинг как система регулярных наблюдений, оценки и прогноза природного и антропогенного радиационного воздействия на человека и окружающую среду предусматривает измерение уровня радиоактивного загрязнения от всех существующих источников.

Проводимый в г. Москва радиационно-экологический мониторинг не имеет аналогов по организационной структуре, набору исследуемых объектов (рис. 1) и количеству контролируемых параметров: удельная суммарная активность альфа- и бета-излучателей ($\Sigma \alpha$ и $\Sigma \beta$), удельные активности ⁴⁰K, ¹³⁷Cs, ²²⁶Ra, ²³²Th. При потенциальном и долговременном факторе загрязнения окружающей среды радионуклидами с относительно малыми уровнями активности, что типично для урбанизированных территорий, решающую роль играют высокая точность ее определения и достаточно большое число проб, обеспечивающее достоверность результатов (Соболев И.А. и др., 1999).

Учитывая важность экологических проблем, включая вопросы радиационной экологии, есть основания полагать, что аналогичная система мониторинга будет со временем охватывать и другие регионы России. В этой связи представляется актуальной разработка общего подхода к его методическому обеспечению.

Схема последовательности работ по радиационной оценке объектов литомониторинга Московского включает четыре стадии.

Стадия пробоотбора предваряется обоснованием сети пробоотбора. Стратегия разработки сети подробно изложена в (Руководство по методам контроля за радиоактивностью окружающей среды, 2002). Требования к сети, обеспечивает выполнение которых достоверную распределения радиационных параметров, это регулярность – равномерность избыточность, обусловленная площадного покрытия вариациями параметров пространстве И времени. Согласно радиационных статистическим расчетам для г. Москва этим требованиям отвечает квазиравномерная сеть пробоотбора (по классификации Международного агентства по атомной энергии – систематического случайного пробоотбора) масштаба 1 : 300 000. Отбор проб ведется в соответствии с методиками, разработанными Службой радиационно-экологического мониторинга аттестованными в системе Росстандарта.

Задача стадии пробоподготовки, первой стадии аналитического цикла – подготовка проб к радиационным измерениям, а также усовершенствование существующих и разработка новых методик с целью повышения производительности и качества работ.

Стадия проведения измерений включает радиометрический и гаммаспектрометрический методы. Задача радиометрических измерений $\Sigma \alpha$ и $\Sigma \beta$ – предварительная радиационная оценка природных объектов. Это массовые рутинные измерения. Принципиальным ограничением метода, которое не позволяют считать его количественным, а результаты измерений - физическими величинами, является проблема образца сравнения.

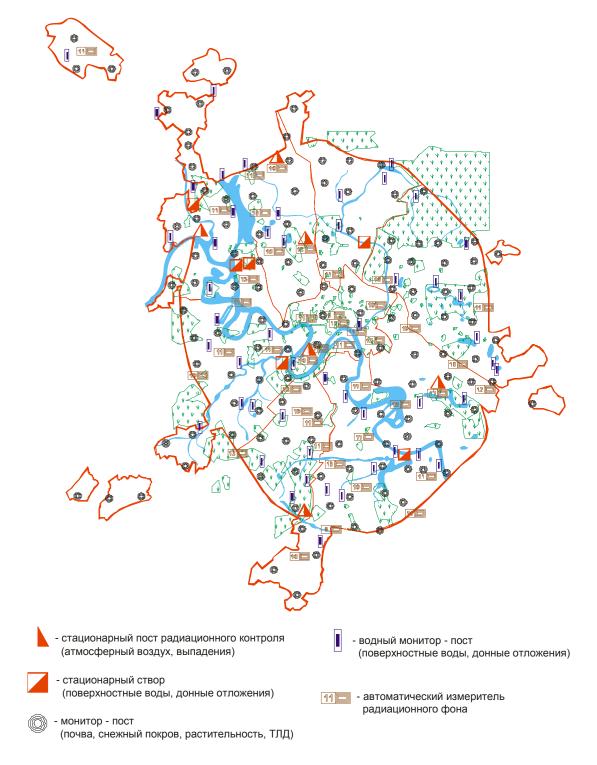


Рис. 1. Схема радиационно-экологического мониторинга г. Москва

При радиометрических измерениях значение удельной активности счетного образца соотносится с аттестованным значением удельной активности образца сравнения, который должен максимально соответствовать счетным образцам по радионуклидному составу. Это требование в общем случае невыполнимо. Поэтому величины $\Sigma \alpha$ и $\Sigma \beta$ считаются не физическими,

а условными, оценочными величинами («Руководство...», 2002) с неопределенной методической погрешностью, связанной с неадекватностью счетного образца образцу сравнения.

Таким образом, радиометрические измерения являются оценочными в смысле их отличия от количественных, хотя именно по ним дается самая первая радиационная оценка.

Задача гамма-спектрометрического метода — определение радионуклидного состава. Это количественный метод, недостаток которого состоит в том, что он не регистрирует чистые альфа- и бета-излучатели. Преимущество метода состоит в простоте подгототовки счетного образца, а именно в обеспечении его соответствия аттестованной геометрии измерений.

Указанные методы целесообразно комплексировать; при этом любая последовательность их применения является оправданной. С точки зрения радиационной оценки качественные радиометрические измерения должны предшествовать количественным гамма-спектрометрическим. С точки зрения длительности и трудоемкости пробоподготовки целесообразно сначала выполнять гамма-спектрометрические измерения, тем более, что при опережающем их проведении возможно моделирование образца сравнения для радиометрических измерений (Соболев И.А. и др., 1989; Брегадзе Ю.И. и др., 1990; Федоров Г.А., 2000; Габлин В.А. и др., 2005). Поэтому комплекс измерений, выполняемых при проведении радиоэкологического мониторинга, включает оба метода. Если результаты измерений указанными методами недостаточны для выполнения радиационной оценки, применяются более сложные методы: альфа-, бета- и жидкосцинтилляционная спектрометрия (с радиохимической подготовкой) и рентгеновская спектрометрия.

Радиометрические измерения продолжают применяться как экспрессные и недорогие оценочные измерения. В силу важности первичной «разбраковочной» радиационной оценки их результаты должны характеризоваться максимально возможной достоверностью. Методическое, в т. ч. метрологическое обеспечение радиометрических измерений должно быть в этой связи предметом самых серьезных разработок.

Широкое использование радиометрических измерений восходит к практике Гидрометслужбы СССР, когда начинала создаваться база данных, основанная на результатах радиометрических измерений. Эта практика продолжается и в настоящее время (Крышев И.И. и др., 2013).

Повышенные значения $\Sigma\beta$ нередко обусловлены чистыми бета-излучателями ⁹⁰Sr, а также ²¹⁰Bi, продуктом распада низкоэнергетического изотопа ²¹⁰Pb, который регистрируется только методом рентгеновской спектрометрии. Между тем, ²¹⁰Pb, накапливающийся в почве из атмосферы, относится к группе наиболее биогенно значимых радионуклидов. К этой же группе относится ²¹⁰Po — чистый альфа-излучатель, образующийся при распаде находящегося в почве ²²²Rn.

Ведущие производители аппаратуры для радиационных измерений, фирмы CANBERRA и BERTHOLD продолжают разработку и выпуск новых моделей низкофоновых альфа-бета-счетчиков.

Наконец, величины удельной суммарной активности альфа- и бетаизлучателей являются нормируемыми («Контрольные уровни обеспечения радиоэкологической безопасности населения города Москвы», 2008; ОСПОРБ 99/2010, 2010; СПОРО-2002, 2003).

Задача стадии оценки — соотнесение результатов измерений с критерием оценки — нормативными величинами. В отсутствие федеральных нормативов на грунты, почвы и донные отложения применяются условные оценки уровня радиоактивности, не учитывающие альфа- и бета-излучающих радионуклидов — по мощности экспозиционной дозы гамма-излучения или по эффективной удельной активности $A_{\text{эфф}}$.

Максимально точная оценка уровней радиоактивности крайне важна в свете упомянутой в общей характеристике работы проблемы облучения в малых дозах, которому подвергается подавляющее большинство людей. Эта проблема описывается тремя теориями. Официально принятой международном уровне является линейная беспороговая концепция, согласно которой любая сколь угодно малая доза создает риск, отличный от нулевого (Публикация 103 МКРЗ, 2009). В соответствии с гипотезой повышенной опасности облучения в малых дозах низкоинтенсивное облучение вызывает значительный эффект, чем большее ПО величине 1999, Яблоков (Рождественский Л.М., A.B., 2002). Бо́льшая исследователей считает малые дозы облучения безопасными (Василенко О.И., 2004; Польский О.Г., 2006), а согласно теории гормезиса – даже полезными (Гусаров И.И., 2001, Кузин А.М., 1996, Яворовски З., 1997, Lackey Т., 1986). Ни одна из трех теорий не считается доказанной, поэтому разработка любых аргументированных подходов к оценке и нормированию в области малых доз является актуальной.

Проблема радиационной оценки осложняется тем, что нормируется лишь техногенное облучение, тогда как в общем случае результат радиационного измерения представляет собой суммарную активность природных и техногенных радионуклидов. При этом до сих пор является дискуссионным вопрос, являются ли безопасными повышенные уровни природной радиоактивности, характерные для многих регионов. Известно, кстати, что радиоактивность почв различных ландшафтных зон России различается на порядок (Высокоостровская Е.Б., 1996).

Единственный официальный документ, учитывающий региональную специфику радиоактивности - «Контрольные уровни...»), в котором КУ разработаны на базе многолетних мониторинговых наблюдений за радиоактивностью природных объектов г. Москва. Расчет КУ удельной активности в объектах окружающей среды выполнен по величине предела дозы, т. е. непревышение КУ гарантирует непревышение предела дозы для населения. Однако КУ рассчитаны без учета вариабельности природных объектов, на необходимость которого указывает МКРЗ (Публикация 103 МКРЗ, 2009).

Основным источником исходных данных при проведении радиолитомониторинга в г. Москва служат пробы, отбираемые по опорной

(режимной, регулярной) сети долговременных наблюдений. По результатам измерений именно этих проб выполняется общая радиационная оценка территории с выделением участков с различными относительно средних значений уровнями радиоактивности (Руководство по методам контроля за радиоактивностью окружающей среды, 2002). Именно по этим данным выполнен расчет контрольных уровней в грунтах, почвах и донных отложениях г. Москва («Контрольные уровни...»). Анализ именно этих данных положен в основу настоящей работы.

Отдельной проблемой в пределах урбанизированных территорий является техногенная нагрузка на грунты, почвы и донные отложения. Факторы, нарушающие их естественное состояние и приводящие к деградации, хорошо известны и изучены (Государственный доклад о состоянии окружающей природной среды г. Москва, 1993; Москва: геология и город, 1997; Строганова М.Н., 2000). Природные свойства объектов литомониторинга под воздействием этих факторов настолько изменены (Строганова М.Н., 2000), что, например, городские почвы стали называть урбаноземами и даже урбиквазиземами (http://www/soil/msu/ru/~ptv/clas-rus/htm). Поэтому термины, описывающие указанные объекты в настоящей работе, не являются классическими (см. глава 2).

Крайне важно и следующее. На каждом этапе любого вида радиационной оценки – радиационной оценки объектов окружающей среды, оценки дозы облучения, оценки радиационного риска – используют приемы моделирования, допущений, усреднений, экстраполяций, а также справочные данные, коэффициенты и экспертные заключения, которые непредсказуемо увеличивают неопределенность оценки, которая возрастает с каждым этапом.

