МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени М.В. ЛОМОНОСОВА

ФАКУЛЬТЕТ ПОЧВОВЕДЕНИЯ

Д. В. Манахов,
Д. Н. Липатов,
А. И. Щеглов

ПРАКТИКА ПО РАДИОЭКОЛОГИИ

Учебное пособие для студентов факультета почвоведения МГУ

МОСКВА
2018

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени М. В. ЛОМОНОСОВА
Факультет почвоведения

Д. В. Манахов, Д. Н. Липатов, А. И. Щеглов

ПРАКТИКА ПО РАДИОЭКОЛОГИИ

Учебное пособие для студентов факультета почвоведения МГУ

МАКС ПРЕСС

Москва – 2018

УДК 504.064
ББК 20.18
П69

Рекомендовано Учебно-методической комиссией факультета почвоведения МГУ имени М. В. Ломоносова в качестве учебного пособия для студентов факультета, обучающихся по стандартам МГУ, по направлению подготовки 05.03.06 «Экология и природопользование»

Рецензенты:

С. П. Торшин – д-р биол. наук, проф., зав. кафедрой агрономической, биологической химии и радиологии РГАУ-МСХА имени К. А. Тимирязева;

В. М. Гончаров – д-р биол. наук, проф. кафедры физики и мелиорации почв факультета почвоведения МГУ имени М. В. Ломоносова

Манахов Д. В., Липатов Д. Н., Щеглов А. И.

М23 Практика по радиоэкологии : учебно-методическое пособие для студентов факультета почвоведения МГУ / Д. В. Манахов, Д. Н. Липатов, А. И. Щеглов. – Москва : МАКС Пресс, 2018. – 52 с.: илл.

ISBN 978-5-317-05863-0

Настоящее пособие является методическим руководством для практики по радиоэкологии, которая проводится в летний период на базе Учебно-опытного почвенно-экологического центра МГУ «Чашниково». В пособии рассматривается спектр современных полевых радиологических методов и их принципиальные основы, показаны возможности применения этих методов при проведении радиацонно-экологических исследований в рамках инженерно-экологических изысканий и при проведении радиоэкологического мониторинга. Пособие может использоваться студентами при проведении самостоятельных полевых исследований радиационно-экологического состояния земель различного назначения.

Ключевые слова: радиоэкология, радиацонно-экологические исследования, инженерно-экологические изыскания, радиоэкологический мониторинг.

Издание публикуется в авторской редакции

ISBN 978-5-317-05863-0

© Манахов Д. В., Липатов Д. Н., Щеглов А. И., 2018
© Оформление. ООО «МАКС Пресс», 2018

Оглавление

Введение 5
Дозиметрическое обследование территории 5
Определение потенциальной радоноопасности территории.....15
Определение плотности потока ^{222}Rn с поверхности почвы с предварительным отбором проб.....16
Определение объемной активности ^{222}Rn в почвенном воздухе с предварительным отбором проб 22
Отбор почвенных и растительных проб в радиационных исследованиях 25
Определение удельных активностей ^{137}Cs и ЕРН с помощью лабораторных и полевых гамма-спектрометров 28
Обработка и оформление полученных результатов радиационного исследования.....31
Заключение 35
Приложения.....36
Приложение 1. Инструкция для работы с радиометром-дозиметром СРП-68-01 36
Приложение 2. Инструкция для работы с дозиметром-радиометром ДКС-96 с блоком детектирования БДВГ-96 в поисковом режиме.....36
Приложение 3. Инструкция для работы с дозиметром-радиометром поисковым МКС/СРП-08А с блоком детектирования БДБС-25-01А в режиме поиска 37
Приложение 4. Форма протокола показаний поискового прибора 37
Приложение 5. Инструкция по работе с дозиметром-радиометром ДРБП-01 38
Приложение 6. Инструкция по работе с дозиметром-радиометром ДРГ-01Т 38
Приложение 7. Инструкция по работе с дозиметром-радиометром ДКС-96 с блоком детектирования БДМГ-96 в режиме измерения МЭДГИ 38
Приложение 8. Инструкция по работе с дозиметром-радиометром МКС/СРП-08А с блоком детектирования БДБС-25-01А в режиме измерения МЭДГИ.....39
Приложение 9. Инструкция по работе с дозиметром-радиометром МКС-АТ6130С 40
Приложение 10. Форма протокола измерения МЭДГИ 40
Приложение 11. Инструкция по работе с радиометром радона РРА-01М-01.....40

Приложение 12. Инструкция по работе с радиометром радона РРА-01М-03 42
Приложение 13. Форма протокола измерения ППР 43
Приложение 14. Форма протокола измерения ОАР в почвенном воздухе 44
Приложение 15. Инструкция по работе с полевым портативным спектрометром СКС-99 «Спутник» 44
Приложение 16. Построение картосхемы мощности дозы гамма-излучения 46
Приложение 17. Пример сравнения МЭДГИ (мкЗв/ч) на высоте 10 и 100 см с помощью расчета на основе критерия знаков… 49
Приложение 18. Пример расчета коэффициента ранговой корреляции Спирмена между показателями: МЭДГИ (мкЗв/ч) на высоте 10 см и удельной активностью ^{226}Ra в слое 0-10 см почвы 50
Литература 51

Введение

Целью практики по радиоэкологии является закрепление теоретической подготовки студентов и приобретение ими практических навыков и компетенций в сфере проведения радиационного обследования территорий при инженерно-экологических изысканиях, экспертных оценках и заключениях о наличии и уровнях радионуклидного загрязнения, а также в мониторинговых исследованиях на фоновых и загрязненных территориях.

Основным нормативным документом, регламентирующим проведение исследования и оценки радиационной обстановки в рамках инженерно-экологических изысканий, является Свод правил СП 47.13330.2016 «Инженерные изыскания для строительства. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 11-02-96» [5], введенный в действие с 1 июля 2017 г.

Согласно этому документу исследование и оценку радиационной обстановки выполняют по требованиям НРБ-99/2009 [6] и ОСПОРБ-99/2010 [7], а также других федеральных и ведомственных нормативно-методических документов.

Радиационно-экологические исследования следует выполнять в соответствии с МУ 2.6.1.2398-08 [8], которые предусматривают:

- оценку гамма-фона территории;
- оценку потенциальной радоноопасности территории;
- оценку удельных активностей антропогенных радионуклидов в грунтах;
- оценку удельных активностей естественных радионуклидов в грунтах, используемых в качестве строительных материалов;
- определение радиационных характеристик источников водоснабжения.

Дозиметрическое обследование территории

Определение мощности дозы гамма-излучения и выявление локальных радиационных аномалий (дозиметрическое обследование территории) проводится в два этапа (рисунок 1).

На первом этапе проводится гамма-съемка территории с целью выявления и локализации возможных радиационных аномалий и

определения объема дозиметрического контроля при измерениях **мощности эквивалентной дозы гамма-излучения** (МЭДГИ). Исследуемый участок размечается сеткой с шагом от 1 до 100 м в зависимости от масштаба съемки и местных условий. В узлах сетки назначаются контрольные точки (рисунок 2 А).

Обследование территории с помощью поискового прибора для выявления зон с повышенной интенсивностью гамма-излучения на контролируемом участке местности проводят при перемещении радиометра по прямолинейным маршрутам (рисунок 2 В). Расстояние между маршрутами зависит от площади участка (таблица 1).

Таблица 1. Расстояние между маршрутами при проведении поисковой гамма-съемки.

Площадь обследуемого участка	В пределах контура проектируемых зданий	Вне пределов контура проектируемых зданий
< 1 га	1 м	2,5 м
1-5 га		5 м
> 5 га		10 м

Датчик прибора размещают на расстоянии 10-30 см от поверхности почвы и не ближе 50-100 см от оператора. При этом блок детектирования радиометра должен совершать зигзагообразные движения перпендикулярно направлению прохождения выбранного маршрута, а скорость передвижения не должна превышать 2 км/ч. Территория должна быть подвергнута по возможности сплошному обследованию. Линии сетки включаются в маршруты. После прохождения намеченных маршрутов в продольном и поперечном направлениях осуществляется проход по территории в режиме свободного поиска.

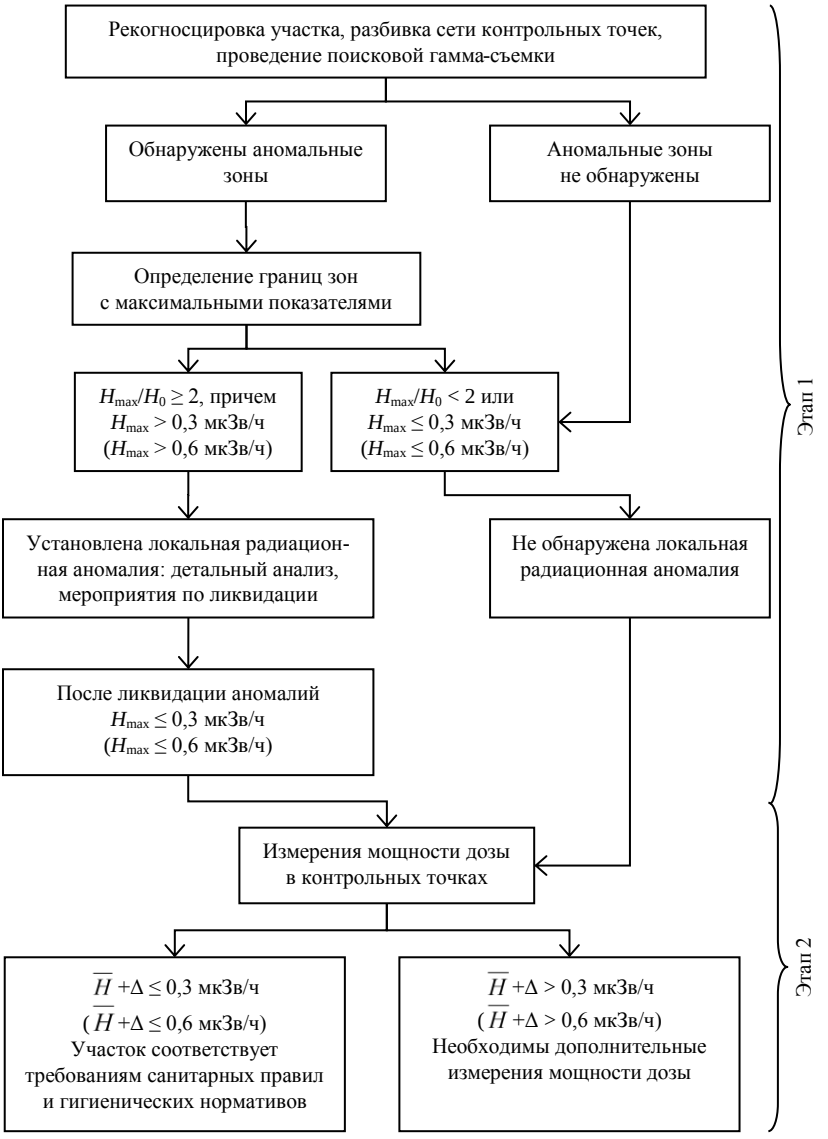

Рисунок 1. Порядок проведения гамма-съемки и определения мощности дозы гамма-излучения.

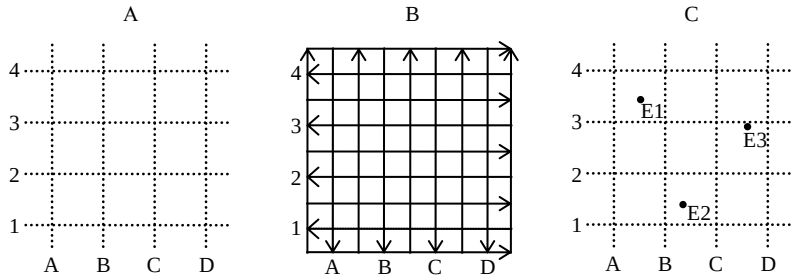

Рисунок 2. Схема разбиения исследуемого участка сеткой, расположение маршрутов поисковой гамма-съемки и назначение контрольных точек при дозиметрическом обследовании территории.