Две группы причин вызывают необходимость использования перечисленных приемов и одновременно являются источниками ошибок.

Многофакторность воздействия на объект оценки как *внешняя причина* приводит к присущим всем видам радиационной оценки ошибкам моделирования, главными из которых являются следующие.

- 1. Модели являются неполными. Из-за технических ограничений и неполноты представлений о моделируемом объекте невозможно учесть все параметры, существенные для его описания.
- 2. Модель основывается на базе экспериментальных данных, которые всегда содержат ошибки разной природы, в т. ч. противоречия отдельных измерений друг другу. Такие ошибки не могут быть устранены полностью.
- 3. Экспериментальные данные могут содержать пропущенные значения (вследствие невозможности проведения полного набора анализов, потери информации, отказа средства измерения). Произвольность интерпретации этих значений ставит под сомнение ее корректность.

Внутренние причины связаны с составом и свойствами самого объекта.

- 1. Принципиально недостижима однородность измеряемого образца.
- 2. Соотношения активностей радионуклидов членов природных радиоактивных рядов обычно не соответствуют радиоактивному равновесию,

а именно в этом предположении проводятся все расчеты радиационных измерений.

- 3. Образец сравнения при радиометрических измерениях в общем случае не соответствует измеряемой пробе по радионуклидному составу.
- 4. Недостижима абсолютная представительность счетного образца по отношению к отобранной пробе, а отобранной пробы к участку пробоотбора.

Применение указанных приемов приводит к снижению точности оценки. Так, ошибка в оценке радиационного риска часто достигает сотен процентов (Россман Г.И., 2012), а неопределенность расчета поглощенной дозы может составлять 800 % («Радиация и патология», 2005).

Московский мегаполис как урбанизированная территория сопоставим с некоторыми развитыми государствами по численности и плотности населения, неоднородности ландшафта и сложности инфраструктуры, в т. ч. по насыщенности народнохозяйственными объектами различного назначения. Задачи радиационной оценки, решаемые в пределах такой сложной территории, могут быть принципиально решены и на других, более однородных в ландшафтном и радиационном отношении территориях. Поэтому онжом считать, что «Радиационная оценка объектов литомониторинга на урбанизированных территориях. Теория и методы» является решением крупной народнохозяйственной задачи.

Радиационная оценка объекта включает измерение оцениваемых его параметров и соотнесение полученных результатов с нормативными величинами. Достоверность и точность оценки зависят от достоверности и точности измерений и обоснованности нормативных значений этих параметров.

В связи с изложенным возникает необходимость в разработке подходов к объективной оценке измеряемых значений контролируемых радиационных параметров, учитывающей неоднородность объектов окружающей среды наряду с региональными характеристиками радиоактивности.

2. РАДИАЦИОННЫЕ ПАРАМЕТРЫ КОМПОНЕНТОВ СОСТАВА ГРУНТОВ, ПОЧВ И ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ

Первое защищаемое положение: «Разработан подход к интерпретации результатов массовых радиационных измерений объектов литомониторинга, включая их радиационную оценку, основанный на впервые установленном факте радиационной гетерогенности твердофазного состава этих объектов». Существо защищаемого положения подробно раскрыто в работах автора 2, 3, 5, 8, 9, 15, 16, 18, 19, 22, 29, 31, 37, 42, 49, 53, 56.

Точность радиационной оценки определяется степенью соответствия измеряемого материала природного объекта самому объекту. Известно, что дозообразующим является верхний слой почв и грунтов (до 5 см), где сосредоточено 95÷98 % техногенной активности, тогда как природная

активность с глубиной меняется незначительно. Радиационная характеристика именно этого слоя является основой радиационной оценки почв и грунтов. Между тем, в пределах урбанизированных территорий объекты литомониторинга подвержены техногенной нагрузке, которая в большей степени затрагивает их верхние слои.

Определяющим свойством объекта литомониторинга при радиационной оценке является способность его верхнего слоя содержать те или иные количества радионуклидов, определяемая вещественным составом. Поэтому данные в работе определения основаны на радиационной гетерогенности твердофазного состава грунтов, почв и донных отложений, т. е. радиационных различиях твердофазных компонентов состава.

Грунт – двухкомпонентная система, состоящая из песчаной и глинистой фракций.

Почва – трехкомпонентная система, включающая песчаный, глинистый и органический компоненты.

Донные отложения также рассматриваются как трехкомпонентные системы. В Московском регионе они содержат кроме упомянутых компонентов карбонатное вещество раковин в количестве п %. Расчет показал, что вклад активности карбоната во все оцениваемые параметры незначителен, и этим компонентом при анализе донных отложений можно пренебречь как не влияющим на баланс активности в них.

Компонентом почв, грунтов и донных отложений в их природном состоянии является и жидкая фаза, но при проведении операций, предписанных методиками подготовки к измерениям проб этих объектов, они обезвоживаются. Поэтому под компонентами в работе понимаются твердофазные компоненты.

Радиационная гетерогенность состава почв, грунтов и донных отложений не является очевидной, как это может показаться.

Изучение радиоактивности компонентов состава почвы — в числе исследователей следует назвать Агапкину Г.И. и Тихомирова Ф.А. (1990), Гулякина И.В. и Юдинцеву Е.В. (1962, 1973), Молчанову И.В. (1979), Павлоцкую Ф.И. (1964, 1966, 1970, 1972, 1974, 1981, 1986, 1987, 1993, 1998) — сосредоточено в основном на искусственных радионуклидах, главным образом, в пределах территорий, затронутых чернобыльскими выпадениями. Главные задачи этих исследований — изучение миграционной способности радионуклидов и оценка возможности их выщелачивания из различных по составу матриц с целью разработки технологии реабилитации участков радиационного загрязнения. В аналогичных исследованиях применительно к природным радионуклидам речь обычно идет о радиационных различиях глин и песков как горных пород. Считается, что песок как порода может содержать до 5 % физической глины, а глина как порода сложена физической глиной не менее чем на 85 %, т. е. как песок, так и глина не являются монокомпонентными породами.

К физической глине относят фракцию < 0.001 или 0.002 мм (Карпачевский Л.О., 2005), однако верхней границей размера глинистых

частиц в работе, практические подходы которой адресованы обычной ЛРК, считается значение 0.0625 мм: лишь фракции $0.053 \div 0.074$ мм и крупнее могут быть получены сухим рассевом, а для определения содержаний более тонких фракций применяют седиментационные методы (Справочник по литологии, 1983). Таким образом, за песчаный и глинистый компоненты в работе приняты фракции 0.0625-2 мм и < 0.0625 мм, соответственно.

В ряде исследований подчеркнута важность изучения состава природных объектов и связь неоднородности распределения радионуклидов в почвах (и донных осадках) с их минеральным и гранулометрическим составом (Сапожников Ю.А., 2006). Изучением связи концентрации радионуклидов в почвенных частицах с их размером занимались японские ученые (Медиті, Матиго, 1977). Показано, что содержание радионуклидов в почвах больше зависит от их механического состава, чем от генетического типа (Ивлиев М.В., 1999; Микляев П.С., 2000; Кряучюнас В.В., 2008). Однако общий подход к интерпретации массовых радиационных измерений, основанный на учете радиационной гетерогенности почв, до сих пор не разработан.

Исследования радиационной гетерогенности твердофазного состава грунтов, почв и донных отложений включали измерения радиационных параметров чистых компонентов (табл. 1, 2), моделирование зависимости суммарной активности бета-излучающих радионуклидов от твердофазного состава почв (рис. 2, 3) и проведение эксперимента по выщелачиванию искусственных радионуклидов, предварительно введенных в почвы различного состава (табл. 3).

Таблица 1. Радиационные параметры (Бк/кг) твердофазных компонентов объектов литомониторинга (Московский регион)

объект	поромотр	физическая	физическая физический орган		органическое вещество		
OOBCKI	параметр	глина	песок	торф	водоросли	кальцит	
	Σα	930±260	100 ±60				
грунт Σβ	Σβ	1000±70	360 ±40				
	⁴⁰ K	600±70	10±5	60±20			
HOMBO	¹³⁷ Cs	$0,2\pm0,04$	< 2	9±2			
почва	²³² Th	50±5	2±1	4±1			
	²³⁸ U	30±5	3±1	13±4			
донные	Σα	1100±260	500±170	140±90	500±160	< 4	
отложения	Σβ	1200±80	540±50	150±20	1100±70	80±15	

Результаты исследований убедительно доказывают, что каждый из объектов литомониторинга характеризуется радиационными различиями слагающих его твердофазных компонентов, в т. ч. минеральных, а эксперимент подтвердил существование связи радиоактивности почв, обусловленной искусственными радионуклидами, с составом почв.

Таблица 2. Удельная активность радионуклидов (Бк/кг) в некоторых
минералах почв

минерал	месторождение	$^{40}\mathrm{K}$	²³² Th	^{238}U
Вермикулит	Vanuar (Vanuaruž n. an)	3 ±2	2±0,3	1±0,3
Гидрослюда	Ковдор (Кольский п-ов)	150	30	20
Гематит	Marana and an	< 33	9±4	240±40
Кварц	Железистые кварциты	10±9.6	5±2	4±2
Магнетит	месторождения кремнисто- железистой формации	< 46	10±2	10±2
Пирит	железистои формации	60±30	20±4	10±6
Кальцит	Перевальное (Прибайкалье)	< 44	2±0,4	1±0,2
Каолинит	Алексеевское (Казахстан)	360±50	50±6	40±4
Касситерит	Tyrnyyya a (Hnyyyany a)	30±20	20±2	100±9
Полевой шпат	Тигриное (Приморье)	100±30	20±4	40±4
Колумбит	концентрат	< 33	9100±600	8000±400
Куммингтонит	Тарынахское	80±40	50±20	10±4
Монтмориллонит	Кыдживанское (Армения)	90±10	50±4	20±2
Мусковит	Орловское (Бурятия)	2400±300	20±2	50±6

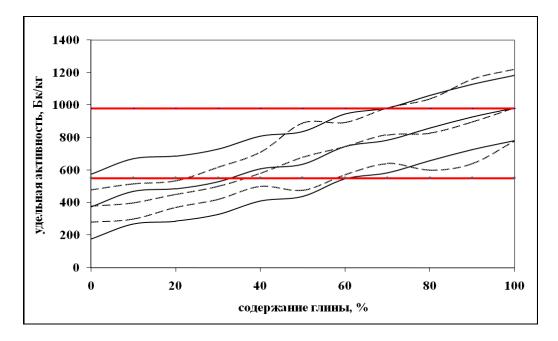


Рис. 2. Зависимость удельной суммарной активности бета-излучающих радионуклидов в грунтах от их гранулометрического состава: сплошные линии — модель, пунктир — эксперимент, горизонтальные линии — традиционная интерпретация

Сотрудниками ФГУП «ВИМС» установлено, что важным фактором загрязнения почвы наряду с содержанием поллютанта является форма его нахождения в матрице. В этой связи приведены известные к настоящему времени данные по содержанию и формам нахождения основных радионуклидов в почвообразующих минералах (табл. 4). Эти данные могут быть использованы для определения предельной величины радиоактивности любого минерального компонента почвы.

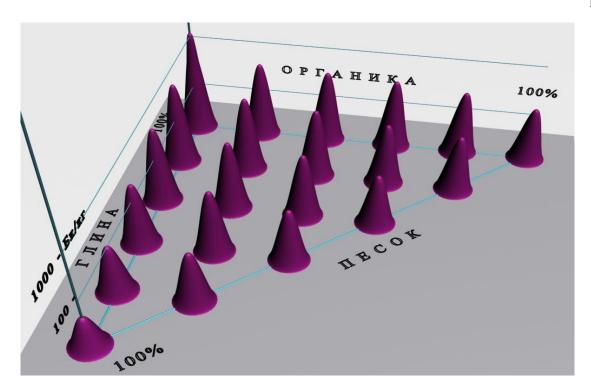


Рис. 3. Зависимость средних значений удельной суммарной активности бета-излучающих радионуклидов (Бк/кг) в почве от соотношения слагающих ее компонентов

Таблица 3. Изменение активности радионуклидов в почвах различного состава при последовательном выщелачивании, % от первоначально введенной активности

Тип	Радио-	<u> </u>	Проба после выщелачивания					
почвы	нуклиды	H_20	NH ₄ Cl	1 н HCl	6 н HCl			
	Σα	57	50	42	11			
Песчаная.	²⁴¹ Am	53	46	< 1	< 1			
Содержание	²³⁹ Pu	60	55	50	13			
органического	Σβ	47	29	18	10			
вещества $(C_{opr}) =$	60 Co	74	48	6	2			
0,5 %	¹³ /Cs	70	29	24	13			
	⁹⁰ Sr	18	14	10	6			
	Σα	100	73	34	26			
Подзолистая на	²⁴¹ Am	71	62	12	< 1			
бескарбонатных	²³⁹ Pu	100	58	29	23			
покровных	Σeta	96	45	31	23			
суглинках	60Co	79	66	15	< 1			
$C_{opr} = 6 \%$	¹³⁷ Cs	71	44	43	20			
	⁹⁰ Sr	100	49	38	33			
	$\Sigma \alpha$	50	48	40	5			
	²⁴¹ Am	78	59	25	21			
Торфяная	²³⁹ Pu	49	44	33	15			
$C_{opr} = 40 \%$	Σβ	90	39	18	16			
	60Co	79	51	10	5			
	¹³⁷ Cs	89	67	48	48			
	⁹⁰ Sr	100	22	5	<1			

Таблица 4. Максимальное содержание (%) и формы нахождения (структурная – голубой, механическая – серый, сорбционная – бурый) К, Сs, Th и U в почвообразующих минералах

минерал	K	C	Cs	Th		-	U
Альбит	4.12			$1.5.10^{-3}$		4.	10 ⁻⁴
Плагиоклаз	3.01			4.	4.10 ⁻⁴		10 ⁻⁴
Полевой шпат	14.03	0.0)38	1.5	5.10 ⁻³	1.27	7.10 ⁻³
Вермикулит	6.64						
Хлорит				2.2	2.10 ⁻³	2.	10 ⁻³
Слюды	11.54	4.02			0.017		5.10 ⁻³
Гематит				1	0-3	9.2	.10 ⁻³
Кальцит				6.10 ⁻⁴		7.6	.10 ⁻⁴
Каолинит	+			7.2.10 ⁻³		1.4	.10 ⁻³
Касситерит						2.1	.10 ⁻⁵
Кварц	0.16			1.5	5.10 ⁻³	4.	10 ⁻⁴
Амфиболы	0.08			3.2.10 ⁻³		8.	10 ⁻⁴
Магнетит			0.02			C	0.3
Монтмориллонит	1.34			+		C).n
Пирит				9.4.10		1.7	.10 ⁻³

При проведении радиоэкологического мониторинга почв выполняется отбор проб по сети, поскольку априорно (и справедливо) предполагается, что исследуемая площадь радиогеохимически неоднородна (в противном случае ее радиационную оценку можно было бы получить по результатам измерения единственной пробы). Более того, сетевой пробоотбор обеспечивает выполнение массовых измерений, что позволяет применить статистические методы для выработки критерия радиационной оценки.

Результаты измерений отобранных по сети проб обрабатываются, в т. ч. с получением средних значений радиационных параметров и СКО. В отсутствие нормативных уровней к нормальным — фоновым — относят значения радиационного параметра, не превышающие суммы среднего значения и двух СКО (Пруткина М.И. и др., 1984) при условии нормального или логнормального распределения параметра. Результаты выборочных расчетов, приведенные в табл. 5, показывают, что для почв г. Москва распределение в большинстве случаев описывается логнормальным законом.

На рис. 2 показано, что области фоновых значений удельной суммарной активности бета-излучающих радионуклидов в пробах грунта г. Москва очерчиваются горизонтальными линиями. Из этого рисунка следует, что одно и то же измеренное значение радиационного параметра пробы может быть как аномальным, так и фоновым в зависимости от соотношения радиационно различающихся компонентов ее состава.

Таблица 5. Распределение радиационных параметров в почвах (л – логнормальное, н – нормальное, 2 – нормальное и логнормальное, 0 – не описывается ни нормальным, ни логнормальным законом)

года	⁴⁰ K	¹³⁷ Cs	²²⁶ Ra	²³² Th	Σα	Σβ
1996-2000	Л	Л	Л	0		
1999-2003	Л	Л	Л	Л	0	Н
2002	2	Л	2	Л	Л	2

Этот факт является сутью предлагаемого подхода, который основан на учете установленной выше радиационной гетерогенности состава объектов литомониторинга и применим при любом их составе, т. е. для любых соотношений компонентов. Учет гетерогенности является главным условием радиационной оценки рыхлых (дисперсных) грунтов, почв и донных отложений. Представляется, что подход принципиально реализуем также для скальных грунтов (горных пород), будучи основанным на радиационных различиях минеральных компонентов состава.

3. СОСТАВ ОБЪЕКТОВ РАДИОЛИТОМОНИТОРИНГА И ПРЕДСТАВИТЕЛЬНОСТЬ СЧЕТНОГО ОБРАЗЦА КАК УСЛОВИЕ ТОЧНОЙ РАДИАЦИОННОЙ ОЦЕНКИ

Второе защищаемое положение: «Обоснован и впервые разработан комплекс требований к аналитическому циклу как условие несмещенной радиационной оценки объектов литомониторинга, включающий сохранение в счетном образце первичного характера распределения радионуклидов и обеспечение максимальной представительности счетного образца, приготовленного из пробы объекта». Существо защищаемого положения подробно раскрыто в работах автора 1, 5, 15, 20, 24, 26, 28, 31, 36, 45, 47, 49, 53-56.

Точность радиационной оценки определяется точностью результатов измерений параметров, по которым оценивается радиационное состояние объекта in situ. В этом отношении оптимальными можно было бы считать полевые измерения, однако их погрешность обычно выше погрешности лабораторных измерений. Более того, критерий оценки (среднее значение и удвоенное СКО), рассчитывается без учета твердофазного состава (рис. 2), который в полевых условиях определить невозможно.

Главное условие точности лабораторных измерений, по результатам которых можно судить об объекте в его естественном состоянии – представительность счетного образца, т е. адекватность свойств счетного образца свойствам отобранной пробы и, в свою очередь, адекватность свойств отобранной пробы свойствам участка пробоотбора. Учитывая установленный в предыдущей главе факт радиационной неоднородности грунтов, почв и донных отложений, под представительностью счетного образца следует

понимать достоверное отражение неоднородности пробы, из которой он приготовлен.

Абсолютная представительность счетного образца недостижима. Более того, она нарушается даже при хранении и транспортировке пробы (Кузьмин Н.М., 1996), а процедуры пробоподготовки (механические, термические, химические) усиливают результат этих нарушений, приводя к трансформации измеряемых параметров. Так, измельчение пробы при исследованиях вещества методом инфракрасной спектроскопии уничтожает или маскирует проявление дефектов структуры минералов (Методы минералогических исследований, 1985). Кислотное воздействие на пробу при подготовке к проведению рентгеновского фазового анализа может привести к растворению межпакетных прослоек гидроксидов Fe и Al в почвенных хлоритах (Соколова Т.А., 2005).

Примером нарушения представительности является потеря летучих радионуклидов (Сапожников Ю.А., 2006), и полония при прокаливании пробы. Отжиг материала проб донных отложений при подготовке к измерениям нарушает исходный баланс радионуклидов (Габлин В.А., 2002).

Рядовой операцией подготовки пробы почвы к радиометрическим измерениям является ее измельчение с целью гомогенизации. В зависимости от характера распределения радиоактивности возможны следующие случаи.

Природная активность связана cприсутствием природных радионуклидов в минералах (KAlSi₃O₈,), либо в виде изоморфных примесей в их кристаллической структуре (радий в $BaSO_4$, уран и торий в $ZrSiO_4$). Природная активность является объемной, т. е. распределена по всему объему пробы, поэтому нет необходимости измельчать монокристаллические зерна. Радиометрическими измерениями проб грунта, каждая которых представлена максимально крупной природной фракцией, также полученными при ее истирании более тонкими фракциями, установлено, что закономерного изменения, в частности, увеличения измеренных значений $\Sigma \alpha$ и $\Sigma \beta$ при уменьшении размера фракций не происходит (табл. 6). (Значения $\Sigma \alpha$ < МДА в пробах 2 и 4 следует объяснить методической погрешностью).

Таблица 6. Удельная суммарная активности α- и β-излучающих радионуклидов (Бк/кг) для различных фракций грунта

puotentini		Σα				Σβ			
фракции,	проба	проба	проба	проба	проба	проба	проба	проба 4	
MM	1	2	3	4	1	2	3		
< 0,16	< 4	270±160	150±70	300±100	< 69	< 69	400±50	300±30	
0,16-0,25	< 4	< 4	440±140	300±100	< 69	900±60	400±40	600±50	
0,25-0,37	< 4	< 4	130±60	< 4	< 69	530±50	260±30	< 69	
0,37-0,5	< 4	60±40	500±160	440±140	< 69	540±50	430±40	440±40	
0,5-0,7		< 4	700±200	< 4		440±40	560±50	270±40	
0,7-0,8		200±80	130±60	300±100		330±40	500±50	300±40	
0,8-1		60±40	60±40	< 4		140±20	330±40	230±30	

- 2. Техногенная активность может быть обусловлена наличием «горячих частиц» отдельных частиц с высокой искусственной радиоактивностью (3,7 \cdot 10⁻¹ \div 3,7 \cdot 10² Бк) размером 0.01 \div 100 n мкм или их агрегатов (Бахур А.Е., 2008). Активные частицы, будучи измельченными, увеличивают площадь излучающей поверхности, а, следовательно, и отклик радиометра. Это в первую очередь относится к альфа-излучателям (Железнова Е.И., 1968).
- 3. Вторичная активность обусловлена локальным изменением в почвах концентраций радионуклидов и преимущественно сосредоточена в сорбционных пленках на поверхности зерен. Так, обработка обычного бурого песка 0,05м NH₂OH-HCl в 25 % НАс показала, что в раствор перешло 13 % ²²⁶Ra. Пробу со вторичной активностью также не следует переизмельчать, поскольку это приводит к перераспределению активности, сосредоточенной первоначально на поверхности зерен, по всему объему; при этом уменьшается отклик радиометра. Особенно критичной становится ситуация, если толщина пленки равна или больше длины пробега "d" альфа-частицы (рис. 4).