Для проведения **первого этапа** дозиметрического обследования следует применять поисковые радиометры или высокочувствительные дозиметры гамма-излучения, имеющие поисковый режим работы со звуковой индикацией. Эти приборы должны обеспечивать регистрацию потока гамма-квантов в диапазоне энергий 0,05-3,00 МэВ при интенсивности от 10 1/с и выше. На практике по радиоэкологии используются различные поисковые приборы, например, радиометр-дозиметр СРП-68-01 (см. приложение 1), дозиметр-радиометр ДКС-96 с блоком детектирования БДВГ-96 (приложение 2) и дозиметр-радиометр поисковый МКС/СРП-08А с блоком детектирования БДБС-25-01А (приложение 3).

Поисковые приборы не предназначены для измерения мощности дозы гамма-излучения, даже если они отградуированы в единицах измерения мощности дозы.

Показания поискового прибора в контрольных точках фиксируются в протоколе (приложение 4). Если в процессе съемки показания поискового прибора заметно (в 2 раза или более) не увеличиваются или мощность дозы гамма-излучения не превышает 0,3 мкЗв/ч на земельных участках под строительство жилых и общественных зданий, или 0,6 мкЗв/ч на участках под строительство производственных зданий и сооружений, то считается, что локальные радиационные аномалии на обследованной территории отсутствуют.

Если по результатам гамма-съемки выявлены зоны, в которых показания поискового прибора в 2 раза или более превышают среднее значение, характерное для остальной части обследованной территории, или мощность дозы гамма-излучения превышает 0,3 мкЗв/ч на земельных участках под строительство жилых и общественных зданий, или 0,6 мкЗв/ч на участках под строительство производственных зданий и сооружений, то такие зоны следует рассматривать как аномальные.

На территории населенных пунктов наличие таких зон в большинстве случаев обусловлено подсыпкой отдельных участков гранитным щебнем, наличием крупных природных камней вблизи поверхности земли и т.д. В некоторых случаях аномалии могут быть связаны с наличием радиоактивного загрязнения почвы гамма-излучающими радионуклидами техногенного происхождения вблизи поверхности земли.

В выявленных радиационных аномалиях с помощью поискового радиометра необходимо определить границы их локализации на поверхности почвы и точки с максимальными показаниями радиометра, которые необходимо маркировать на местности и нанести на план участка (рисунок 2 С). В точках с максимальными показаниями поискового радиометра в пределах локальных радиационных аномалий проводится измерение мощности дозы гамма-излучения вплотную к поверхности земли с использованием дозиметров. Если мощность дозы гамма-излучения в точке с максимальными показаниями поискового радиометра удовлетворяет условию:

$$\frac{H_{\max}}{H_0} \geq 2 \qquad (1),$$

и при этом $H_{\max} > 0{,}3$ мкЗв/ч для земельных участков под строительство жилых и общественных зданий и сооружений ($H_{\max} > 0{,}6$ мкЗв/ч на участках под строительство производственных зданий и сооружений), то выявленная зона считается локальной радиационной аномалией.

В формуле (1) $H_{\max}$ — измеренное значения мощности дозы гамма-излучения на поверхности грунта в точке с максимальными показаниями поискового прибора в границах аномалии, а H_0 —

измеренное значения мощности дозы гамма-излучения на поверхности грунта на расстоянии не менее 1 м за пределами границ выявленной локальной аномалии.

При выполнении этих условий обязательным является измерение мощности дозы гамма-излучения вплотную к поверхности почвы и на высоте 1 м в точке с максимальными показаниями поискового радиометра. Если мощность дозы вплотную к поверхности почвы выше, чем на высоте 1 м, а после вскрытия почвы она возрастает по глубине, то обязательным является детальный анализ характера загрязнения почв и грунтов, включающий определение площади и глубины аномального участка и отбор проб грунта для определения радионуклидного состава загрязнения и удельной активности радионуклидов в грунтах с целью разработки мероприятий по ликвидации аномалий.

Вскрытие почвы следует производить на участке размерами не менее 0,5 х 0,5 м путем послойного снятия грунта на глубину не менее 0,3 м от поверхности земли.

Пробы почв и грунтов отбираются в пределах выявленных радиационных аномалий в точках с максимальной мощностью дозы слоями толщиной около 10 см с измерением мощности дозы на дне лунки после снятия каждого слоя. Если мощность дозы после снятия очередного слоя не возрастает, то отбор проб прекращают, а отобранные пробы направляют на анализ. Если мощность дозы после снятия очередного слоя возрастает, то отбор проб продолжают до глубины не менее 0,3 м. Если мощность дозы после снятия очередного слоя грунта достигает величины 1 мкЗв/ч, то отбор проб прекращают, а аномальный участок огораживают для исключения доступа посторонних лиц.

Вопрос о необходимости и порядке ликвидации радиационных аномалий решают по согласованию с территориальными органами Роспотребнадзора. При этом устанавливаются требования по обеспечению радиационной безопасности при обращении с радиоактивно загрязненными грунтами и дальнейшему их использованию. Ликвидация участков радиоактивного загрязнения на территории осуществляется специализированными организациями, имеющими лицензию на соответствующий вид деятельности. Работы по изъятию и перемещению грунтов на земельных участках, на

которых выявлены радиационные аномалии, должны проводиться под радиационным контролем. Информация обо всех случаях выявления локальных радиационных аномалий на обследуемых земельных участках должна быть сообщена в территориальные органы Роспотребнадзора.

После окончания работ по ликвидации локальных радиационных аномалий на земельных участках под строительство объектов любого назначения должно выполняться условие $H_{max} \leq 0{,}3$ мкЗв/ч, а на участках под строительство производственных зданий и сооружений, если аномалия обусловлена наличием гранитного щебня или иных материалов природного происхождения, должно выполняться условие $H_{max} \leq 0{,}6$ мкЗв/ч.

На **втором этапе** проводятся измерения мощности дозы гамма-излучения в контрольных точках, которые по возможности должны располагаться равномерно по территории участка. В число контрольных должны быть включены точки с максимальными показаниями поискового радиометра, а также точки в пределах выявленных радиационных аномалий, в том числе и после их ликвидации.

Общее число контрольных точек должно быть не менее 10 на 1 га, но не менее 5 точек на земельном участке меньшей площади. При величине пространственной неоднородности загрязнения почв равной 25-30%, что характерно для чернобыльских выпадений, и относительной погрешности измерения мощности дозы равной 15-20%, минимально необходимое количество контрольных точек составляет 15-20 [1].

Объем исследований при проведении радиационного контроля участков, на которых были ликвидированы выявленные радиационные аномалии, устанавливается по согласованию с территориальными органами Роспотребнадзора.

Измерение МЭДГИ на контролируемом участке проводят с помощью дозиметров. На практике по радиоэкологии могут быть использованы дозиметры разных типов: ДРБП-01 (приложение 5), ДРГ-01Т (приложение 6), ДКС-96 с блоком детектирования БДМГ-96 (приложение 7), МКС/СРП-08А с блоком

детектирования БДБС-25-01А (приложение 8) и МКС-АТ6130С (приложение 9).

При одновременном использовании разных приборов для сопоставления их показаний необходимо провести серию многократных ($n \geq 10$) одновременных измерений как минимум в 10 одних и тех же точках.

Измерения мощности дозы гамма-излучения в контрольных точках проводят на высоте 1 м от поверхности земли. Число повторных измерений или время измерения (при использовании интегральных дозиметров) в каждой контрольной точке должно выбираться в соответствии с указаниями методик выполнения измерений или руководством по эксплуатации дозиметра. Обычно измерения мощности дозы гамма-излучений выполняется в 10-кратной повторности в каждой точке. Результаты измерения МЭДГИ заносятся в протокол (приложение 10).

За результат измерений мощности дозы гамма-излучения в каждой контрольной точке принимается среднее арифметическое по данным всех выполненных в ней измерений:

$$\overline{H} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} H_i \qquad (2).$$

Случайную погрешность S (P=0,95) этого измерения рассчитывают по формуле:

$$S = 2\sqrt{\frac{\left|\sum_{i=1}^{n} H_i^2 - n\overline{H}^2\right|}{n(n-1)}} \qquad (3),$$

где n — количество измерений, H_i — показания дозиметра при i-ом измерении.

Полную абсолютную погрешность измеренной МЭДГИ (P=0,95) следует определять по формуле:

$$\Delta = S + 0{,}3\overline{H} \qquad (4)$$

Если на участке не было выявлено зон с повышенными показаниями поискового радиометра, то среднее значение мощности дозы гамма-излучения для территории определяется по формуле:

$$\overline{H} = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\overline{H_i} \qquad (5),$$

где N — количество контрольных точек, $\overline{H_i}$ — среднее значение мощности дозы гамма-излучения в i-ой точке.

Если на обследуемой территории имеются зоны с повышенными показаниями поискового радиометра, однако для всех выявленных зон выполняются условия $H_{\max} \leq 0{,}3$ мкЗв/ч на земельных участках под строительство объектов любого назначения или $H_{\max} \leq 0{,}6$ мкЗв/ч на участках под строительство производственных зданий и сооружений, то земельный участок характеризуется средневзвешенным значением мощности дозы гамма-излучения, которое рассчитывается по формуле:

$$\overline{H}_{ср.взв.} = \frac{1}{S}\sum_{i=1}^{M} S_i \overline{H_i} \qquad (6),$$

где M — количество зон, на которые разбит земельный участок, S_i — площадь i-ой зоны, $\overline{H_i}$ — среднее значение мощности дозы гамма-излучения в пределах i-ой зоны, определяемое по формуле (5), S — общая площадь участка. В число зон, по которым проводится суммирование, должны быть включены также зоны локальных радиационных аномалий после их ликвидации.

Стандартная неопределенность значения $\overline{H}$ (или $\overline{H}_{ср.взв.}$) рассчитывается по формуле:

$$\Delta = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{M}\left(\overline{H} - \overline{H_i}\right)^2}{M(M-1)}}, \qquad (7),$$

где M — общее количество точек измерений или общее количество зон, на которые разбит земельный участок, $\overline{H}$ — среднее (или средневзвешенное) значение мощности дозы, $\overline{H_i}$ — среднее значение мощности дозы гамма-излучения в i-ой точке или в пределах i-ой зоны.

По результатам дозиметрического обследования земельного участка принимается решение о соответствии требованиям санитарных правил и гигиенических нормативов (таблица 2) и оформляют протокол испытаний.

Таблица 2. Критерии принятия решения о соответствии требованиям санитарных правил и гигиенических нормативов по результатам дозиметрического обследования.

При строительстве жилых домов, общественных зданий и сооружений	При строительстве производственных зданий и сооружений	Решение
• радиационных аномалий нет • $\overline{H}+\Delta \leq 0{,}3$ мкЗв/ч	• радиационных аномалий нет • $\overline{H}+\Delta \leq 0{,}6$ мкЗв/ч	Показатели радиационной безопасности участка соответствуют требованиям санитарных правил и гигиенических нормативов (ОСПОРБ-99/2010 и НРБ-99/2009)
• после ликвидации радиационных аномалий $H_{max} \leq 0{,}3$ мкЗв/ч; • $\overline{H}+\Delta \leq 0{,}3$ мкЗв/ч	• после ликвидации радиационных аномалий $H_{max} \leq 0{,}6$ мкЗв/ч; • $\overline{H}+\Delta \leq 0{,}6$ мкЗв/ч	Показатели радиационной безопасности участка соответствуют требованиям санитарных правил и гигиенических нормативов (ОСПОРБ-99/2010 и НРБ-99/2009). Строительные работы по изъятию и перемещению грунтов на участке должны проводиться под радиационным контролем.
• радиационных аномалий нет или после их ликвидации $H_{max} \leq 0{,}3$ мкЗв/ч; • $\overline{H}+\Delta > 0{,}3$ мкЗв/ч	• радиационных аномалий нет или после их ликвидации $H_{max} \leq 0{,}6$ мкЗв/ч; • $\overline{H}+\Delta > 0{,}6$ мкЗв/ч	Для уточнения среднего (или средневзвешенного) значения мощности дозы необходимо увеличить число точек измерений или выполнить дополнительные измерения мощности дозы гамма-излучения с применением дозиметров, имеющих меньшую погрешность, или дозиметров с известными значениями собственного фона и отклика на космическое излучение ($H_{ф+к}$)*
• обнаружены локальные радиационные аномалии, обусловленные техногенными радионуклидами		Показатели радиационной безопасности участка не соответствуют требованиям санитарных правил и гигиенических нормативов (ОСПОРБ-99/2010 и НРБ-99/2009). Вопрос об использовании участка по назначению может решаться только после изъятия выявленных радиационных аномалий и нормализации показателей радиационной безопасности.