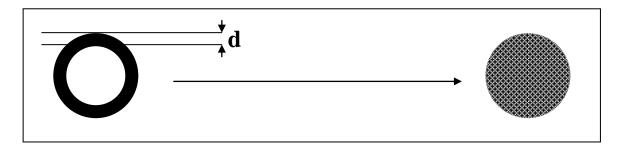


Рис. 4. Результат дробления зерна с активной поверхностной пленкой.

Тонкое измельчение пробы с целью гомогенизации или перевод ее в раствор (вскрытие) применяется в том случае, когда необходимо определить удельную активность в объеме пробы безотносительно к характеру распределения радионуклидов. Гомогенная проба непредставительна, поскольку отражает первичную неоднородность распределения радионуклидов. Результат измерения гомогенизированного материала не отражает фактическую удельную активность объекта in situ и не является основой радиационной оценки. Радиационная оценка по результатам радиометрических измерений гомогенизированной пробы является в общем случае смещенной. Для случаев 2 и 3 результаты измерений являются завышенными и заниженными, соответственно.

В любом из трех случаев измельчение пробы может увеличить выделение радона (Руководство по методам контроля за радиоактивностью окружающей среды, 2002) и вызвать повышение скорости счета альфа-частиц из-за накопления продуктов его распада на поверхности детектора.

Другой пример смещенной оценки по результатам измерений гомогенизированных счетных образцов показан в табл. 7. В лабораторию поступили четыре пробы почвы. Из каждой пробы к радиометрическим измерениям было подготовлено три гомогенных и один представительный счетный образец. Отклики радиометра различаются (выделено).

Таблица 7. Удельная суммарная активность альфа- и бета-излучающих радионуклидов, Бк/кг в четырех пробах московских почв, подготовленных к измерениям с учетом (А) и без учета (Б) радиационной гетерогенности

Номера	поромотр	Способ подготовки				
проб	параметр	A	Б1	Б2	Б3	
Л-1-5	Σα	460±120	380±110	310±90	310±90	
J1-1-3	Σβ	390±40	190±30	220±30	210±30	
Л-4-5	Σα	260±80	250±80	130±40	250±80	
J1-4-3	Σβ	610±60	210±30	190±30	230±30	
Л-11-5	Σα	340±100	310±90	380±110	250±80	
J1-11-3	Σβ	540±50	320±40	230±30	210±30	
C-10-5	Σα	380±110	130±40	190±60	190±60	
	Σβ	370±40	200±30	170±20	210±30	

Приведенные примеры, иллюстрируя особенности пробоподготовки и ее значимость как в аналитическом цикле, так и в общем комплексе мониторинговых работ, одновременно очерчивают круг факторов (рис. 5), определяющих точность радиационной оценки объекта окружающей среды.

Точность радиационной оценки Достоверность измерений Точность измерений Близость измеренных Близость результатов независимых измерений и истинных значений Неопределенности, связанные со Методические статистическим характером процесса неопределенности измерения, вероятностной природой нестохастической природы: излучения и негомогенностью непредставительности пробоотбора и пробоподготовки счетного образца Качество Надежность (воспроизводимость) измерений измерений Гомогенность Представительность счетного образца счетного образца Представительность

Рис. 5. Факторы точности радиационной оценки объекта окружающей среды (выделены факторы стадии пробоподготовки)

отобранной пробы

Как о правильности выполнения подготовки проб к измерениям, так и о точности радиационной оценки можно судить по количественному и качественному критериям, которые корреспондируются с неопределенностями стохастической и нестохастической природы, соответственно.

Количественный критерий надежность (воспроизводимость) измерений – характеризует степень близости результатов независимых измерений. Воспроизводимость достигается гомогенизацией, в первую очередь – измельчением проб. Степень гомогенности вещества пробы может повышаться до тех пор, пока не будет получена серия статистически неразличимых результатов измерений счетных образцов, приготовленных из одной исходной пробы с заданной вероятностью. Если вероятность требуется соответственно, повышается степень Воспроизводимость не имеет отношения к качеству измерений: при воспроизводимости измерительных установок со случайной погрешностью на уровне 0.1-0.5 %, можно получить результат измерения, отличающийся от истинного на 100 % и более («Радиация и патология», 2005).

Близость измеренного значения оцениваемой величины к истинному является качественным критерием. Показатель качества оценки – это возможность по измерению радиационного параметра в счетном образце, приготовленном из отобранной пробы, судить о величине этого параметра в из которой отобрана окружающей среде, проба. Качество обеспечивается представительностью. Наибольшая точность результата обеспечивается максимальной представительностью. Если имеются значимо различающиеся результаты измерений счетных образцов, приготовленных из одной и той же пробы, то ответить на вопрос, по которому из них можно оценить объект, можно, лишь зная содержание стадии пробоподготовки. Выбор делается в пользу результата измерения представительного счетного образца. Поэтому представительность является качественным критерием. Если она не обеспечена, показатели качества данных не имеют значения (Soil Sampling for Environmental Contaminants, 2004).

При использовании существующих методик гомогенность без нарушения представительности может быть достигнута только для однокомпонентных объектов или объектов, компоненты которых близки по значениям определяемых параметров. Как было показано выше, объекты радиолитомониторинга таковыми не являются.

Всеми методическими рекомендациями декларируется необходимость представительности счетного образца без указаний на способы ее обеспечения. При этом общепринятой является позиция, допускающая любые операции с пробой, если они обеспечивают повышение достоверности измерения — воспроизводимости его результата, которая является условием контрольных измерений. Между тем установлено, что в общем случае повышение воспроизводимости непредсказуемо изменяет степень представительности, приводя к получению неточного результата измерения, который не может являться основой радиационнной оценки. Поэтому так

важно создание методик, обеспечивающих представительность счетного образца наряду с воспроизводимостью измерений.

Теоретически оптимальный способ обеспечения представительности — разделение отобранной пробы на радиационно различающиеся компоненты, определение их соотношения и подготовка к измерениям счетного образца с таким же соотношением — «пропорционального» образца. Распределение активности по компонентам в отобранной пробе априорно неизвестно, но оно сохраняется в счетном образце при обеспечении его представительности.

должен представлять собой «пропорциональный» Минеральный состав грунта (а также почвы и донных отложений) тесно взаимосвязан с размером его зерен (Карпачевский Л.О., 2005). Зависимость от гранулометрического состава обнаруживает И химический (Пешковский Физические 1982). (плотность способность) и кристаллохимические свойства (изоморфная емкость) также зависят от химического и минерального состава. Таким образом, обеспечение представительности в пропорциональном гранулометрической образце позволяет говорить и о представительности других ее характеристик, простота определения гранулометрического относительная позволяет проводить его практически в любой ЛРК.

Итак, информация о вещественном (твердофазном) составе объекта позволяет обеспечить наибольшую представительность счетных образцов и — как следствие — максимальное качество результатов измерений, что является условием точной радиационной оценки этого объекта.

Так же важна и представительность отбираемых проб. По мнению специалистов ФГУП «РАДОН» она обеспечивается оптимальным выбором сети и методов отбора проб. Автором подразумевается, что пробы, на подготовке и измерениях которых основана настоящая работа, отобраны с соблюдением требования представительности.

Сравнение качества пробоподготовки грунта к радиометрическим измерениям выполнено на 40 пробах, отобранных в г. Москва. Счетные образцы готовились двумя способами: с обеспечением гомогенности и с обеспечением представительности. Поскольку участок пробоотбора по результатам многолетних наблюдений является радиационно безопасным, показателем качества считалась доля результатов измеренной активности, попадающих в поле фоновых значений. В полтора раза выше эта доля оказалась при измерении представительных счетных образцов.

При выполнении радиометрических измерений в рамках работы в качестве образца сравнения использовался порошковый образец равновесной урановой руды УР-768С (№ 483-74 в Госреестре), аттестованный на содержания 238 U, 226 Ra и 232 Th, а также 40 K. Кроме этого как образец сравнения использовался СОРН на основе природной почвы, который был создан совместно с сотрудниками Лаборатории изотопных методов анализа ФГУП «ВИМС» и аттестован на 18 радиационных параметров (табл. 8).

Этот не имеющий отечественных аналогов стандарт может быть использован при измерениях низкофоновых проб типичных почв, близких по

составу к тяжелосуглинистому и глинистому лессу, с относительно устойчивым радионуклидным составом. Стандарт (№ 40008.91099 в Госреестре) защищен патентом «Стандартный образец радионуклидного состава на основе природной почвы и способ его получения».

		1	1		
	удельная	погрешность,		удельная	погрешность,
радионуклид	активность,	%	радионуклид	активность,	%
	Бк/кг	при Р=0.95		Бк/кг	при Р=0.95
²³⁸ U	34.7	10	²¹⁰ Po	36.0	10
²³⁴ U	37.3	10	40 K	460.0	7
²³² Th	43.0	10	²³⁹⁺²⁴⁰ Pu	10.0	10
²³⁰ Th	50.0	15	²³⁸ Pu	< 0.5	-
²²⁸ Th	44.0	10	²⁴¹ Am	12.0	15
²²⁶ Ra	135.0	10	¹³⁷ Cs	30.0	7
²²⁸ Ra	36.4	15	⁹⁰ Sr	18.0	15
²²⁴ Ra	48.8	15	Σα	590	15
²¹⁰ Pb	36.0	10	Σβ	900	15

Таблица 8. Аттестованные значения радиационных параметров в СОРН

Таким образом, разработан комплекс требований к аналитическому циклу как условие несмещенной радиационной оценки объектов литомониторинга, включающий сохранение представительности посредством разделения пробы на радиационно различные твердофазные компоненты, которое исключает операции, влияющие на определяемые параметры, и повышение представительности посредством подготовки к измерениям пропорционального счетного образца, в котором доли этих компонентов соответствуют долям в отобранной пробе.

4. СОСТАВ ОБЪЕКТОВ РАДИОЛИТОМОНИТОРИНГА И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФОНОВОЙ РАДИОАКТИВНОСТИ КАК УСЛОВИЕ ТОЧНОЙ РАДИАЦИОННОЙ ОЦЕНКИ

Третье защищаемое положение: «Впервые теоретически обоснован, разработан и апробирован критерий радиационной оценки объектов литомониторинга — предельный уровень фоновой радиоактивности, учитывающий их радиационную гетерогенность и региональную радиационную специализацию». Существо защищаемого положения подробно раскрыто в работах автора 5, 6, 12, 15-17, 21, 23, 28, 30-32, 37, 39, 41, 43, 47-49, 53-55.

Как указывалось в главе 1, в городских условиях объекты литомониторинга подвергаются постоянному техногенному воздействию. Среди них наибольшее воздействие испытывают почвы. Следует отметить, что почвы изначально генетически неоднородны, поскольку в них сосуществуют минералы из различных питающих провинций (табл. 9).

О степени же техногенного изменения почв г. Москва можно судить по минеральному составу илистой фракции проб почв, отобранных в различных

округах г. Москва (табл. 10), который резко отличается от типичного состава подзолистой почвы (Соколова Т.А., 2005).

Таблица 9. Особенности м	минерального состава (%)	проб почв г. Москва
--------------------------	--------------------------	---------------------

проба минерал	0613	0711	0806	1006	1411
Магнетит		0,004	0,002	0,016	0,013
Кварц ожелезненный		75,796	0,011	57,226	21,073
Кремнистые образования и халцедон			0,444	0,680	1,548
Дистен		0,012	0,002		
Ставролит		0,029	0,004	0,005	0,013
Серпентин			0,551	0,314	0,598
Каолинит	1,506		0,551		1,195
Мусковит			0,444		
Гидрослюда	2,691	0,270		0,627	3,727
Глауконит		1,721			0,385
Монтмориллонит			2,202		
Фосфаты, в т. ч. апатит		0,004	0,444	0,005	0,385
Скородит	0,753				
Гипс	0,753				

Таблица 10. Минеральный состав (%) илистой фракции верхних горизонтов почв г. Москва и типичной подзолистой почвы Т

минералы	округ							an any 100			
миноразы	C3	В	В	C3	В	В	ЮВ	ЮЗ	Ю	среднее	T
Каолинит + хлорит	25	38	33	50	32	41	45	33	26	36	50
Иллит (+ слюды)	51	48	40	36	42	41	39	43	44	43	18
Вермикулит + монтмориллонит	24	14	27	14	26	18	16	24	30	21	32

Независимо от степени изменения объекта задачей его радиационной оценки является соотнесение измеренных параметров с нормативными значениями. Эту задачу применительно к Московскому региону решают упомянутые «Контрольные уровни...», регламентирующие предельные уровни радиоактивности природных объектов, в т. ч. грунтов, почв и донных отложений в г. Москва. Однако «Контрольные уровни...», будучи нормативным документом, рассчитаны без учета факторов, определяющих вариации радиоактивности природных объектов.

Одним из базовых в радиоэкологии является понятие радиационного фона — средние уровни радиоактивности, относительно устойчивые во времени и характерные для конкретного региона (Россман Г.И. и др., 2012). При этом выделяют естественный радиационный фон, технологически измененный естественный радиационный фон и фон глобальных выпадений.

Фон глобальных выпадений и радиоактивность выбросов АЭС объединены понятием искусственного радиационного фона (Василенко О.И.,

2004). О том, что под радиационным фоном понимается средний уровень радиоактивности, можно судить по выражению «районы с нормальным радиационным фоном» (Игнатов П.А., 2005).

В других контекстах радиационным фоном называется собственный фон измерительной аппаратуры и показания датчика автоматизированной системы контроля радиационной обстановки — сумма радиоактивности воздуха, почвы и строительного материала в точке установки датчика.

Отсутствие однозначной дефиниции термина «радиационный фон» не позволяет использовать его при радиационной оценке. Логичным является последовать принятой в геохимии практике, где региональный фон применяют для определения степени аномальности концентраций элементов, и использовать при радиационной оценке понятия фоновой радиоактивности и аномалии — уровни активности, не требующие и требующие проведения защитных мероприятий, соответственно. Необходимость радиационного нормирования почв, грунтов и донных отложений на значения геохимических фонов с разработкой соответствующих критериев оценки подчеркнута и в работах ФГУП «ВИМС» (Россман Г.И. и др., 2012).

Этот вопрос решается *на примере почв* с учетом всех факторов реальной и потенциальной радиоактивности. Их совокупность делится на группы детерминированных и недетерминированных факторов (рис. 6).



Рис. 6. Соотношение фоновой радиоактивности почв и подлежащего нормированию техногенного вклада на примере почв

Радиоактивность горных пород (субстрата, по которому развиваются почвы) как природный фактор зависит от известных региональных, в т. ч. радиогеохимических особенностей и известного состава; уровни радиоактивности, обусловленной глобальными выпадениями, также известны, как и скорость распада составляющих их радионуклидов; уровни

радиоактивности, обусловленной технологическими процессами, постоянно контролируются, как и уровни радиоактивности выбросов. Напротив, практически невозможно предсказать характер и масштабы, а, следовательно, и уровни радиационного воздействия на почву возможных ядерных взрывов или аварий, подобных чернобыльской.

Если радиоактивность, связанную с недетерминированными факторами, считать аномальной, а детерминированную радиоактивность – фоновой, то среди источников последней оказываются искусственные радионуклиды, т. е. радиоактивности ПОМИМО природной ОНЖОМ неопределенную долю техногенной, в т. ч. искусственной радиоактивности. Между тем, измерительная установка фиксирует отклик на суммарную природных и техногенных интенсивность излучения радионуклидов (например, удельную активность ²²⁶Ra в минеральной составляющей почвы и ²²⁶Ra, выпавшего на почву в составе зольной пыли при эксплуатации ТЭЦ), поэтому в общем случае значение величины измеренного параметра не может использоваться для радиационной оценки и радиационного нормирования: согласно НРБ нормируется лишь техногенная радиоактивность. Разделение активности на составляющие выполняется путем моделирования фоновых значений радиоактивности объекта окружающей среды, основанного на различной способности его компонентов к аккумуляции природных и техногенных радионуклидов. Последовательность действий такова.

- 1. Измеряют контролируемые (оцениваемые) радиационные параметры в представительных счетных образцах, и для каждой пробы определяют содержания компонентов (процедура изложена в главе 5).
- 2. Рассчитывают активности чистых компонентов с использованием известного метода наименьших квадратов применительно к косвенным измерениям. Для этого активность A_i і-ой пробы почвы (известную величину) представляют как сумму произведений активностей чистых компонентов a_j (неизвестные величины) на их долю d_j (известную величину) в общем объеме пробы. При массовых измерениях получают систему уравнений, записываемую в общем виде как

$$A_i = \sum_{i=1}^m d_{ij} a_j \tag{1}$$

Решая эту систему, получают единственное значение активности чистых компонентов проб.

3. Рассчитывают доверительный интервал — область фоновых значений радиационного параметра. При достаточно большом числе испытаний распределение активностей, полученных расчетным путем, подчиняется нормальному закону. Тогда математическое ожидание является оценкой активности того или иного компонента, а СКО определяет его доверительный интервал. Проба считается фоновой, если ее измеренная активность А не превышает доверительного интервала, определяемого из соотношения

$$A \leq \sum_{j=1}^{m} (a_j + f\sigma_j) d_j , \quad (2)$$

где: d_1 , d_2 , ..., d_j – содержания (относительные единицы) в пробе ее составляющих; a_1 , a_2 , ..., a_j – математические ожидания активностей чистых образов составляющих; σ_1 , σ_2 , ..., σ_j – СКО активностей чистых образцов составляющих; f = 1, 2, 3.

Измеренная активность счетного образца, сопровождающаяся указанием компонентного состава пробы, путем сравнения с доверительным интервалом методически корректно относится к фоновой или аномальной, что является основой радиационной оценки. Недетерминированным компонентом радиоактивности является величина превышения измеренной активности над фоновой (рис. 6), которая и подлежит нормированию.

Это принципиально новый подход, учитывающий сущностные, природные характеристики объекта.

Фоновая радиоактивность почвы определяется совокупностью а) природной радиоактивности, б) радиоактивности глобальных выпадений XX в. и в) радиоактивности контролируемых технологических процессов. Фоновая радиоактивность — это расчетная величина, которая не является фиксированной: она различна в разных регионах, зависит от состава почв, а также меняется во времени вследствие радиоактивного распада (90 Sr, 137 Cs и др.) и по мере роста технологической деятельности человека.

Таким образом, фоновая радиоактивность, будучи рассчитанной по предложенной модели, позволяет корректно выполнять интерпретацию результатов массовых измерений, включая радиационную оценку, и может использоваться при решении вопросов радиационного нормирования.

Методология оценки фоновой радиоактивности, базирующаяся на радиационных различиях твердофазных компонентов состава природных объектов, была апробирована на почвах г. Москва. По результатам радиометрических измерений и определений состава 134 проб почв, отобранных по опорной сети в 2002 году, была составлена система уравнений, при решении которой получены неизвестные величины в соотношении (2). Это соотношение приобрело вид для удельной суммарной активности α - и β -излучателей A (Γ к/кг), соответственно:

$$A \le (103+54f)x + (894+164f)y + (70+79f)z \tag{3}$$

$$A \le (110+31f)x + (1081+96f)y + (112+49f)z, \tag{4}$$

где x, y, z – содержание в пробе почвы песчаной, глинистой и органической составляющей, f – коэффициент при СКО, равный 2.

Проведено сравнение критериев радиационной оценки почв путем сопоставления вариантов интерпретации результатов измерений 2002 года.

Интерпретация по критерию суммы средней активности и удвоенного СКО выявила 16 проб, аномальных (выделено) по всем контролируемым параметрам за исключением $\Sigma\alpha$ (табл. 11). Использование в качестве критерия КУ позволяет отнести к аномальным (выделено) шесть проб: одну по

параметру 137 Cs и пять по параметру 232 Th (табл. 12). В соответствии с разработанным подходом все пробы являются фоновыми.

Таблица 11. Удельная активность проб почвы по отношению к критерию суммы средней активности и 2σ

N_0N_0	Радиационные параметры							
проб	¹³⁷ Cs	40 K	²²⁶ Ra	²³² Th	Σα	Σβ		
0202	4,9	570	27,4	40,5	499	395		
0207	< МДА	597	24,6	42,6	687	496		
0309	6,7	514	20,8	35,9	936	963		
0508	16,8	550	21,3	38,1	687	1017		
0509	6,1	504	23,0	40,2	811	908		
0710	17,2	415	15,6	23,5	562	600		
0712	17,0	344	13,4	18,6	437	590		
1114	17,3	290	12,4	13,2	312	506		
1213	16,8	271	13,4	13,1	687	501		
1310	9,6	628	29,1	43,2	375	625		
1311	16,6	370	21,4	20,5	437	447		
1315	19,4	263	8,1	12,4	624	491		
1514	< МДА	575	21,3	48,0	499	418		
1610	10,8	525	26,0	46,0	562	447		
1611	20,4	529	22,7	37,0	562	556		
1909	4,8	614	26,8	42,1	499	640		
Ā	6,9	373	15,4	21,8	613,0	463,2		
σ	4,7	104	5,2	10,0	611,2	197,6		
\bar{A} +2 σ	16,4	581	25,9	41,8	1835,4	858,4		

Таблица 12. Удельная активность проб почвы по отношению к критерию КУ

No No	Радиационные параметры								
проб	¹³⁷ Cs	40 K	²²⁶ Ra	²³² Th	Σα	Σβ			
0207	< МДА	597	24,6	42,6	687	496			
1310	9,6	628	29,1	43,2	375	625			
1514	< МДА	575	21,3	48,0	499	418			
1610	10,8	525	26,0	46,0	562	447			
1611	20,4	529	22,7	37,0	562	556			
1909	4,8	614	26,8	42,1	499	640			
КУ	20	800	30	40	не рассчитывались	1200			

Два первых варианта — это еще один пример смещенной (завышенной) оценки радиационной опасности. Как и в первом примере (стр. 22-23), к смещению привело игнорирование факта неравномерного распределения радионуклидов в почве.