* Значения собственного фона и отклика на космическое излучение может быть определено над водной поверхностью при глубине воды не менее 5 м и расстоянии до берега не менее 50 м. В этом случае за результат измерения мощности дозы в каждой точке следует принимать разность между показаниями дозиметра и значением $H_{ф+к}$.

Определение потенциальной радоноопасности территории

Основным параметром потенциальной радоноопасности, который необходимо определять при радиационном контроле, является **плотность потока радона** (ППР) с поверхности грунта на участке планируемой застройки в пределах контура проектируемых объектов строительства (R, мБк/(м^2×с)) (см. рисунок 3).

Определение численных значений ППР на земельном участке проводится в узлах сети контрольных точек, количество которых обусловлено площадью участка (таблица 3). Все контрольные точки наносятся на план участка и обозначаются на местности. При этом в пределах площади застройки проектируемых зданий и сооружений контрольные точки располагаются по возможности равномерно.

Таблица 3. Параметры заложения сети контрольных точек для определения ППР.

Площадь обследуемого участка	Контуры проектируемых зданий не определены: по сетке 25 х 25 м или более из расчета	Контуры проектируемых зданий определены
< 5 га	15 точек на 1 га, но не менее 10 точек на участок	В пределах контура здания по сетке 10 х 10 м, но не менее 10 точек
5-10 га	Не менее 10 точек на 1 га, но не менее 75 точек на участок	
> 10 га	Не менее 5 точек на 1 га, но не менее 100 точек на участок	

Каждая контрольная точка располагается в центре площадки размером около 0,5 × 0,5 м, подготовленной к измерениям с соблюдением требований соответствующих методик выполнения измерений. Результаты измерений должны заноситься в протокол испытаний.

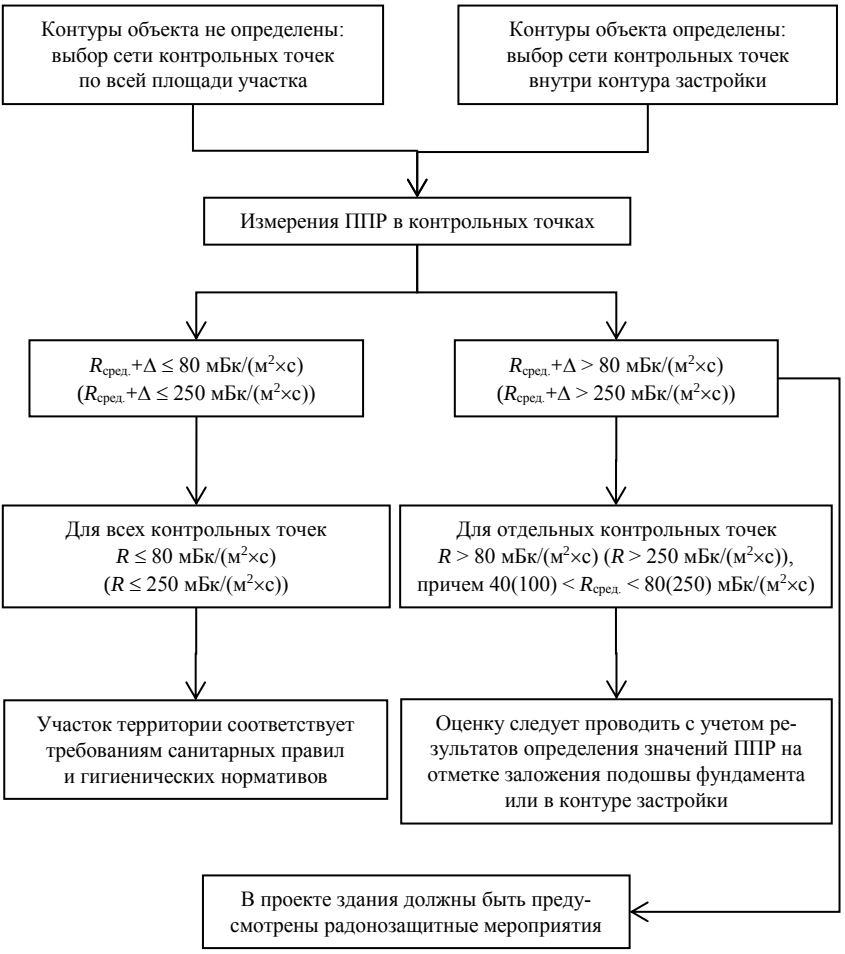

Рисунок 3. Порядок определения потенциальной радоноопасности территории.

Определение плотности потока ^{222}Rn с поверхности почвы с предварительным отбором проб

Перед началом работы необходимо отобрать пробу воздуха вне помещения для определения собственного фона радиометра. Для отбора пробы следует собрать схему (рисунок 4) в следующей последовательности: снять резиновые заглушки со штуцеров

пробоотборника (емкость объемом 1,05 дм^3) и пробоотборного устройства (ПОУ); соединить штуцер пробоотборника со штуцером «ВЫХОД» ПОУ с помощью соединительной трубки из состава ПОУ. Включить воздуходувку ПОУ, для чего последовательно нажать кнопки «2» и «ПУСК», время работы воздуходувки 5 минут. По окончании отбора герметизировать пробоотборник заглушками и зафиксировать в журнале дату и время окончания отбора пробы.

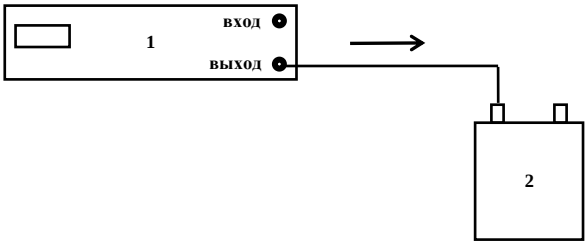

Рисунок 4. Схема отбора воздушной пробы.
Условные обозначения: 1 — ПОУ; 2 — воздушный пробоотборник. Стрелочкой показано направление движения воздуха.

Измерительная камера радиометра должна быть заполнена воздухом лаборатории, в которой планируется проведение измерений и которым будет продуваться система между измерениями проб.

Далее нужно перемешать пробу воздуха с воздухом, заполняющем измерительную камеру. Для этого следует собрать схему (рисунок 5) в следующей последовательности: соединить выходной штуцер пробоотборника (штуцер без силиконовой трубки) со штуцером «ВХОД» ПОУ; соединить штуцер «ВЫХОД» ПОУ с входным штуцером радиометра радона (РРА), находящемся на передней панели РРА; соединить выходной штуцер РРА (штуцер № 2 на задней панели РРА, штуцер № 1 закрыть резиновой заглушкой) с оставшимся свободным штуцером пробоотборника. Включить воздуходувку ПОУ, для чего последовательно нажать кнопки «2» и «ПУСК», время работы воздуходувки 5 минут. По окончании перемешивания разобрать схему и замкнуть штуцеры РРА силиконовой трубкой.

Перевод пробы в измерительную камеру радиометра может быть осуществлен без применения ПОУ, с помощью воздуходувки

самого радиометра (рисунок 6). В этом случае по окончании перемешивания схему разбирать не следует.

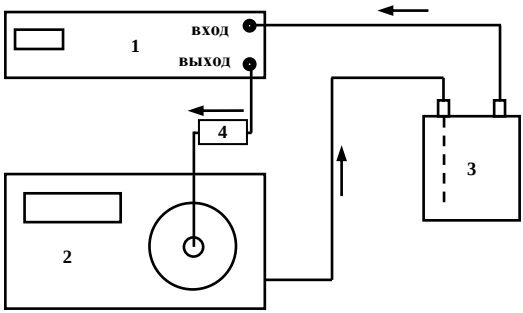

Рисунок 5. Схема перемешивания воздушной пробы между пробоотборником и измерительной камерой РРА с помощью ПОУ. Условные обозначения: 1 — ПОУ; 2 — РРА; 3 — воздушный пробоотборник; 4 — осушитель.

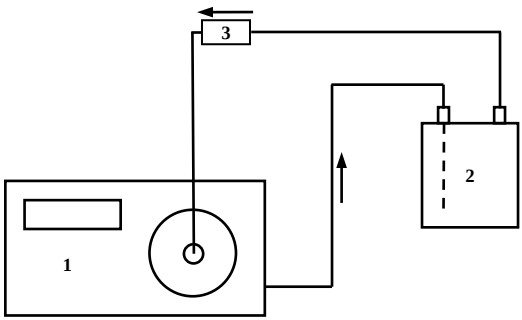

Рисунок 6. Схема перемешивания воздушной пробы между пробоотборником и измерительной камерой РРА без применения ПОУ. Условные обозначения: 1 — РРА; 2 — воздушный пробоотборник; 3 — осушитель.

Далее нужно провести измерение фоновой объемной активности радона (ОАР). Должно выполняться не менее пяти измерений фоновой ОАР, с вычислением среднего значения по формуле:

$$Q_{\Phi} = \frac{\sum_{i}^{n} Q_{\Phi,i}}{n} \quad (8),$$

где $Q_{Ф,i}$ — результат i-ого измерения, Бк/м^3; n — общее число измерений.

На практике по радиоэкологии могут использоваться две модели радиометров радона: РРА-01М-01 (приложение 11) и РРА-01М-03 (приложение 12).

На территории планируемой застройки в каждой контрольной точке необходимо подготовить участок для пробоотбора. Для этого вокруг контрольной точки следует провести подготовку горизонтального участка размером до 0,5 × 0,5 м (но не менее 0,2 × 0,2 м). Подготовка заключается в зачистке от мусора, растительности и крупных камней, рыхлении на глубину 3-5 см и выравнивании поверхности участка. Начинать отбор пробы следует не раньше, чем через 20 минут после подготовки участка.

Для отбора пробы нужно собрать схему (рисунок 7) в следующей последовательности: соединить штуцер накопительной камеры-1 (внутренний диаметр камеры 148 мм) со штуцером «ВХОД» ПОУ; соединить штуцер «ВЫХОД» ПОУ с входным штуцером воздушного пробоотборника; другой штуцер пробоотборника соединить со свободным штуцером камеры-1. Включить воздуходувку ПОУ на 5 минут, для чего последовательно нажать кнопки «2» и «ПУСК» (при необходимости время отбора пробы может быть увеличено до 20 мин – режим «1» ПОУ). НЕ ПОЗДНЕЕ 15 секунд после запуска воздуходувки установить накопительную камеру-1 на очередной подготовленный участок почвы, вдавив нижнюю кромку накопительной камеры-1 в почву до ограничителя накопительной камеры.

После автоматического выключения воздуходувки ПОУ герметизировать пробоотборник с отобранной пробой резиновыми заглушками из комплекта ПОУ и зафиксировать в протоколе время окончания пробоотбора t_1.

Извлечь камеру-1 из грунта и прокачать систему «ПОУ — накопительная камера-1» в течение 2 минут окружающим воздухом, для чего последовательно нажать кнопки «3» и «ПУСК» ПОУ. При этом накопительная камера-1 должна находиться не ближе 50 см к поверхности грунта.

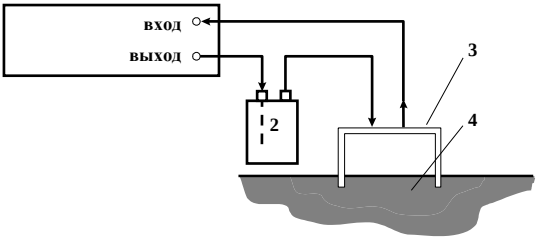

Рисунок 7. Схема отбора пробы воздуха для определения ППР. Условные обозначения: 1 — ПОУ; 2 — воздушный пробоотборник; 3 — камера-1; 4 — почва.

Далее отобранную пробу воздуха необходимо перемешать между пробоотборником и измерительной камерой РРА одним из описанных выше способов (рисунок 5 или рисунок 6). По окончании перемешивания записать в протокол время начала измерений t_2.

Провести измерение ОАР. Должно выполняться не менее пяти повторных измерений ОАР, с вычислением среднего значения.

$$Q = \frac{\sum_{i}^{n} Q_i}{n} \qquad (9),$$

где Q_i — результат i-ого измерения, Бк/м^3; n — общее число измерений.