Традиционная модель верхней границы фоновых значений радиационного параметра представляет собой *плоскость*, отстоящую от *всех* точек пробоотбора на высоту, численно равную сумме среднего значения этого параметра и удвоенного СКО. Применяться такая модель может лишь к однородным объектам. Доказанная радиационная неоднородность объектов

литомониторинга приводит к необходимости использования принципиально иной модели. Эта модель в физическом смысле является поверхностью, каждая точка которой удалена от нулевого значения радиационного параметра на расстояние, численно равное предельному фоновому значению Предельное значение (верхняя параметра. граница рассчитывается отдельно для каждой точки опробования по соотношению (2), которое является математическим выражением модели. Ее графическим выражением являются карты предельных фоновых значений радиационных параметров. Такие карты составлены для почв г. Москва (рис. 7-11). Эти карты являются своего рода отражением вещественного состава почв: участки с повышенными фоновыми активностями сложены почвами с преобладанием глинистого (рис. 12) и органического (рис. 13) компонентов.

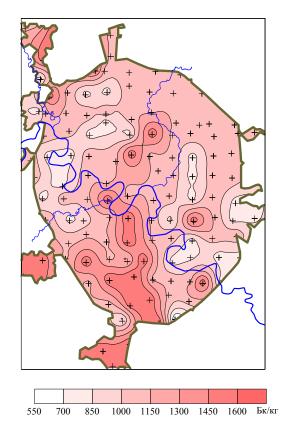


Рис. 7. Верхняя граница фоновых значений Σα, Бк/кг в почвах г. Москва.

Карты не связаны с литологической картой Москвы вследствие высокой степени техногенного изменения верхнего слоя почв, о чем говорилось выше.

Оценка связи радиационных параметров с содержанием элементов показала значимые корреляции 40 K с Cs (0,45) и Rb (0,68), 226 Ra с Fe (0,30÷0,46) и Sr (0,30÷0,50), 232 Th с Fe (0,39÷0,54). Характерны также значимые корреляции 226 Ra и 232 Th с Y и Zr (0,49÷0,68).

Не противоречат этим данным и оценки связи содержаний элементов с содержаниями компонентов вещественного состава. Содержания Fe, Sr, Rb, Cs, Y, Zr, Nb, U отрицательно коррелируют с содержанием песка. Значимо положительно коррелируют с содержанием глины Fe, Sr, Cs, Rb, Y, Zr (0,29÷0,49), а с содержанием органического вещества – U, Th, Nb (0,39÷0,58).

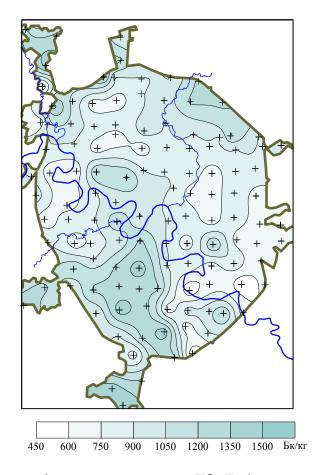


Рис.8. Верхняя граница фоновых значений $\Sigma \beta$, Бк/кг в почвах г. Москва.

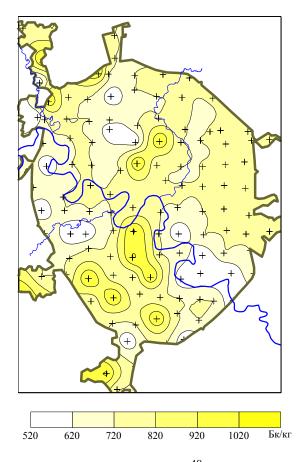


Рис. 9. Верхняя граница фоновых значений 40 K, Бк/кг в почвах г. Москва.

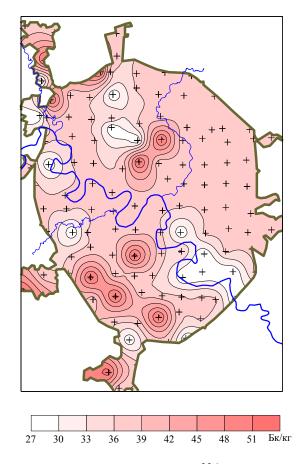


Рис. 10. Верхняя граница фоновых значений 226 Ra, Бк/кг в почвах г. Москва.

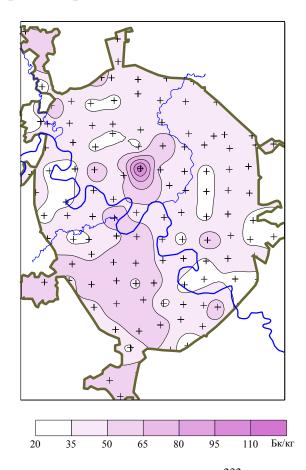


Рис. 11. Верхняя граница фоновых значений 232 Th, Бк/кг в почвах г. Москва.

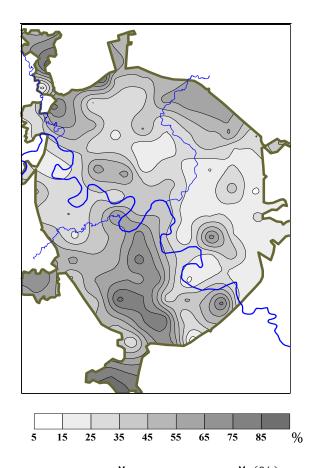


Рис. 12. Содержание глинистой составляющей (%) в почвах г. Москва.

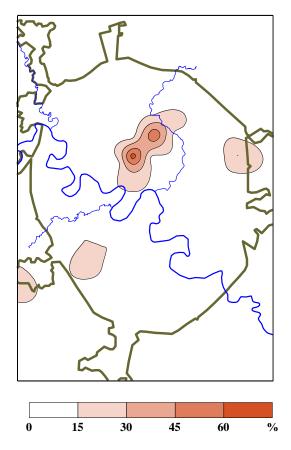


Рис. 13. Содержание органической составляющей (%) в почвах г. Москва.

Карты предельных фоновых значений радиационных параметров описывают почвы как трехкомпонентные системы. Аналогом такого описания грунтов как двухкомпонентных систем является зависимость, приведенная на рис. 2.

На рис. 14 представлена карта удельной суммарной активности β-излучающих радионуклидов. Нетрудно заметить, что зоны повышенной активности близки к тем участкам карты, построенной по предложенной модели (рис. 8), где верхняя граница фона выше.

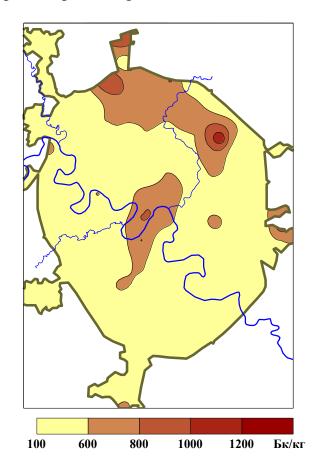


Рис. 14. Карта изолиний $\Sigma \beta$, $Б \kappa / \kappa \Gamma$ в почвах Γ . Москва

Приведенные результаты получены на пробах почв г. Москва с определением содержания трех компонентов. Однако вероятны ситуации, когда на конкретной площади в грунтах потребуется определять помимо песчаной и глинистой фракций также пылеватую, или в донных отложениях определять раздельно органическое вещество гумусового и сапропелевого состава. В таких случаях следует оснастить лабораторию необходимым оборудованием для производства соответствующих определений.

Модель фоновой радиоактивности защищена патентом «Способ определения радиационного фона почв при проведении радиоэкологического мониторинга промышленного региона».

Таким образом, создан критерий радиационной оценки объектов литомониторинга — предельные уровни фоновой радиоактивности. Критерий позволяет корректно выполнять интерпретацию результатов массовых

измерений и может использоваться при решении вопросов радиационного нормирования.

5. ПОДГОТОВКА ПРОБ ОБЪЕКТОВ ЛИТОМОНИТОРИНГА К ИЗМЕРЕНИЯМ РАДИАЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ

Четвертое защищаемое положение: «Теоретически обоснована и разработана не имеющая аналогов технология подготовки к радиационным измерениям проб объектов литомониторинга, обеспечивающая их радиационную оценку на базе достоверных и точных результатов измерений». Существо защищаемого положения подробно раскрыто в работах автора 6, 8, 9, 14-16, 28, 31, 33, 35, 36, 51, 53.

При анализе объектов окружающей среды именно подготовка проб определяет надежность и качество получаемых результатов. Надежность и качество результатов, как показывает опыт работ, проводимых в Радиационно-аналитическом экспертном центре ФГУП «РАДОН», можно повысить включением в стадию пробоподготовки ряда операций.

До настоящего времени подготовка твердых сыпучих (грунт, почва, донные отложения) проб к радиационным измерениям представляет собой стандартный регламент, состоящий в последовательном высушивании, гомогенизации и сокращении пробы. Предполагается, что следование регламенту обеспечивает получение достоверного и точного результата измерения. Выше было доказана необоснованность этого предположения и необходимость оптимизации стадии пробоподготовки как условия получения такого результата.

Отобранные пробы донных отложений, почвы и грунта содержат воду. Между тем, методиками радиационных измерений, как правило, предписано измерение сухих проб. Поэтому проба высушивается, теряя бо́льшую часть воды (кроме прочносвязанной). На примере донных отложений установлено, что в интервале влажности до 32 % результаты измерений счетных образцов, подготовленных с высушиванием и без него, статистически равнозначны.

Представительность пробы может нарушаться за счет потери газовой составляющей, в частности, за счет вызывающего нарушение радиоактивного равновесия эманирования радона (и торона). В лабораторных условиях радийрадоновое равновесие устанавливается путем герметизации счетного образца.

Под гомогенностью пробы понимается такое ее состояние, при котором результаты измерений регламентированного количества вещества, взятого из любой части исходной пробы, являются статистически равнозначными. Если целью гомогенизации пробы в принятом смысле является доведение ее до однородной массы равных по размеру тонких частиц, то для приготовления представительного счетного образца проба, как указывалось, дезагрегируется до размера зерен и их обломков.

Сокращение состоит в последовательном доведении материала пробы до массы, равной массе счетного образца, регламентированной методиками измерений. Применение все более совершенных приемов сокращения

(Gerlach R.W., 2002) обусловлено пониманием изначальной гетерогенности отобранной пробы и целью эту гетерогенность сохранить, обеспечив представительность счетного образца правильным сокращением. Защищаемый же подход утверждает, что представительность достигается разделением материала с последующим формированием пропорционального образца, и предполагает, что получаемые при разделении пробы компоненты гомогенны по отношению к определяемым параметрам, поэтому процедура сокращения определяется набором максимально удобных для исполнителя операций. Практика показывает, что большие массы проб рационально сокращать с использованием рифленого прободелителя. Однако при массах 150÷200 г и менее происходят заметные потери тонкого материала, поэтому дальнейшее сокращение проводится методом квартования.

Любой методике присущи ограничения области применения. Главные причины ограничений для методик радиационного контроля — специфика анализируемых объектов, набор определяемых радиационных параметров, диапазон их активностей и особенности измерительных установок.

Потребность в унификации аналитических работ с целью получения статистически равнозначных результатов в различных лабораториях радиационного контроля вызывают необходимость разработки технологической схемы с наиболее широкой областью применения.

Особенностью разработанной технологии пробоподготовки (рис. 15) является определение компонентного состава пробы, выполняемое после проведения измерений. Органическое вещество тесно связано с глинистым, и выделение его весьма трудоемко. Поэтому пропорциональность счетного образца достижима лишь в результате смешивания тонкой (глина + органическое вещество) и грубой (песок + органическое вещество) фракций. Количество органического вещества во фракциях неизвестно, однако распределение его в пропорциональном счетном образце и в исходной пробе одинаковы.

Главным недостатком пропорционального образца является гетерогенность. В самом деле, это смесь фракций, отличающихся по размеру зерен и плотности. При радиометрических измерениях такого образца неопределенность, вызываемая гранулометрической возникают: дифференциацией, когда при выравнивании поверхности счетного образца более крупные частицы оказываются в верхнем его слое и экранируют излучение тонких фракций, находящихся в нижних слоях; б) ошибка расчета удельной активности вследствие разной плотности материала образца. Во избежание этих ошибок необходимо выполнить столько измерений, сколько Поэтому в предлагаемой гомогенных фракций содержится в пробе. технологии подготовленная к измерениям проба представляет собой два счетных образца – фракции < 0.0625 мм и фракции 0.0625-2 мм, а ее суммарная удельная активность рассчитывается как

$$A = A_n c + A_2 (1 - c),$$
 (5)

ПОДГОТОВКА И ИЗМЕРЕНИЕ ПРОБЫ исходная проба высушивание при 105° С в течение 6 ч. и удаление инородных примесей (стекло, кирпич, щепки и др.) классификация 1 класс < 2 мм (обломки зерен класс > 2 мм (поликомпонентные агрегаты и песка и глины, фрагменты инородные примеси): аккуратное растирание с органического вещества, ситованием до полного прохождения через сито 2 мм поликомпонентные агрегаты) и удаление инородных примесей объединение классов < 2 мм аккуратное измельчение под контролем оптической микроскопии с целью полностью раскрыть тонкие частицы и одновременно избежать дробления крупных частиц масса то класс 0.0625-2 мм классификация 2 класс < 0.0625 мм песок с органикой глина с органикой macca m₁ macca m₂ определение доли класса 0.0625-2 мм в пробе по формуле сокращение до сокращение до массы, равной массе массы, равной массе счетного образца счетного образца измерение удельной измерение удельной суммарной активности A_n суммарной активности A_{ε} расчет удельной суммарной активности по формуле $A = A_n c + A_2 (1 - c)$ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТВЕРДОФАЗНОГО СОСТАВА сокращение m_1 до массы m = 25 - 50 г сокращение m_2 до массы m = 25 - 50 г отжиг при 500° С в течение отжиг при 500° С в течение 6 – 6.75 ч. и взвешивание 6 - 6.75 ч. и взвешивание класс 0.0625-2 мм класс < 0.0625 мм песок без органики масса тз глина без органики масса т4 определение доли песка по формуле определение доли глины по формуле $\varepsilon = \frac{m_2 m_4}{m_0 m}$ определение доли органики по формуле $o = 1 - (n + \varepsilon)$

Рис.15. Технология подготовки и измерения проб объектов радиолитомониторинга.

где A_n и A_c — измеренные значения удельной суммарной активности крупной и тонкой фракций, соответственно, c — массовая доля крупной фракции в пробе.

Доля органического вещества определяется после измерения по разности масс при взвешивании пробы до и после отжига, а доли глины и песка определяются взвешиванием фракций после расситовки отожженной массы.

Реализация технологии обеспечивает как представительность, так и гомогенность счетного образца: измеряются гранулометрически гомогенные фракции с различающимися радиационными параметрами, а расчетная формула (5) описывает представительный счетный образец.

Принципиально важным является следующее. Удаление инородных примесей (рис. 15) выполняется только при моделировании верхней границы фоновых значений. При подготовке реальных проб эти примеси обязательно должны учитываться как потенциальный источник техногенной активности.

Таким образом, технология пробоподготовки объектов радиолитомониторинга решает задачу получения представительной и гомогенной пробы, что обеспечивает наиболее достоверный и точный результат измерений как важнейшее требование радиационной оценки. Технология является доступной, недорогой и универсальной: она применима для подготовки проб к выполнению любых инструментальных радиационных измерений. Достоинство технологии состоит в том, что она, несмотря на сложность, обеспечивает получение информации о вещественном составе пробы, что является основой определения фоновых для конкретного региона значений радиационных параметров объекта окружающей среды.

Технология разработана по результатам исследований реальных и модельных проб Москвы и Московской области и может успешно применяться в Московском регионе.

При возможности и/или необходимости технологию можно упростить. Так, выполнение операций измельчения и ситования перед проведением гамма-спектрометрических измерений можно оставить на усмотрение ЛРК, поскольку при использовании этого метода для сохранения характера распределения радионуклидов в счетном образце достаточно правильного сокращения. Однако, если для радиационной оценки почв на данной территории параметры $\Sigma \alpha$ и $\Sigma \beta$ являются неинформативными, указанные операции являются необходимыми; именно их выполнение позволяет получить информацию о вещественном составе, необходимую для расчета фоновых значений активности отдельных радионуклидов. Если известно, что верхний 5-сантиметровый слой, из которого отбирается проба, не содержит органического вещества, исключается стадия озоления.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате многолетних исследований по теме «Радиационная оценка объектов литомониторинга на урбанизированных территориях. Теория и методы» получены следующие основные выводы и результаты.

- 1. Обоснована необходимость разработки критерия радиационной оценки грунтов, почв и донных отложений.
- 2. Установлено, что каждый из объектов литомониторинга характеризуется радиационными различиями слагающих его твердофазных компонентов. Установлена необходимость учета этих различий для корректной интерпретации результатов массовых радиационных измерений.
- 3. Обоснованы и разработаны требования к аналитическому циклу, которые обеспечивают сохранение характера первичного распределения радионуклидов в пробах грунтов, почв и донных отложений и максимальную представительность счетных образцов как определяющего условия радиационной оценки этих объектов.
- 4. Научно обоснована, разработана и апробирована на почвах г. Москва модель расчета фоновой радиоактивности грунтов, почв и донных отложений, учитывающая вариации их состава и региональные радиационные особенности. Установлено, что фоновая радиоактивность, обеспечивая корректную интерпретацию результатов массовых радиационных измерений, является критерием радиационной оценки и может использоваться при радиационном нормировании.
- 5. Разработана технология подготовки к измерениям радиационных параметров проб грунтов, почв и донных отложений, позволяющая определить их твердофазный и радионуклидный состав как основу расчета фоновой радиоактивности.
- 6. Результаты исследований позволяют оптимизировать аналитический цикл радиолитомониторинга для последующего внедрения его в практику производственных организаций, в первую очередь в рядовые лаборатории радиационного контроля.

ПЕЧАТНЫЕ РАБОТЫ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

- 1. Габлин В.А. О крупности зерен при пробоподготовке грунтов в радиоэкологическом мониторинге. АНРИ, 1999, № 1. С. 60-62.
- 2. Габлин В.А., Вербова Л.Ф., Соболев А.И. О зависимости суммарной альфа- и бета-активности грунтов от их гранулометрического состава. АНРИ, 1999, № 3. С. 35-39.
- 3. Габлин В.А. О классификации дисперсных грунтов в радиоэкологических исследованиях. АНРИ, 1999, № 4. С. 27-30.
- 4. Ефимов К.М., Бахур А.Е., Салмин Ю.П., Малышев В.И., Соболев А.И., Тихомиров В.А., Габлин В.А. и др. Стандартный образец радионуклидного состава на основе природной фоновой почвы (СОРН-ФП). АНРИ, 1999, № 4. С. 31-36.
- 5. Габлин В.А. Оптимизация методов подготовки проб грунта при радиоэкологических исследованиях // В сб. Охрана окружающей среды и обращение с радиоактивными отходами научно-промышленных центров: Итоги научной деятельности МосНПО «Радон» за 1998 г. В 2 т. Под общ. ред. И.А. Соболева / Составители Е.А. Турлак, О.Г. Польский, С.П.

- Колотушкина, К.М. Ефимов; Научн. ред. С.А. Дмитриев. М., Ин-т эколого-технологических проблем, 1999. Т. 2. С. 96-99.
- 6. Габлин В.А., Беланов С.В., Гонтарь И.Д., Савранская Е.Б. К проблеме фона в радиоэкологических исследованиях. АНРИ, 2000, № 2. С. 19-22.
- 7. Бахур А.Е., Габлин В.А., Ефимов К.М., Соболев А.И., Тихомиров В.А. Стандартный образец радионуклидного состава на основе природной почвы и способ его получения. Патент на изобретение № 2157518, 2000.
- 8. Габлин В.А. Оптимизация методов подготовки проб почв при радиоэкологических исследованиях // В сб. Охрана окружающей среды и обращение с радиоактивными отходами научно-промышленных центров: Итоги научной деятельности МосНПО «Радон» за 1999 г. В 2 т. Под общ. ред. И.А. Соболева / Составители Е.А. Турлак, О.Г. Польский, С.П. Колотушкина, К.М. Ефимов; Научн. ред. С.А. Дмитриев. М., Ин-т эколого-технологических проблем, 2000. Т. 2. С. 126-128.
- 9. Габлин В.А., Беланов С.В., Маслов Ю.А., Савранская Е.Б., Мелиховская Т.Р., Вербова Л.Ф. Оптимизация подготовки проб почв при радиоэкологических исследованиях. АНРИ, 2001, № 1. С. 16-26.
- 10. Габлин В.А., Беланов С.В., Маслов Ю.А., Мелиховская Т.Р., Савранская Е.Б., Вербова Л.Ф., Бахур А.Е. Оптимизация пробоподготовки растительности в радиационном мониторинге. АНРИ, 2001, № 3. С. 66-69.
- 11. Габлин В.А., Ефимов К.М., Соболев А.И., Тихомиров В.А. Изготовление стандартного образца радионуклидного состава на основе фоновой почвы. Второй Международный Сибирский геоаналитический семинар. Тезисы докладов. Иркутск, 2001. С. 23-24.
- 12. Габлин В.А., Вербова Л.Ф., Соболев А.И. Определение радиационного фона почвы при радиоэкологическом мониторинге. Там же. С. 127-128.
- 13. Габлин В.А. Оптимизация методов подготовки проб растительности при радиоэкологических исследованиях. // В сб. Охрана окружающей среды и обращение с радиоактивными отходами научно-промышленных центров: Итоги научной деятельности МосНПО «Радон» за 2000 г. В 2 т. Под общ. ред. И.А. Соболева / Составители К.М. Ефимов, С.П. Колотушкина, Е.А. Турлак. Научн. ред. А.С. Баринов, С.А. Дмитриев, О.Г. Польский. М.: РАДОН-ПРЕСС, 2001. Т. 2. С. 100-103.
- 14. Методика измерения суммарной α- и β-активности радионуклидов в гранулометрически охарактеризованных пробах грунта / Руководство по методам контроля за радиоактивностью окружающей среды / под ред. И.А. Соболева, Е.Н. Беляева. М.: Медицина, 2002. С. 203-209.
- 15. Габлин В.А., Вербова Л.Ф., Беланов С.В. Оптимизация пробоподготовки донных отложений в радиационном мониторинге. АНРИ, 2002, № 4. С. 50-57.
- 16. Габлин В.А. Оптимизация методов подготовки проб донных отложений при радиоэкологических исследованиях // В сб. Охрана окружающей среды и обращение с радиоактивными отходами научно-промышленных центров: Итоги научной деятельности МосНПО «Радон» за 2001 г. В 2 т. Под общ. ред. И.А. Соболева / Составители К.М. Ефимов, С.П.