Обработать результаты измерений ППР (R) по формуле:

$$\text{ППР} = R = \left(Q \times \left(1 + \frac{V_2}{V_1} \right) - Q_Ф \times \frac{V_2}{V_1} \right) \times e^{\lambda t} \times \frac{V_1 + V_3}{T \times S_1} \qquad (10),$$

где: Q — ОАР, Бк/м3; $Q_Ф$ — собственный фон радиометра, Бк/м^3; V_2 — объем измерительной камеры радиометра, л; V_2=1,6 л; V_1 — объем пробы в пробоотборнике, V_1=1,05 л; t — время, прошедшее от окончания отбора пробы воздуха до начала измерений, мин., $t=t_2-t_1$; λ — постоянная распада ^{222}Rn, 1/мин, $\lambda=1{,}26\times10^{-4}$ 1/мин; V_3 — свободный объем накопительной камеры-1 и соединительных трубок, V_3=0,563 л; T — время накопления воздуха в пробоотборнике за счет поступления с поверхности почвы, T=300с; S_1 — площадь сбора радона накопительной камерой-1, S_1=0,0163 м^2.

Погрешность определения ППР, составляет: δППР = ±40% при ППР от 20 до 500 мБк/(м^2×с), δППР = ±30% при ОАР от 500 до 1000 мБк/(м^2×с).

Результаты измерения ППР вносят в протокол (приложение 13).

За величину плотности потока радона с поверхности грунта на обследованной площади участка принимается среднее арифметическое значение, рассчитанное по результатам измерений во всех контрольных точках:

$$\overline{R} = \frac{1}{N}\sum_{i=0}^{N} R_i \qquad (11),$$

где N — количество контрольных точек, R_i — плотность потока радона в i-ой контрольной точке.

Неопределенность среднего значения $\overline{R}$ для обследованной площади участка определяется по формуле:

$$\Delta = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N}\left(\overline{R} - R_i\right)^2}{N\left(N-1\right)}} \qquad (12).$$

Для установления перечня и характера радонозащитных мероприятий при их проектировании в качестве дополнительных признаков потенциальной радоноопасности могут быть использованы сведения о следующих радиологических показателях территории:

- среднегодовая эквивалентная равновесная объемная активность радона и торона (ЭРОА) в воздухе подвальных помещений и/или помещений первых этажей близлежащих зданий (ЭРОА > 100 Бк/м^3 для зданий жилищного и общественного назначения; ЭРОА > 150 Бк/м^3 для производственных зданий и сооружений);
- ОАР в почвенном воздухе на глубине 0,5-1,0 м от поверхности почв и грунтов на территории застройки (ОАР в почвенном воздухе > 40 кБк/м^3);
- геологические и геофизические характеристики участка территории (наличие разломов и пр.);
- удельная активность ^{226}Ra в подстилающих породах (удельная активность ^{226}Ra в подстилающих породах значительно, более

чем в 2 раза, превышает удельную активность ^{226}Ra в поверхностных слоях почв и грунтов).

Определение объемной активности ^{222}Rn в почвенном воздухе с предварительным отбором проб

Для отбора пробы почвенного воздуха в контрольной точке следует пробурить шпур (скважину) диаметром 3-5 см и глубиной 0,5-1 м для экспонирования пробоотборника. При промерзании грунта до 15 см глубина шпура должна быть больше глубина промерзания. Далее следует снять резиновые заглушки со штуцеров пробоотборника почвенного воздуха; пробоотборник на подвесе опустить в шпур, горловину шпура закрыть пробкой, изготовленной из вынутой почвы. Время экспозиции пробоотборника в шпуре, необходимое для выравнивания концентрации радона в почвенном воздухе и в объеме пробоотборника, должно быть не менее 12 часов. После окончания экспозиции пробоотборник с помощью подвеса извлечь из шпура, и немедленно герметизировать заглушками. Зафиксировать в протоколе время окончания пробоотбора t_1.

Перемешать отобранную пробу воздуха между пробоотборником и измерительной камерой РРА. Для этого собрать схему (рисунок 8) в следующей последовательности: соединить штуцер пробоотборника со штуцером «ВХОД» ПОУ; соединить штуцер «ВЫХОД» ПОУ с входным штуцером РРА (штуцер на передней панели РРА); соединить выходной штуцер РРА с оставшимся свободным штуцером пробоотборника. Включить воздуходувку ПОУ, для чего последовательно нажать кнопки «2» и «ПУСК», время работы воздуходувки 5 минут. По окончании перемешивания разобрать схему и герметизировать штуцеры РРА заглушками. По окончании перемешивания записать в протокол время начала измерений t_2.

Перемешивание пробы между пробоотборником и измерительной камерой РРА можно выполнять с помощью воздуходувки самого радиометра.

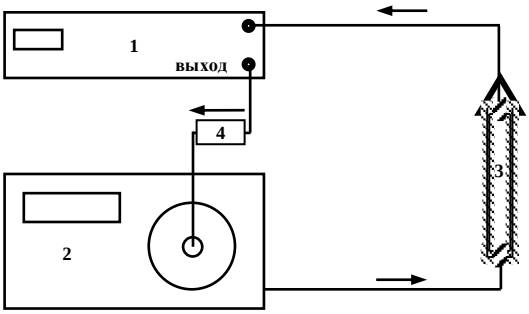

Рисунок 8. Схема перемешивания воздушной пробы между пробоотборником и измерительной камерой РРА.
Условные обозначения: 1 — ПОУ; 2 — РРА; 3 — воздушный пробоотборник; 4 — осушитель.

Провести измерение ОАР. Должно выполняться не менее пяти измерений ОАР, с вычислением среднего значения.

Обработать результаты измерений. Расчет ОАР в пробе $Q_П$ следует вести по формуле:

$$Q_П = \left(Q \times \left(1 + \frac{V_2}{V_1} \right) - Q_Ф \times \frac{V_2}{V_1} \right) \times e^{\lambda t} \qquad (13),$$

где Q — ОАР, Бк/м^3; $Q_Ф$ — собственный фон радиометра, Бк/м^3; V_2 — объем измерительной камеры радиометра, л; V_2=1,6 л; V_1 - объем пробы в пробоотборнике, V_1=0,046 л; t — время, прошедшее от окончания отбора пробы воздуха до начала измерений, мин., $t=t_2-t_1$; λ — постоянная распада ^{222}Rn, 1/мин, λ=1,26×10-4 1/мин.

Погрешность определения ОАР в почвенном воздухе составляет: $\delta Q_П$ = ±40% при ОАР от 1000 до 2500 Бк/м^3, $\delta Q_П$ = ±30% при ОАР от 2500 до 100000 Бк/м^3.

Результаты измерения ОАР в почвенном воздухе вносят в протокол (приложение 14).

По результатам оценки потенциальной радоноопасности территории с учетом результатов дозиметрического обследования земельного участка принимается решение о соответствии требованиям санитарных правил и гигиенических нормативов (таблица 4) и оформляется акт радиационного контроля.

Таблица 4. Критерии принятия решения о соответствии требованиям санитарных правил и гигиенических нормативов по результатам измерения ППР.

При строительстве жилых домов, общественных зданий и сооружений	При строительстве производственных зданий и сооружений	Решение
• радиационных аномалий нет • $\overline{H}+\Delta\leq 0{,}3$ мкЗв/ч • $R_i\leq 80$ мБк/(м^2×с) • $\overline{R}+\Delta\leq 80$ мБк/(м^2×с)	• радиационных аномалий нет • $\overline{H}+\Delta\leq 0{,}3$ мкЗв/ч • $R_i\leq 250$ мБк/(м^2×с) • $\overline{R}+\Delta\leq 250$ мБк/(м^2×с)	Показатели радиационной безопасности участка соответствуют требованиям санитарных правил и гигиенических нормативов (ОСПОРБ-99/2010 и НРБ-99/2009).
• после ликвидации радиационных аномалий $H_{max}\leq 0{,}3$ мкЗв/ч • $\overline{H}+\Delta\leq 0{,}3$ мкЗв/ч • $R_i\leq 80$ мБк/(м^2×с) • $\overline{R}+\Delta\leq 80$ мБк/(м^2×с)	• после ликвидации радиационных аномалий $H_{max}\leq 0{,}3$ мкЗв/ч • $\overline{H}+\Delta\leq 0{,}6$ мкЗв/ч • $R_i\leq 250$ мБк/(м^2×с) • $\overline{R}+\Delta\leq 250$ мБк/(м^2×с)	Показатели радиационной безопасности участка соответствуют требованиям санитарных правил и гигиенических нормативов (ОСПОРБ-99/2010 и НРБ-99/2009). Строительные работы по изъятию и перемещению грунтов на участке должны проводиться под радиационным контролем.
• контуры застройки на определены • $R_i>80$ мБк/(м^2×с) для отдельных точек • $40<\overline{R}+\Delta\leq 80$ мБк/(м^2×с)	• контуры застройки на определены • $R_i>250$ мБк/(м^2×с) для отдельных точек • $100<\overline{R}+\Delta\leq 250$ мБк/(м^2×с)	Необходимо выполнить дополнительные исследования для определения значений ППР в контуре проектируемых зданий и сооружений после привязки их к плану земельного участка
• имеется объективная информация о высокой потенциальной радоноопасности территории (по данным измерений ОАР в почвенном воздухе, ЭРОА радона в близлежащих домах, содержанию ^{226}Ra в подстилающих породах и т.д.)		Необходимо выполнить дополнительные исследования для определения значений ППР на отметке подошвы фундамента проектируемых зданий и сооружений после рытья котлована

При строительстве жилых домов, общественных зданий и сооружений	При строительстве производственных зданий и сооружений	Решение
• R_i>80 мБк/(м^2×с) более чем в 20% точек в пределах контура застройки • 40<$\bar{R}$+Δ≤80 мБк/(м^2×с)	• R_i>250 мБк/(м^2×с) более чем в 20% точек в пределах контура застройки • 100<$\bar{R}$+Δ≤250 мБк/(м^2×с)	Необходимо выполнить дополнительные исследования для определения значений ППР на отметке подошвы фундамента проектируемых зданий и сооружений после рытья котлована
• R_i>80 мБк/(м^2×с) более чем в 20% точек на отметке заложения фундамента • $\bar{R}$+Δ≥40 мБк/(м^2×с)	• R_i>250 мБк/(м^2×с) более чем в 20% точек на отметке заложения фундамента • $\bar{R}$+Δ≥100 мБк/(м^2×с)	В проекте здания должна быть предусмотрена система защиты от радона (монолитная бетонная подушка, улучшенная изоляция перекрытия подвального помещения и т.п.), обеспечивающая при приемке в эксплуатацию здания после окончания его строительства (капитального ремонта или реконструкции) среднегодовое значение ЭРОА изотопов радона не выше 100 Бк/м^3
• $\bar{R}$+Δ>80 мБк/(м^2×с)	• $\bar{R}$+Δ>250 мБк/(м^2×с)	В проекте здания должна быть предусмотрена система защиты от радона (монолитная бетонная подушка, улучшенная изоляция перекрытия подвального помещения и т.п.), обеспечивающая при приемке в эксплуатацию здания после окончания его строительства (капитального ремонта или реконструкции) среднегодовое значение ЭРОА изотопов радона не выше 100 Бк/м^3

Отбор почвенных и растительных проб в радиационных исследованиях

Как было отмечено ранее, в пределах выявленных радиационных аномалий в точках с максимальной мощностью дозы

отбираются **пробы почв и грунтов** слоями толщиной около 10 см с измерением мощности дозы на дне лунки после снятия каждого слоя.

Если радиационных аномалий не выявлено, отбор проб почв и грунтов осуществляется в точках с максимальными значениями МЭДГИ. Пробы отбираются с целью определения радионуклидного состава и удельной активности радионуклидов. При наличии информации о возможном загрязнении территории техногенными радионуклидами обязательным является и анализ радионуклидного состава почвенных проб. Обычно образцы отбираются из расчета 1 образец с гектара, но не менее 2 образцов с участка [9].