- Колотушкина, Е.А. Турлак. Научн. ред. А.С. Баринов, С.А. Дмитриев, О.Г. Польский. М.: РАДОН-ПРЕСС, 2002. Вып. 9. Т. 2. С. 72-75.
- 17. Габлин В.А., Вербова Л.Ф., Соболев А.И. Способ определения радиационного фона почв при проведении радиоэкологического мониторинга промышленного региона. Патент на изобретение № 2209445, 2003.
- 18. Габлин В.А. Изучение форм нахождения радионуклидов в экологических средах // В сб. Охрана окружающей среды и обращение с радиоактивными отходами научно-промышленных центров. Труды ГУП МосНПО «Радон»: Итоги научной деятельности ГУП МосНПО «Радон» за 2002 г. В 2 т. Под общ. ред. И.А. Соболева / Составители К.М. Ефимов, Е.А. Турлак. Научн. ред. А.С. Баринов, С.А. Дмитриев, О.Г. Польский. М.: РАДОН-ПРЕСС, 2003. Вып. 10. Т. 2. С. 45-48.
- 19. Габлин В.А., Вербова Л.Ф., Соболев А.И. и др. Способ радиоэкологического мониторинга почв, грунтов и донных отложений. Патент на изобретение № 2223518, 2004.
- 20. Gablin V. Grain size in radiometric measurements of ground. NORM-IV. International Conference: Naturally occurring radioactive materials. Szczyrk, Poland, May 16-21, 2004. P. 413-416.
- 21. Gablin V., Verbova L., Sobolev A. Model of radioactive background of solid environmental subjects. ECORAD–2004. International conference: The scientific basis for environment protection against radioactivity. Aix-en-Provence, France, September 6-10, 2004. P 5/05.
- 22. Габлин В.А. О минералах в радиолитомониторинге. Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека. Материалы II Международной коференции. Томск, 18-22 октября 2004 г. С. 130-133.
- 23. Габлин В.А., Вербова Л.Ф., Соболев А.И., Парамонова Т.И. Состав почв как средство определения радиационного фона и элемент базы данных. Известия вузов, Геология и разведка, 2004, № 4. С. 61-67.
- 24. Габлин В.А. Состав проб объектов радиолитомониторинга и их подготовка к измерениям радиационных параметров. Часть 1. Сборник материалов одиннадцатого ежегодного семинара «Спектрометрический анализ. Аппаратура и обработка данных на ПЭВМ», 22-26 ноября 2004 г. В 2-х ч. Обнинск, ФГОУ «ГЦИПК», 2005. С. 179-182.
- 25. Габлин В.А., Вербова Л.Ф., Соболев А.И. Состав проб объектов радиолитомониторинга и их подготовка к измерениям радиационных параметров. Часть 2. Там же. С. 183-186.
- 26. Габлин В.А. О требованиях к пробоподготовке в радиолитомониторинге. Труды XI Международнародного экологического симпозиума «Урал атомный, Урал промышленный». ИПЭ УрО РАН, Екатеринбург, 2005. С. 22-24.
- 27. Габлин В.А., Ермаков А.И., Каширин И.А., Соболев А.И., Беланов С.В. и др. Сравнительная оценка результатов измерений радиационных параметров грунтов и почв с участков радиационного загрязнения. АНРИ, 2005, № 1. С. 49-55.

- 28. Габлин В.А. Особенности подготовки проб донных отложений к измерениям и интерпретации их результатов в радиационном мониторинге. Семинар «Приборно-методическое обеспечение радиационного контроля воды». ГРОЦ, ЦИКВ, С.-Петербург, 14-18 июня 2005.
- 29. Gablin V., Verbova L., Lashchyonova T. Necessity of mineralogical investigations in radiolithomonitoring. ICEM-05. The 10th International Conference on Environmental Remediation and Radioactive Waste Management. Glasgow, Scotland, 4-8 September 2005. P. 89.
- 30. Gablin V. Composition and radioactivity of soil. Ibid. P. 89.
- 31. Габлин В.А. К методике радиолитомониторинга урбанизированных территорий. В кн.: Городские грунты и техногенез. Экология и геоэкология городских агломераций. М.: ВИМС, 2006. С. 98-108.
- 32. Габлин В.А., Митронова Ю.Н. К вопросу о радиационном фоне почвы. В кн.: Современные проблемы почвоведения и экологии: Сб. статей. Ч. 2. Йошкар-Ола: МарГТУ, 2006. С. 20-24.
- 33. Габлин В.А., Вербова Л.Ф. К вопросу о представительности счетных образцов. АНРИ, 2006, № 4. С. 40-42.
- 34. Габлин В.А. Об оценке радоновыделения из почвы и строительных материалов при проведении радиоэкологического мониторинга. VIII Международная конференция «Новые идеи в науках о Земле». Доклады. РГГРУ, 10-13 апреля 2007 г. Москва. 2007. Т. 7. С. 242-245.
- 35. Габлин В.А. Оптимизация подготовки проб грунтов, почв и донных отложений к измерениям радиационных параметров. Известия вузов, Геология и разведка, 2007, № 1. С. 45-50.
- 36. Габлин В.А. Состав проб грунтов, почв и донных отложений и достоверная оценка радиационной ситуации на урбанизированных территориях. Экология урбанизированных территорий. 2007, № 1, с. 81-88.
- 37. Габлин В.А. О роли изучения вещественного состава почв при радиоэкологическом мониторинге урбанизированных территорий // Экологические проблемы индустриальных мегаполисов. Сборник трудов IV Международной научно-практической конференции / под ред. М.Г. Бернгартена, В.В. Бирюкова, С.И. Вайнштейна, Н.И. Гданьского, А.М. Гонопольского, Н.Е. Николайкиной, С.В. Орлова М.: МГУИЭ, 2007. С. 37-41.
- 38. Соболев А.И., Габлин В.А., Вербова Л.Ф., Митронова Ю.Н., Клюшина Д.А., Ефимова Е.К., Жунов И.К. Выработка подхода к выводу из-под контроля участков с повышенным уровнем радиации по результатам радиационных измерений. АНРИ, 2007, № 3. С. 43-46.
- 39. Gablin V. Soils: man-caused radioactivity and radiation forecast. ICEM-07. The 11th International Conference on Environmental Remediation and Radioactive Waste Management. Bruges, Belgium, 2-6 September 2007. Abstracts, p. 62.

- 40. Габлин В.А., Рогалис В.С. К вопросу о радиоактивности строительных и отделочных материалов / Экология и гигиена помещений Московского региона. Сборник трудов постоянно-действующего научно-практического семинара. Вып. 3 (2005-2007 гг.). М.: МГУИЭ, 2007. С. 96-108.
- 41. Габлин В.А. Состав проб грунтов, почв и донных отложений и достоверный прогноз радиационной ситуации на урбанизированных территориях. Экология урбанизированных территорий. 2007, № 4, с. 95-101.
- 42. Габлин В.А. О радиационных параметрах компонентов почв, грунтов и донных отложений. Известия вузов, Геология и разведка, 2008, № 1. С. 57-61.
- 43. Габлин В.А. Состав проб грунтов, почв и донных отложений и оценка вклада техногенной составляющей в радиоактивность урбанизированных территорий. Экология урбанизированных территорий. 2008, № 1, с. 87-96.
- 44. Рогалис В.С., Полищук И.И., Габлин В.А., Митронова Ю.Н. Еще раз о проблеме радона и его мониторинге. Геофизический вестник, 2009, № 2. С. 13-17.
- 45. Gablin V. Sample preparation in radiation monitoring: reproducibility of measurements or representative sample? IRPA 12. The 12th International Congress of the International Radiation Protection Association. Buenos Aires, Argentina, 19/24 October 2008.
- 46. Габлин В.А., Рогалис В.С., Федина Е.В., Парамонова Т.И., Габриелян С.В., Митронова Ю.Н. О радиационной безопасности населения в помещениях. Экология урбанизированных территорий. 2010, № 2, с. 43-47.
- 47. Габлин В.А. Оценка радиационного состояния почвы на урбанизированных территориях. Генезис, география, классификация почв и оценка почвенных ресурсов: материалы науч. конф., посвящ. 150-летию со дня рождения Н.М. Сибирцева (14-16 сент. 2010 г.): VIII Сибирцев. чтения. Архангельск: КИРА, 2010. С. 302-306.
- 48. Габлин В.А., Парамонова Т.И., Вербова Л.Ф., Габриелян С.В., Митронова Ю.Н. Состав почв и вопросы радиационного нормирования. Известия вузов, Геология и разведка, 2010, № 6. С. 62-67.
- 49. Габлин В.А., Габриелян С.В., Митронова Ю.Н. К вопросу о нормировании радиоактивности почв / Современное состояние и перспективы ведения лесного хозяйства на загрязненных радионуклидами землях: материалы международной научно-практической конференции, Гомель, 26-28 апреля 2011 г. / Институт леса НАН Беларуси, 2011. С. 173-177.
- 50. Габлин В.А., Большаков М.О., Говорова Л.В., Шанин С.О., Логинова А.И. О погрешностях при проведении мониторинга природных сред. Экология и геологические изменения в окружающей среде северных регионов: Материалы докл. Всероссийской конференции с международным участием. (24-28 сентября 2012 года). Архангельск, 2012. С. 48-51.
- 51. Габлин В.А. Разработка методики подготовки представительных счетных образцов к проведению радиационных измерений низкоактивных проб

- грунтов, почв и донных отложений // В сб. Охрана окружающей среды и обращение с радиоактивными отходами научно-промышленных центров. Труды ГУП МосНПО «Радон»: Итоги научной деятельности за 2009 г. / Под общей редакцией О.К. Карлиной. М.: ООО «ИБДГ», 2012. Вып. 17. С. 65-68.
- 52. Габлин В.А. Отработка методических указаний по отбору проб почв и расчету погрешностей пробоотбора при проведении радиоэкологического мониторинга г. Москва. Оценка совокупности погрешностей при проведении радиоэкологического мониторинга почв и обращение грунтов // В сб. Охрана окружающей среды радиоактивными отходами научно-промышленных центров. Труды ГУП МосНПО «Радон»: Итоги научной деятельности за 2010-2011 гг. / Под общей редакцией О.К. Карлиной. М.: ООО «IBDG», 2012. Вып. 18. С. 119-122.
- 53. Василий Габлин. Радиационная оценка объектов литомониторинга. Теория и методы. ISBN: 978-3-659-38751-7. LAMBERT Academic Publishing, Saarbrüken, Deutschland, 2013. 188 с.
- 54. В. А. Габлин. Радиационная оценка почв в пределах урбанизированных территорий // Геоэкология, 2013, № 5. С.426-430.
- 55. Габлин B.A., Вербова Л.Ф., Т.И. Парамонова O проблемах аналитического цикла при радиационной оценке почв / Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека: материалы IV Международной конференции (Томск, 4-8 июня 2013 г.); Томский политехнический университет. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2013. – С. 135-138.
- 56. Габлин В.А. О минералах при радиационной оценке почв в пределах урбанизированных территорий / Геохимия и минералогия геоэкосистем крупных городов. Материалы международной конференции. СПб.: Издво ВВМ, 2013. С. 13-15.
- 57. Василий Габлин. Радиационная оценка. Некоторые проблемы метрологии при радиационном мониторинге природных объектов. ISBN: 978-3-659-51432-6. LAMBERT Academic Publishing, Saarbrüken, Deutschland, 2014. 52 с.