При проведении радиоэкологического мониторинга образцы почв могут отбираться из всех контрольных точек. Для мониторинга радиоактивных выпадений пробы почвы отбираются из поверхностного слоя почвы (0-10 см или 0-20 см). Для этого применяются стальные цилиндрические пробоотборники. Диаметр и высота кольца-пробоотборника подбираются исходя из ожидаемого содержания радионуклидов и физических свойств почвы. В лесных биогеоценозах такая методика включает послойный раздельный отбор проб подстилки с подразделением ее на подгоризонты (О1, О2, О3) и отбора под ней почвенного монолита (керна) с помощью пробоотборника, позволяющего разделить почвенный монолит на отдельные слои, толщиной от 1 см (рисунок 9). Отобранный цилиндрический монолит в полевых или лабораторных условиях выдавливается из цилиндра с помощью поршня с последовательным срезанием 1-5-сантиметровых слоев.

Для изучения **распределения радионуклидов в профиле почв** можно использовать отбор проб почвенным буром из шурфов глубиной до 1,5-2 метров. При этом пробы отбирают из слоев: 0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-50, 50-60, 60-70, 70-80, 80-90, 90-100 см. Для изучения распределения радионуклидов с учетом строения почвенного профиля необходимо закладывать почвенный разрез и отбирать пробы из выделенных почвенных горизонтов. Масса каждой пробы для измерения активностей гамма-излучающих радионуклидов (^{137}Cs, ^{226}Ra, ^{232}Th, ^{40}K) должна быть около 1 кг.

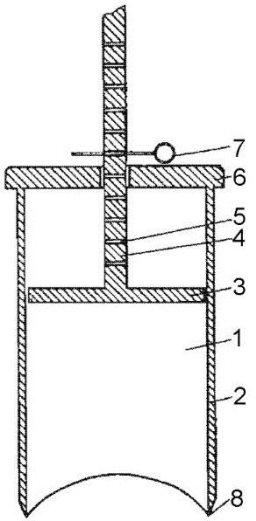

Рисунок 9. Продольный разрез пробоотборника [2]:
1 – стальной цилиндр диаметром 6-8 см, 2 – стенка цилиндра, 3 – поршень, 4 – шток, 5 – делительное отверстие, 6 – крышка бура, 7 – ограничительная шпилька, 8 – режущая часть бура

Отбор **проб растительности** в радиоэкологических исследованиях проводят на загрязненных территориях и в зоне наблюдения радиационно опасных объектов. Пробы сельскохозяйственных культур отбираются один раз в год в период уборки урожая. Отбор проб производится сопряженно с отбором проб почв. Для получения достоверных результатов проводится усреднение растительных проб из 5 точечных проб, отобранных по методу «конверта». В зависимости от вида сельскохозяйственной продукции объем проб может быть различным (таблица 5).

При отборе, транспортировке и хранении проб соблюдаются условия, исключающие взаимное загрязнение проб, а также загрязнение транспортных средств и окружающей среды. Твердые, сухие и сыпучие пробы помещают в двухслойные полиэтиленовые или бумажные мешки и завязывают. Пробы с большим содержанием влаги перед упаковкой взвешивают.

Таблица 5. Объем растительных проб при радиоэкологическом мониторинге агроценозов [10].

Культура	Вид продукции	Минимальная масса усредненной пробы, кг
Зерновые и зернобобовые	Зерно	3,0
	Солома	3,0
Картофель, корнеплоды	Корнеплоды, клубни	5,0
	Ботва	3,0
Овощные и бахчевые	Плоды	5,0
	Ягоды	5,0
Травы	Сено, сенаж, силос	3,0

Каждая отобранная проба снабжается этикеткой, на которой приводятся следующие данные: номер пробы, номер контрольного участка или пункта, дата отбора, вид пробы, для растительных проб указывается продуктивность на единицу площади, фамилия радиоэколога. Пробы, хранение которых невозможно в нативном состоянии, хранятся в озоленном виде.

Определение удельных активностей ^{137}Cs и ЕРН с помощью лабораторных и полевых гамма-спектрометров

Определение удельной активности ^{137}Cs и ЕРН (^{226}Ra, ^{232}Th, ^{40}K) проводят в предварительно высушенных и гомогенизированных образцах с помощью лабораторных гамма-спектрометров. Если высушить образцы целиком не представляется возможным, определение удельной активности ^{137}Cs и ЕРН проводят в образцах с естественной влажностью, при этом часть каждого образца отбирают для высушивания при 105ºС и определения влажности, чтобы в дальнейшем пересчитать полученные удельные активности на абсолютно-сухую навеску.

При проведении практики по радиоэкологии для измерения удельных активностей ^{137}Cs и ЕРН применяется полевой портативный спектрометр СКС-99 «Спутник» (приложение 15). В настоящее время для этого прибора не существует аттестованных методик измерения удельных активностей радионуклидов в почвах в полевых условиях. Тем не менее, его применение возможно.

Градуировка спектрометра осуществляется на фантоме, имитирующем полубесконечное пространство вещества плотностью ρ_0 = 1 г/см^3 и удельной активностью ^{137}Cs q Бк/кг (в геометриях 4π и 2π).

Для сферического слоя радиуса R_0 (при измерении в 4π геометрии) суммарная радиоактивность (активность на пробу) определяется формулой:

$$^{R}\Sigma_0 = K_R \varepsilon_\infty q = K_R A_0 m_0 \qquad (14),$$

где ε_∞ - чувствительность спектрометра; $K_R = 1\text{-}e^{-\mu R}$; A_0 – удельная активность (показания спектрометра), Бк/кг; m_0 – масса сферы радиусом R_0, кг. В реальных измерениях R_0 можно трактовать как толщину слоя контролируемого объекта.

Если плотность вещества $\rho_R \neq 1$ г/см^3, то все линейные размеры блока, соответствующие значению K_R, следует увеличить в ρ_0/ρ_R раз, то есть значению K_R должна соответствовать реальная глубина блока $R_R = (\rho_0/\rho_R)\times R_0$. Таким образом, показанная спектрометром суммарная активность $^{R}\Sigma_0$ на самом деле будет относиться не к сфере радиусом R_0 с плотностью ρ_0 = 1 г/см^3, а к сфере радиусом R_R с плотностью ρ_R. Реальная удельная активность сферы радиусом R_R с плотностью ρ_R может быть рассчитана по формуле:

$$A_R = \frac{^{R}\Sigma_0}{m_R} = K_R A_0 \frac{m_0}{m_R} = K_R A_0 \frac{\rho_0 \, {}^4\!/_3 \pi R_0^3}{\rho_R \, {}^4\!/_3 \pi R_R^3} =$$

$$= K_R A_0 \frac{\rho_0 R_0^3}{\rho_R \left(\left(\frac{\rho_0}{\rho_R} \right) R_0 \right)^3} = K_R A_0 \rho_R^2 \qquad (15),$$

При проведении измерений с поверхности почвы детектором, снаряженным коллиматором (защитой), на расчет результатов оказывает влияние эффективный телесный угол регистрации фотонов. Поэтому в формулу расчета вводится дополнительный коэффициент K_ω, учитывающий эффективный телесный угол регистрации фотонов:

$$A_R = K_\omega K_R A_0 \rho_R^2 \qquad (16),$$

Установленное эмпирическим путем значение этого коэффициента составляет 2,45 для K_R = 0,5 при R_0 = 7,7 см.

В настоящее время не существует норматива, регламентирующего уровень удельной активности ^{137}Cs в почвах и грунтах территории застройки. Для принятия решения об отнесении территории к зоне радиоактивного загрязнения (согласно Закона РФ от 15.05.1991 N 1244-1 (ред. от 30.10.2017) «О социальной защите граждан, подвергшихся воздействию радиации вследствие катастрофы на Чернобыльской АЭС» [11]) полученные результаты удельной активности ^{137}Cs переводят в **плотность загрязнения ^{137}Cs** (запас ^{137}Cs), выраженную в кБк/м^2 (Ки/км^2):

$$\sum_{i=1}^{n} A_i \cdot \rho_i \cdot h_i \qquad (17),$$

где A_i – активность i-го слоя, ρ_i – плотность сложения i-го слоя, h_i – толщина i-го слоя почвы.

Территории с плотностью загрязнения менее 37 кБк/м^2 (<1 Ки/км^2) считаются незагрязненными. Уровень плотности загрязнения ^{137}Cs, обусловленного глобальными радиоактивными выпадениями, в настоящее время на территории России составляет 2,5–3,5 кБк/м^2 (0,07-0,09 Ки/км^2).

Для принятия решения об использовании почвы площадки под застройку в качестве строительных материалов согласно НРБ-99/2009 [6] и ГОСТ 30108-94 [12] на основании результатов измерения удельных активностей естественных радионуклидов вычисляется удельная эффективная активность ЕРН ($A_{эфф}$) — **суммарная удельная активность ЕРН** в материале, определяемая с учетом их биологического воздействия на организм человека, по формуле:

$$A_{эфф} = A_{Ra} + 1{,}31 \times A_{Th} + 0{,}085 \times A_K \qquad (18),$$

где A_{Ra}, A_{Th} и A_K — удельные активности естественных радионуклидов: ^{226}Ra, ^{232}Th и ^{40}K. Абсолютную погрешность определения значений $A_{эфф}$ вычисляют по формуле:

$$\Delta = \sqrt{\Delta_{Ra}^2 + 1{,}7 \times \Delta_{Th}^2 + 0{,}007 \times \Delta_K^2} \qquad (19),$$

где Δ_{Ra}, Δ_{Th} и Δ_K — абсолютные погрешности определения естественных радионуклидов.

За результат определения удельной эффективной активности ЕРН в контролируемом материале и установления класса материала принимают значение, определяемое по формуле:

$$A_{эфф.м} = A_{эфф} + \Delta \quad (20),$$

По результатам определения удельной эффективной активности ЕРН принимается решение об использовании почвы площадки под застройку в качестве строительных материалов (таблица 6) и оформляют протокол испытаний.

Таблица 6. Критерии для принятия решения об использовании строительных материалов.

Класс материала	Удельная эффективная активность ($A_{эфф.}$), Бк/кг	Область применения
I	< 370	Все виды строительства
II	370-740	Дорожное строительство в пределах населенных пунктов и зон перспективной застройки, строительство производственных сооружений
III	740-1500	Дорожное строительство вне населенных пунктов
IV	1500-4000	Вопрос об использовании материала решается по согласованию с Госкомсанэпиднадзором

При $A_{эфф.}$ > 4000 Бк/кг материалы не должны использоваться в строительстве.

Обработка и оформление полученных результатов радиационного исследования

При проведении мониторинговых исследований фоновых и загрязненных территорий, кроме перечисленных выше оценок, могут проводиться дополнительные исследования.

Изучение вертикального распределения радионуклидов в профиле почв позволяет рассмотреть особенности радиоэкологической обстановки, а также оценить доступность этих элементов для растений. Данные о вертикальном распределении могут быть представлены как в табличной (таблица 7), так и в графической форме (рисунок 10).

Таблица 7. Содержание и распределение ^{137}Cs и ЕРН в профиле дерново-подзолистой почвы.

Горизонт	Глубина, см	^{137}Cs	^{226}Ra	^{232}Th	^{40}K
		Бк/кг			
AY	0-12	5,76±1,15	17,8±2,67	15,6±2,34	302±51,3
AEL	12-25	1,25±2,11	23,6±3,30	18,4±2,76	316±53,7
EL	25-36	1,15±2,32	18,7±2,71	22,5±3,38	413±66,1
BEL	36-50	0,75±2,31	23,1±3,23	25,8±3,87	463±74,1
BT1	50-70	0±2,48	23,2±3,02	26,4±3,96	452±72,3
BT2	70-100	0±2,53	26,4±3,17	29,6±4,44	581±81,3
C	100-115	0±2,47	22,6±3,16	30,2±4,53	595±83,3

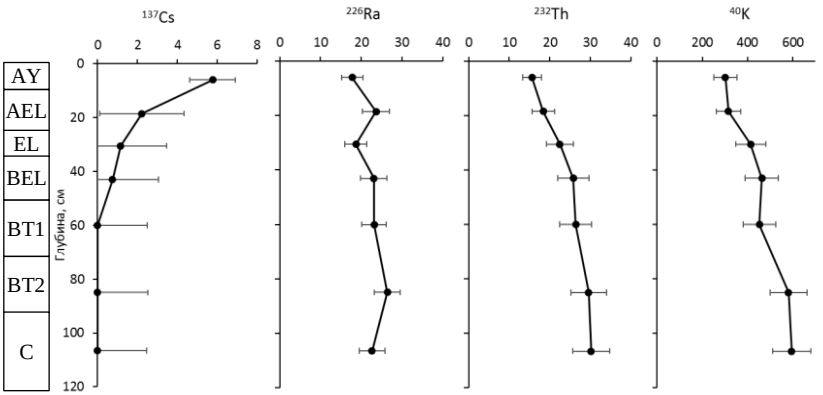

Рисунок 10. Распределение ^{137}Cs и ЕРН в профиле дерново-подзолистой почвы, Бк/кг.

Результаты дозиметрического контроля и измерений удельных активностей радионуклидов в поверхностном слое почвы во всех контрольных точках могут быть представлены в виде картосхем (приложение 16).

Нарастание или уменьшение значений мощности дозы гамма-излучения по какому-либо направлению в пространстве показывает градиент дозного поля. Модуль градиента отражает интенсивность изменения мощности дозы, и его можно оценить на основе частоты изолиний на картограммах. По точкам с максимальными значениям модуля градиента проводятся градиентные границы, очерчивающие локальные аномалии.

Для анализа изменений показателя на различных высотах, глубинах используют методы сравнения. Например, сравнение мощности дозы гамма-излучения на высоте 1 метр и у поверхности почвы позволяет оценить вклад содержащихся в почве радионуклидов в этот показатель.

Значения мощности дозы гамма-излучений, полученные в каждой точке, но на разной высоте от поверхности почвы, являются сопряженными в пространстве. Для сравнения этих показателей на высоте 10 (x_{10}) и 100 см (x_{100}) можно использовать непараметрический критерий знаков для сопряженных выборок.

Определим для каждой точки значения разности:

$$z_i = x_{i(10)} - x_{i(100)} \qquad (21),$$

где i=1, 2, … n – число контрольных точек. Обозначим число положительных значений z_i через S_+, а число отрицательных значений z_i через S_-. В случае совпадения исходных значений разность будет равна 0, и этой паре не присваивают знак. Различие между показателями будет статистически значимым (при α=0,05), если $S_+ \leq S_{кр.}$ или $S_- \leq S_{кр.}$ (таблица 8). Пример сравнения мощности дозы гамма-излучения на высоте 10 и 100 см см. приложение 17.

Таблица 8. Значения $S_{кр.}$ для различного числа контрольных точек.

n	$S_{кр.}$
16	4
25	8
36	13

Для изучения взаимосвязи между показателями используются коэффициенты корреляции. Коэффициенты корреляции можно рассчитать между измеренными значениями мощности дозы гамма-излучения на высоте 10 и 100 см, величинами удельных активностей гамма-излучающих радионуклидов и $A_{эфф.}$ в почве.

Коэффициент ранговой корреляции Спирмена вычисляется по формуле:

$$r_{xy}^{S} = 1 - \frac{6 \times \sum \left(d_x - d_y\right)^2}{n\left(n^2 - 1\right)} \qquad (22),$$

где: d_x и d_y – ранги показателей x_i и y_i; n – число коррелируемых пар.

Для вычисления r_{xy}^{S} необходимо сначала проставить ранги (d_x и d_y) показателей x_i и y_i, найти разности рангов $(d_x - d_y)$ для каждой пары показателей и квадраты этих разностей $(d_x - d_y)^2$. В случае совпадения исходных значений им присваивают усредненные дробные ранги.

Коэффициент ранговой корреляции имеет пределы 1 и –1. Если ранги одинаковы для всех значений x_i и y_i, то все разности рангов $(d_x - d_y) = 0$ и $r_{xy}^{S} = 1$. Если ранги x_i и y_i расположены в обратном порядке, то $r_{xy}^{S} = -1$. Таким образом, коэффициент ранговой корреляции является мерой совпадения рангов значений x_i и y_i. Статистическую значимость вычисленного коэффициента корреляции Спирмена можно оценить, сравнив его по модулю с критическим значением $r_{xy_{кр.}}^{S}$ (при α=0,05) (таблица 9).

Таблица 9. Критические значения модуля коэффициента корреляции Спирмена для различного числа контрольных точек (при α=0,05).

n	$r_{xy_{кр.}}^{S}$
16	> 0,50
25	> 0,40
36	> 0,34

Если получен значимый положительный коэффициент корреляции, значит, выявлена прямая взаимосвязь между показателями. Если получен значимый отрицательный коэффициент корреляции, значит, выявлена обратная взаимосвязь между показателями. Пример расчета коэффициента корреляции Спирмена см. приложение 18.

Коэффициент корреляции Спирмена можно рассчитать между измеренными значениями мощности дозы гамма-излучения на высоте 10 и 100 см, а также между измеренными значениями МЭДГИ и величинами удельных активностей гамма-излучающих радионуклидов и $A_{эфф.}$ в почве с целью поиска взаимосвязей между этими показателями.

Заключение

По окончании практики по радиоэкологии студенты готовят отчет, состоящий из двух частей:

1. Акт радиационного контроля участка, составленный на основании результатов полевого радиоэкологического обследования территории, проведения комплекса необходимых лабораторных исследований и включающий в себя оценку результатов обследования, вынесение решения о соответствии требованиям санитарных правил и гигиенических нормативов обследованной территории и необходимых условиях использования, хранения, транспортировки изъятых грунтов и мерах безопасности при проведении строительных работ.

2. Характеристика радиоэкологической обстановки на участке. Эта часть отчета должна представлять собой небольшое научное исследование. Кроме обязательных для инженерно-экологических изысканий мероприятий при подготовке этой части отчета решаются дополнительные задачи: измерение мощности дозы гамма-излучений на высоте 10 см от поверхности почвы во всех контрольных точках, сравнение мощности дозы гамма-излучения на высоте 10 и 100 см, измерение ОАР в почвенном воздухе на разной глубине, оценка динамики ППР с поверхности почвы и ОАР в почвенном воздухе, измерение удельных активностей и анализ распределения ^{137}Cs и ЕРН в почвенном профиле, измерение удельных активностей ^{137}Cs и ЕРН во всех контрольных точках, исследование взаимосвязей между показателями и т.п.

Приложения

Приложение 1. Инструкция для работы с радиометром-дозиметром СРП-68-01

Исходное положение переключателя режимов измерения S1 – «3000 μR/h». Перед началом работы необходимо перевести переключатель режимов работы в положение «БАТ». По показанию стрелки прибора необходимо определить напряжение батареи, которое должно находиться в пределах 6,5-15 V (предел измерения 15 V). Измерения могут быть начаты через 1 минуту после включения прибора.

Далее, необходимо перевести переключатель режимов работы в положение «5», при этом показания стрелки прибора соответствуют мощности экспозиционной дозы, а постоянная времени интегрирования равна 5 с. Предел измерения зависит от выбранного режима измерения. Необходимо выбирать такой режим измерения, чтобы показания прибора были не менее 30% полной шкалы.

Приложение 2. Инструкция для работы с дозиметром-радиометром ДКС-96 с блоком детектирования БДВГ-96 в поисковом режиме

Необходимо оценить напряжение батареи. Информация о нем отображается в правом верхнем углу дисплея после включения прибора и опознания блока детектирования. Для подготовки прибора к работе необходимо перейти в СЕРВИС-МЕНЮ одновременным нажатием и удержанием в нажатом положении до появления звукового сигнала кнопок «Режим» и «Выбор». Последовательным нажатием кнопки «Режим» пролистать меню до пункта «Тип измерения». Выбрать его нажатием кнопки «Пуск». Последовательным нажатием кнопки «Режим» пролистать меню до пункта «Поиск». Выбрать его нажатием кнопки «Пуск». Нажатием кнопки «Выбор» перейти в МЕНЮ дозиметра-радиометра. Последовательным нажатием кнопки «Режим» выбрать режим «Изм». Дозиметр-радиометр готов к работе в режиме поиска.

После запуска прибора производится измерение уровня внешнего радиационного фона. Результат записывается в память

прибора, после чего автоматически начинается работа в режиме «Поиск». При этом производится сравнение величины уровня внешнего фона с текущими величинами радиационного фона в месте расположения блока детектирования. Визуальный контроль может осуществляться по символам «<» и «>» в верхней строке дисплея.

Приложение 3. Инструкция для работы с дозиметром-радиометром поисковым МКС/СРП-08А с блоком детектирования БДБС-25-01А в режиме поиска

При включении прибора по умолчанию устанавливается режим измерения мощности дозы. Проверка уровня зарядки аккумулятора осуществляется с помощью клавиши «батарейка». Для перевода прибора в поисковый режим через 20 с после его включения необходимо нажать и удерживать клавишу «+». Для запуска измерения скорости счета фона следует нажать клавишу «М». В этом режиме на табло в первой строке отображается текущая скорость счета в 1/с и время интегрирования (по умолчанию 4 с), а во второй строке - число циклов измерения. Рекомендуется провести не менее 20 циклов измерения фона. После набора необходимого числа циклов нажать клавишу «М». На табло в первой строке отображается скорость счета в ходе текущего измерения и время интегрирования, а во второй - измеренное значение средней скорости счета фона с учетом погрешности. Клавиша «Т» позволяет изменить продолжительность измерения.

Приложение 4. Форма протокола показаний поискового прибора

№ точки	Показания поискового прибора	
	Продольные маршруты	Поперечные маршруты
А1		
А2		
…		

Приложение 5. Инструкция по работе с дозиметром-радиометром ДРБП-01

Прибор необходимо перевести в режим измерения мощности эквивалентной дозы гамма-излучения («γ») и включить. Измерение начинается автоматически, по окончании измерения прибор подает звуковой сигнал и начинает новый цикл измерения. Результаты отображаются на дисплее в мкЗв/ч.

Приложение 6. Инструкция по работе с дозиметром-радиометром ДРГ-01Т

Прибор имеет режим самотестирования. После включения прибора и выбора диапазона измерения (мР/ч или мкР/ч), необходимо включить режим «Контр» и нажать кнопку «Сброс». На дисплее отобразиться число «513», которое обозначает, что батарея заряжена и прибор готов к работе. Переключив прибор в режим измерения необходимо нажать кнопку «Сброс». По окончании измерения на дисплее отображается результат. Для запуска следующего цикла измерения необходимо вновь нажать кнопку «Сброс». Следует отметить, что прибор предназначен для измерения мощности экспозиционной дозы. Для перевода результатов в единицы измерения мощности эквивалентной дозы (мкЗв/ч) необходимо использовать следующую формулу:

$$H = 0{,}0095 \times D_Э \times W \ \ (Зв/ч) \qquad (23),$$

где 0,0095 — энергетический эквивалент рентгена в биологической ткани (Гр/Р); $D_Э$ — мощность экспозиционной дозы (Р/ч); W — взвешивающий коэффициент (ранее использовалось название «коэффициент качества излучения»), зависящий от плотности ионизации среды излучением и отражающий степень его «биологической вредности», для гамма-излучения используется $W = 1$ Зв/Гр.

Приложение 7. Инструкция по работе с дозиметром-радиометром ДКС-96 с блоком детектирования БДМГ-96 в режиме измерения МЭДГИ

Необходимо оценить напряжение батареи. Информация о нем отображается в правом верхнем углу дисплея после включения

прибора и опознания блока детектирования. Для подготовки прибора к работе необходимо перейти в СЕРВИС-МЕНЮ одновременным нажатием и удержанием в нажатом положении до появления звукового сигнала кнопок «Режим» и «Выбор». Последовательным нажатием кнопки «Режим» пролистать меню до пункта «Тип измерения». Выбрать его нажатием кнопки «Пуск». Последовательным нажатием кнопки «Режим» пролистать меню до пункта «С заданным временем». Выбрать его нажатием кнопки «Пуск». В режиме установки параметров определить цифру старшего разряда времени: кнопка «Режим» — увеличение, кнопка «Выбор» — уменьшение. Нажатием кнопки «Пуск» подтвердить цифру старшего разряда времени. Одновременно произойдет переход к корректировке цифры следующего разряда. После подтверждения последней цифры произойдет возврат в СЕРВИС-МЕНЮ. Необходимо установить время измерения 20-30 с. Нажатием кнопки «Выбор» перейти в МЕНЮ дозиметра-радиометра. Последовательным нажатием кнопки «Режим» выбрать режим «Изм». Дозиметр-радиометр готов к работе в режиме измерения МЭДГИ в чувствительном диапазоне с заданным временем измерения.

Каждый замер производится с подсчетом величины статистической неопределенности измерения в диапазоне от 80 до 6,0%. Запуск процесса измерения осуществляется нажатием кнопки «Пуск». Процесс измерения завершается звуковым сигналом и индикацией на экране в течение 3-4 с результата измерения. Запуск второго и последующий циклов измерения осуществляется автоматически. При необходимости процесс измерения может быть остановлен нажатием кнопки «Пуск».

Приложение 8. Инструкция по работе с дозиметром-радиометром МКС/СРП-08А с блоком детектирования БДБС-25-01А в режиме измерения МЭДГИ

При включении прибора по умолчанию устанавливается режим измерения мощности дозы. С помощью клавиши «Т» следует выбрать необходимую продолжительность цикла измерения. Так как максимальная продолжительность цикла измерения составляет 8 с, следует увеличить число циклов измерения до 20. Запуск

второго и последующий циклов измерения осуществляется автоматически.

Приложение 9. Инструкция по работе с дозиметром-радиометром МКС-АТ6130С

Прибор сразу после включения переходит в режим измерения мощности дозы без ограничения времени измерения. При этом на дисплее отображается текущее значение мощности дозы (в мкЗв/час) и соответствующее ему значение статистической погрешности измерения (%). Новый цикл измерения можно запустить нажатием клавиши включения. При использовании дозиметра радиометра МКС-АТ6130С следует выбрать необходимый уровень статистической погрешности измерения (например, 20%) и начинать новый цикл измерения по достижении прибором этого уровня. Выключение прибора осуществляется быстрым трехкратным нажатием клавиши включения.

Приложение 10. Форма протокола измерения МЭДГИ

№ точки	*H*, мкЗв/ч										$\overline{H_i}$, мкЗв/ч	S, мкЗв/ч	Δ, мкЗв/ч
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
А1													
А2													
…													

Среднее (средневзвешенное) значение мощности дозы гамма-излучения для обследуемой территории составляет $\overline{H}$ ±Δ мкЗв/ч.

Приложение 11. Инструкция по работе с радиометром радона РРА-01М-01

При работе с РРА-01М-01 всегда используется штуцер № 2 на задней панели РРА, при этом штуцер № 1 должен быть закрыт резиновой заглушкой. Измерение ОАР проводят в режиме «Air2». При входе в режим «Air2» после нажатия кнопки «2», на мониторе появляется надпись:

```
Air2: T=20 min          00:01:
Start ? (1)
```

Через 2,5 мин подаётся высокое напряжение на сетку измерительной камеры радиометра и на мониторе появляется надпись:

```
Air2: HV ϟ     2:30            00:05:
    AIR pump   2:31
```

По окончании 3-минутной работы воздуходувки отобранная проба автоматически измеряется в течение 20 мин.

```
Air2 HV ϟ      3:00   N=1      00:06:
               00:04            Meaϟ
```

N — число зарегистрированных альфа-распадов ^{218}Po на текущее время измерения. В нижней строке отображается текущее время измерения пробы.

В данном режиме используются встроенный алгоритм прогнозирования результатов измерений, спустя 3 мин после начала измерения появляется результат, который уточняется через каждую минуту. На мониторе появляется следующее сообщение:

```
Air2 3:01              N=1      00:06:
    Q=28±14 Bq/m3               Meaϟ
```

Теперь сразу после надписи «Air2» на экране указывается текущее время измерения пробы, а в нижнем левом углу прогноз величины ОАР.

Окончательное значение ОАР вычисляется только по окончании измерений. Окончание измерений фиксируется также прерывистым звуковым сигналом в течение 3 мин.

После пятикратного измерения ОАР в каждой пробе необходимо освободить штуцеры радиометра и запустить режим «Pump» (кнопки «6» и «СТАРТ») для продувки измерительной камеры воздухом лаборатории. В режиме «Pump» работа воздуходувки продолжается 4 мин. На мониторе фиксируется время работы и остановки воздуходувки.

Продувка системы может быть осуществлена с помощью насоса ПОУ.

Приложение 12. Инструкция по работе с радиометром радона РРА-01М-03

При работе с РРА-01М-03 штуцер № 1 на задней панели РРА используется для перемешивания пробы с помощью насоса ПОУ, при этом штуцер № 2 должен быть закрыт резиновой заглушкой. Если перемешивание осуществляется с помощью собственного насоса радиометра, то должен использоваться штуцер № 2, а штуцер № 1 должен быть закрыт резиновой заглушкой.

Запуск измерения осуществляется нажатием кнопки «СТАРТ». При этом включается воздуходувка, обеспечивающая прокачку воздуха через измерительную камеру в течение 5 минут, а на индикаторе отображается следующая информация:

```
101        01  Jan   99       18:15
N =0            03:02        Tn 20
Rn < 20  Bq/m3
21         23ºC     768  mmHg    35%
```

Во второй строке отображается время, оставшееся до конца работы воздуходувки. В третьей строке —результат измерения ОАР предыдущей пробы. В четвертой — серия измерений, температура, давление и влажность воздуха.

Через 4,5 мин подаётся высокое напряжение на сетку измерительной камеры. По окончании 5-минутной работы воздуходувки отобранная проба автоматически измеряется в течение 20 мин. Окончательное значение ОАР автоматически вычисляется процессором радиометра только по окончании измерения. Если полученное значение ОАР выходит за предел нижней границы диапазона измерений радиометра, на индикаторе по окончании измерения появляется информация: Rn<20 Bq/m3, N — число зарегистрированных альфа-распадов ^{218}Po (для определения ^{222}Rn), Tn — число зарегистрированных альфа-распадов ^{216}Po (для определения ^{220}Rn (Tn) - торона).

Измерение повторяется трижды без включения микровоздуходувки. После окончания трех измерения автоматически включается микровоздуходувка и новый цикл измерений повторяется. Для остановки измерений следует нажать и удерживать 2 с кнопку «СБРОС».

После пятикратного измерения ОАР в каждой пробе необходимо освободить штуцеры радиометра и запустить продувку измерительной камеры воздухом лаборатории нажатием кнопки «СТАРТ». По окончании продувки системы следует остановить начавшееся измерение, нажав и удерживая 2 с кнопку «СБРОС».

Продувка системы может быть осуществлена с помощью насоса ПОУ.

Приложение 13. Форма протокола измерения ППР

ПРОТОКОЛ ИЗМЕРЕНИЯ ПЛОТНОСТИ ПОТОКА ^{222}Rn
В КОНТРОЛЬНОЙ ТОЧКЕ [3]

1. Место отбора пробы _____
2. Номер контрольной точки _____
3. Дата отбора пробы: _____
4. Номер пробоотборника: _____
5. Время окончания отбора, t_1: _____
6. Время начала измерений, t_2: _____
7. Площадь накопительной камеры: _____
(S_1=0.0163 м^2, S_2=0.0016 м^2).
8. Измерение фоновой концентрации радона в камере РРА:

№	1	2	3	4	5
$Q_Ф$, Бк·м$^{-3}$					

Фоновая ОАР $Q_Ф$: _____ Бк·м$^{-3}$.

9. Измерение объемной активности ^{222}Rn, Q, Бк·м$^{-3}$:

№	1	2	3	4	5
Q, Бк·м$^{-3}$					

ОАР, Q: _____ Бк·м$^{-3}$.

10.Плотность потока ^{222}Rn в контрольной точке,
ППР = _____±_____ мБк·с$^{-1}$·м$^{-2}$.

Измерения выполнены радиометром радона РРА-01М-_____
зав. №_____.

Свидетельство о поверке №_____.

Измерения выполнили: _____ / Ф.И.О. /
_____ / Ф.И.О. /

Приложение 14. Форма протокола измерения ОАР в почвенном воздухе

ПРОТОКОЛ ИЗМЕРЕНИЙ ОАР В ПОЧВЕННОМ ВОЗДУХЕ [4]

1. Место отбора пробы: _____
2. Дата отбора пробы: _____
3. Номер пробоотборника: _____
4. Время окончания отбора, t_1: _____
5. Время начала измерений, t_2: _____
6. Измерение собственного фона РРА:

№	1	2	3	4	5
$Q_Ф$, Бк·м$^{-3}$					

Фоновая ОАР $Q_Ф$: _____ Бк·м$^{-3}$.

7. Измерение объемной активности ^{222}Rn, Q, Бк·м$^{-3}$:

№	1	2	3	4	5
Q, Бк·м$^{-3}$					

ОАР, Q: _____ Бк·м$^{-3}$.

8. ОАР в почвенном воздухе, $Q_П$ = _____±_____ Бк·м$^{-3}$.

Измерения выполнены радиометром радона РРА-01М-_____ зав. №_____.

Свидетельство о поверке №_____.

Измерения выполнили: _____ / Ф.И.О. /

_____ / Ф.И.О. /

Приложение 15. Инструкция по работе с полевым портативным спектрометром СКС-99 «Спутник»

К блоку управления подключить блок детектирования БДФИ-02, предварительно поместив его рабочей поверхностью вверх в свинцовый коллиматор и зафиксировав зажимной винт. Включить блок управления. Через 5 мин. СКС-99 готов к работе.

Калибровка

Установить контрольный источник ^{22}Na в «толстую» крышку коллиматора. Установить блок детектирования на контрольный источник, совместить выступы на коллиматоре с пазами крышки.

Нажать клавишу «С», на экран будет выведено меню «ПУСК/ОБРАБОТКА». Выбрать стрелочками «←» или «→»

пункт меню «ПУСК» и нажать кнопку «ВВОД». На экран будет выведено меню «КАЛИБРОВКА/ФОН/ИЗМЕРЕНИЕ». Выбрать стрелочками «←» или «→» пункт меню «КАЛИБРОВКА» и нажать кнопку «ВВОД». На экране появится приглашение: «Установите калибровочный источник на детектор». Запустить калибровку нажатием кнопки «ВВОД». Калибровка проводится по гамма-линии ^{22}Na (1275 кэВ) и гамма-линии аннигиляционных гамма-квантов (511 кэВ), возникающих в результате взаимодействия позитронов, испускаемых ^{22}Na, с электронами вещества калибровочного источника. Продолжительность калибровки – 100 с.

По окончании калибровки подается звуковой сигнал и на экран выводятся результаты калибровки: каналы, в которые попадают гамма-кванты с энергиями 511 и 1275 кэВ и контрольная скорость счета. Результаты калибровки должны соответствовать значениям, указанным в свидетельстве о поверке с допуском в 10% с учетом распада ^{22}Na. Необходимо подтвердить результаты калибровки нажатием кнопки «ВВОД».

Калибровка проводится перед каждым измерением.

Измерение фона

Убрать калибровочный источник и установить блок детектирования в «толстую» крышку коллиматора, совместить выступы на коллиматоре с пазами крышки.

Нажать клавишу «С», на экран будет выведено меню «ПУСК/ОБРАБОТКА». Выбрать стрелочками «←» или «→» пункт меню «ПУСК» и нажать кнопку «ВВОД». На экран будет выведено меню «КАЛИБРОВКА/ФОН/ИЗМЕРЕНИЕ». Выбрать стрелочками «←» или «→» пункт меню «ФОН» и нажать кнопку «ВВОД». На экране появится приглашение: «Убрать источник с детектора». Запустить измерение фона нажатием кнопки «ВВОД». Продолжительность измерения – 1800 с. По окончании измерения на экран выводится результат в виде «Скорость счета в интервале от 300 до 3000 кэВ – 8,21 имп/с». Конкретный результат измерения фона зависит от гамма-фона территории.

Нажать кнопку «ВВОД». Фоновый спектр будет сохранен в буфере 1 блока управления.

Измерение удельных активностей гамма-излучающих радионуклидов

Установить блок детектирования в «тонкую» крышку коллиматора, совместить выступы на коллиматоре с пазами крышки. Установить блок детектирования на поверхность исследуемого объекта.

Нажать клавишу «С», на экран будет выведено меню «ПУСК/ОБРАБОТКА». Выбрать стрелочками «←» или «→» пункт меню «ПУСК» и нажать кнопку «ВВОД». На экран будет выведено меню «КАЛИБРОВКА/ФОН/ИЗМЕРЕНИЕ». Выбрать стрелочками «←» или «→» пункт меню «ИЗМЕРЕНИЕ» и нажать кнопку «ВВОД». На экране появится меню с названиями аттестованных геометрий измерения. Выбрать стрелочками «←» или «→» нужную геометрию и нажать кнопку «ВВОД». Продолжительность измерения – 1800 с. По окончании измерения на экран выводятся значения измеряемых величин и погрешности их определения. При необходимости измерение может быть остановлено раньше нажатием кнопки «С».

Приложение 16. Построение картосхемы мощности дозы гамма-излучения

Метод треугольников – один из наиболее распространенных способов построения изолиний. Этот метод заключается в том, что форма дозного поля представляется в виде системы плоскостей, каждая из которых строится по трем точкам.

Сначала проводится разбивка на треугольники. Для этого соединяют между собой смежные контрольные точки, в результате чего получается система треугольников (рисунок 11 А). Начинать следует с точек с максимальными или минимальными величинами показателя. Стороны треугольников не должны пересекаться друг с другом, а треугольники должны быть как можно более равносторонними (в случае равномерной сетки, как это принято при проведении радиоэкологического обследования, треугольники будут прямоугольными). Вдоль каждой стороны треугольника предполагается равномерное изменение абсолютной величины показателя.

Затем проводится линейная интерполяция – пропорциональное деление расстояния между точкми согласно выбранному сечению.

Для этого нужно найти те места на отрезках между точками, где должны проходить изолинии при выбранном сечении (рисунок 11 B).

Полученные на сторонах треугольников значения изолиний для удобства построения картосхемы подписываются (рисунок 11 C), и одноименные значения соединяются линиями, начиная от максимальных или минимальных значений (рисунок 11 D).

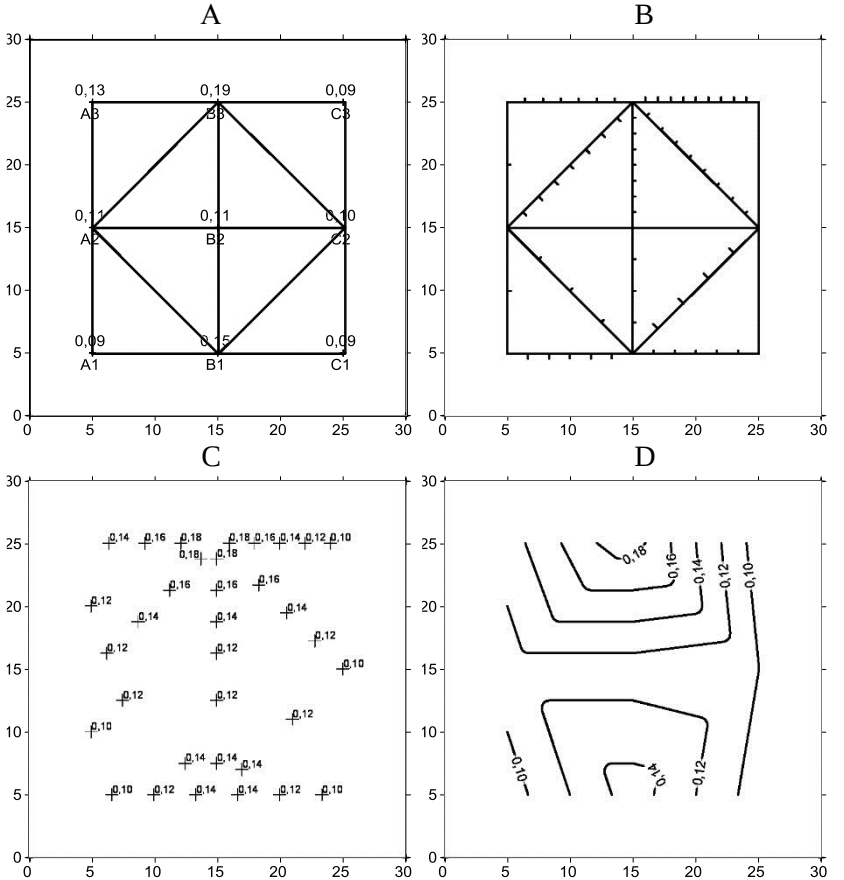

Рисунок 11. Построение картосхемы мощности дозы гамма-излучения методом треугольников.

Картосхемы могут быть построены и с помощью программных продуктов, например, Surfer, ArcGIS, MapInfo и т.п. В пакете Surfer

предусмотрены разные алгоритмы построения изолиний. Есть среди них и метод треугольника (Triangulation with Linear Interpolation), но чаще используется алгоритм Kriging. При его использовании предполагается, что расстояние или направление между опорными точками отражает пространственную корреляцию, которая может использоваться для объяснения изменения поля. (рисунок 12).

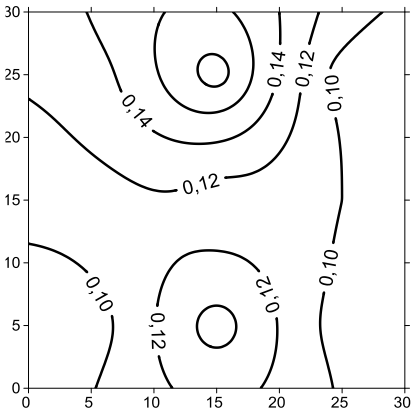

Рисунок 12. Картосхема мощности дозы гамма-излучения, построенная в пакете Surfer с применением алгоритма Kriging.

Аналогичным образом могут быть построены картосхемы удельных активностей радионуклидов.

Приложение 17. Пример сравнения МЭДГИ (мкЗв/ч) на высоте 10 и 100 см с помощью расчета на основе критерия знаков

№ точки	МЭДГИ 10 см	МЭДГИ 100 см	Знак z_i
A1	0.14	0.12	+
A2	0.12	0.14	–
A3	0.14	0.12	+
A4	0.12	0.11	+
A5	0.12	0.13	–
B1	0.15	0.13	+
B2	0.12	0.09	+
B3	0.12	0.11	+
B4	0.11	0.11	0
B5	0.14	0.12	+
C1	0.13	0.14	–
C2	0.15	0.11	+
C3	0.14	0.13	+
C4	0.14	0.12	+
C5	0.12	0.14	–
D1	0.10	0.09	+
D2	0.12	0.10	+
D3	0.10	0.12	–
D4	0.14	0.10	+
D5	0.12	0.10	+
E1	0.13	0.14	–
E2	0.14	0.12	+
E3	0.16	0.12	+
E4	0.13	0.11	+
E5	0.11	0.10	+

$S_+ = 18$; $S_- = 6$; $S_{кр.}(n=25) = 8$

$S_- < S_{кр.}$

Ответ: Показатель «МЭДГИ 10 см» статистически значимо (α=0,05) больше, чем «МЭДГИ 100 см»

Приложение 18. Пример расчета коэффициента ранговой корреляции Спирмена между показателями: МЭДГИ (мкЗв/ч) на высоте 10 см и удельной активностью ^{226}Ra в слое 0-10 см почвы

№ точ-ки	МЭДГИ 10 см (мкЗв/ч) x	А(^{226}Ra) (Бк/кг) y	Ранг x d_x	Ранг y d_y	d_x-d_y	$(d_x-d_y)^2$
A1	0.14	24.3	18.5	17	1.5	2.25
A2	0.12	22.8	7.5	5	2.5	6.25
A3	0.14	23.8	18.5	12	6.5	42.25
A4	0.12	25.1	7.5	21	-13.5	182.25
A5	0.12	22.4	7.5	3	4.5	20.25
B1	0.15	24.5	23.5	19	4.5	20.25
B2	0.12	23.3	7.5	6	1.5	2.25
B3	0.12	22.1	7.5	1	6.5	42.25
B4	0.11	22.4	2.5	3	-0.5	0.25
B5	0.14	24.0	18.5	14	4.5	20.25
C1	0.13	23.7	13	11	2	4
C2	0.15	24.4	23.5	18	5.5	30.25
C3	0.14	25.6	18.5	24	-5.5	30.25
C4	0.14	25.8	18.5	25	-6.5	42.25
C5	0.12	23.9	7.5	13	-5.5	30.25
D1	0.10	22.2	1	2	-1	1
D2	0.12	23.6	7.5	9	-1.5	2.25
D3	0.13	24.1	13	15	-2	4
D4	0.14	23.5	18.5	8	10.5	110.25
D5	0.12	23.6	7.5	9	-1.5	2.25
E1	0.14	25.4	18.5	23	-4.5	20.25
E2	0.14	24.9	18.5	20	-1.5	2.25
E3	0.16	25.2	25	22	3	9
E4	0.13	24.2	13	16	-3	9
E5	0.11	23.4	2.5	7	-4.5	20.25
$\sum_{i=1}^{n}(d_x-d_y)^2=656$						

$$r_{xy}^{S}=1-\frac{6\times\sum_{i=1}^{n}(d_x-d_y)^2}{n(n^2-1)}=1-\frac{6\times656}{25\times(25^2-1)}=+0.75>0.50$$

Ответ: получен статистически значимый (при α=0,05) положительный коэффициент корреляции Спирмена, следовательно, выявлена прямая взаимосвязь между показателем МЭДГИ на высоте 10 см и удельной активностью ^{226}Ra в слое 0-10 см почвы.

Литература

1. Липатов Д.Н., Манахов Д.В. Оптимизация почвенного пробоотбора при мониторинге загрязнения биогеоценозов элементами техногенной природы // Вестник Московского университета. Серия 17: Почвоведение. 2003. № 1. С. 16–23.
2. Щеглов А.И. Биогеохимия техногенных радионуклидов в лесных экосистемах: По материалам 10-летних исследований в зоне влияния аварии на ЧАЭС / А.И. Щеглов, Москва: Наука, 2000. 268 с.
3. Методика экспрессного измерения плотности потока 222Rn с поверхности земли с помощью радиометра радона типа РРА. М., 2004. 21 с.
4. Методика экспрессного измерения объемной активности 222Rn в почвенном воздухе с помощью радиометра радона типа РРА. М., 2004. 16 с.
5. СП 47.13330.2016. Инженерные изыскания для строительства. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 11-02-96.
6. СанПиН 2.6.1.2523 09. Нормы радиационной безопасности. НРБ-99/2009.
7. СП 2.6.1.2612 10. Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности. ОСПОРБ-99/2010.
8. МУ 2.6.1.2398-08. Радиационный контроль и санитарно-эпидемиологическая оценка земельных участков под строительство жилых домов, зданий, сооружений общественного и производственного назначения в части обеспечения радиационной безопасности.
9. ГОСТ 17.4.3.01-83. Охрана природы. Почвы. Общие требования к отбору проб.
10. МУ 13.5.13-00. Организация государственного радиоэкологического мониторинга агроэкосистем в зоне воздействия радиационно опасных объектов (утв. Минсельхозом РФ 7 августа 2000 г.).
11. Закон РФ от 15.05.1991 №1244-1 (ред. от 30.10.2017) «О социальной защите граждан, подвергшихся воздействию радиации вследствие катастрофы на Чернобыльской АЭС».
12. ГОСТ 30108-94. Материалы и изделия строительные. Определение удельной эффективной активности естественных радионуклидов.

Учебное издание

МАНАХОВ Дмитрий Валентинович
ЛИПАТОВ Денис Николаевич
ЩЕГЛОВ Алексей Иванович

ПРАКТИКА ПО РАДИОЭКОЛОГИИ

Учебно-методическое пособие для студентов факультета почвоведения МГУ

Отпечатано с готового оригинал-макета
Издательство «МАКС Пресс»
Главный редактор: Е. М. Бугачева
Обложка: М. А. Еронина

Подписано в печать 28.06.2018 г.
Формат 60x90 1/16. Усл.печ.л. 3,5.
Тираж 100 экз. Изд. № 130.

Издательство ООО “МАКС Пресс”
Лицензия ИД N 00510 от 01.12.99 г.
119992, ГСП-2, Москва, Ленинские горы,
МГУ им. М.В. Ломоносова,
2-й учебный корпус, 527 к.
Тел. 8(495)939-3890/91. Тел./Факс 8(495)939-3891.

Настоящее пособие является методическим руководством для практики по радиоэкологии, которая проводится в летний период на базе Учебно-опытного почвенно-экологического центра МГУ «Чашниково».

МАКС ПРЕСС