



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
2026**

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

*Второе издание,
дополненное и переработанное*



МОСКВА – 2026

УДК 504.055:504.064(075.8)

ББК 20.18:28.080.1я73

П69



<https://elibrary.ru/hobjok>

*Рекомендовано Ученым советом факультета почвоведения МГУ
в качестве учебного пособия для студентов факультета почвоведения МГУ,
обучающихся по направлению 05.03.06 «Экология и природопользование»*

Рецензенты:

С.И. Спиридонов – д-р биол. наук, проф., главный научный сотрудник
Курчатовского комплекса радиологии и агроэкологии
НИЦ «Курчатовский институт»;

Н.В. Кузьменкова – канд. геогр. наук, старший научный сотрудник
Аналитического центра МГУ химического факультета МГУ имени М. В. Ломоносова

Манахов, Дмитрий Валентинович.

П69 Практика по радиоэкологии : Учебное пособие для студентов
факультета почвоведения МГУ / Д.В. Манахов, Д.Н. Липатов,
А.И. Щеглов. – 2-е изд., доп. и перераб. – Москва : МАКС Пресс,
2026. – 56 с. : ил.

ISBN 978-5-317-07602-3

<https://doi.org/10.29003/m5327.978-5-317-07602-3>

Настоящее пособие является 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 радиационно-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, радиационно-экологические исследования, инженерно-экологические изыскания, радиоэкологический мониторинг.

УДК 504.055:504.064(075.8)

ББК 20.18:28.080.1я73

Издание осуществлено в авторской редакции

ISBN 978-5-317-07602-3

© Д. В. Манахов, Д. Н. Липатов, А. И. Щеглов, 2018
© Д. В. Манахов, Д. Н. Липатов, А. И. Щеглов, 2026,
с изменениями
© Оформление. МАКС Пресс, 2026

Оглавление

Введение	5
Дозиметрическое обследование территории	5
Поисковая гамма-съемка	6
Измерение МАЭДГИ	10
Определение потенциальной радоноопасности территории.....	14
Определение плотности потока ^{222}Rn с поверхности почвы с предварительным отбором проб	15
Определение объемной активности ^{222}Rn в почвенном воздухе с предварительным отбором проб	22
Отбор почвенных и растительных проб в радиационных исследованиях	24
Определение удельных активностей ^{137}Cs и естественных радионуклидов с помощью лабораторных и полевых гамма- спектрометров	29
Обработка и оформление полученных результатов радиационного исследования	32
Заключение	35
Приложения.....	37
Приложение 1. Инструкция для работы с радиометром- дозиметром СРП-68-01	37
Приложение 2. Инструкция для работы с дозиметром- радиометром ДКС-96 с блоком детектирования БДВГ-96 в поисковом режиме.....	37
Приложение 3. Инструкция для работы с дозиметром- радиометром поисковым МКС/СРП-08А с блоком детектирования БДБС-25-01А в режиме поиска	38
Приложение 4. Форма протокола показаний поискового прибора	39
Приложение 5. Инструкция по работе с дозиметром- радиометром ДКС-96 с блоком детектирования БДМГ-96 в режиме измерения МАЭДГИ	39
Приложение 6. Инструкция по работе с дозиметром- радиометром МКС/СРП-08А с блоком детектирования БДБС-25-01А в режиме измерения МАЭДГИ.....	40
Приложение 7. Инструкция по работе с дозиметром- радиометром МКС-АТ6130С	40
Приложение 8. Форма протокола измерения МАЭДГИ	41
Приложение 9. Инструкция по работе с радиометром радона РРА-01М-01	41

Приложение 10. Инструкция по работе с радиометром радона РРА-01М-03	43
Приложение 11. Инструкция по работе с радиометром радона Альфарад плюс АР	44
Приложение 12. Форма протокола измерения ППР	46
Приложение 13. Форма протокола измерения ОАР в почвенном воздухе	47
Приложение 14. Инструкция по работе с полевым портативным спектрометром СКС-99 «Спутник»	47
Приложение 15. Построение картосхемы МАЭДГИ.....	49
Приложение 16. Пример сравнения МАЭДГИ (мкЗв/ч) на высоте 10 и 100 см с помощью расчета на основе критерия знаков	52
Приложение 17. Пример расчета коэффициента ранговой корреляции Спирмена между показателями МАЭДГИ (мкЗв/ч) на высоте 10 см и удельной активностью ^{226}Ra в слое 0-10 см почвы	53
Литература.....	54

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, вследствие аварий на предприятиях ядерного топливного цикла.

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» [13], введенный в действие с 1 июля 2017 г.

Согласно этому документу, исследование и оценку радиационной обстановки выполняют по требованиям НРБ-99/2009 [11] и ОСПОРБ-99/2010 [12], а также других федеральных и ведомственных нормативно-методических документов.

Радиационно-экологические исследования следует выполнять в соответствии с МР 2.6.1.0361-24 [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 материалов¹.

Дозиметрическое обследование территории

Определение мощности амбиентного эквивалента дозы гамма-излучения и выявление локальных радиационных аномалий

¹ В МУ 2.6.1.2398-08 [10], действовавших ранее, предусматривалось также определение радиационных характеристик источников водоснабжения, если предполагалось их использование.

(дозиметрическое обследование территории) проводится в два этапа (рисунок 1).

Поисковая гамма-съемка

На первом этапе проводится поисковая гамма-съемка территории с целью выявления и локализации возможных радиационных аномалий и определения объема дозиметрического контроля при измерениях **мощности амбиентного эквивалента дозы гамма-излучения (МАЭДГИ)**. 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). Общее число контрольных точек определяется из расчета не менее 10 точек на 1 га, но не менее 5 точек на участке меньшей площади.

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.

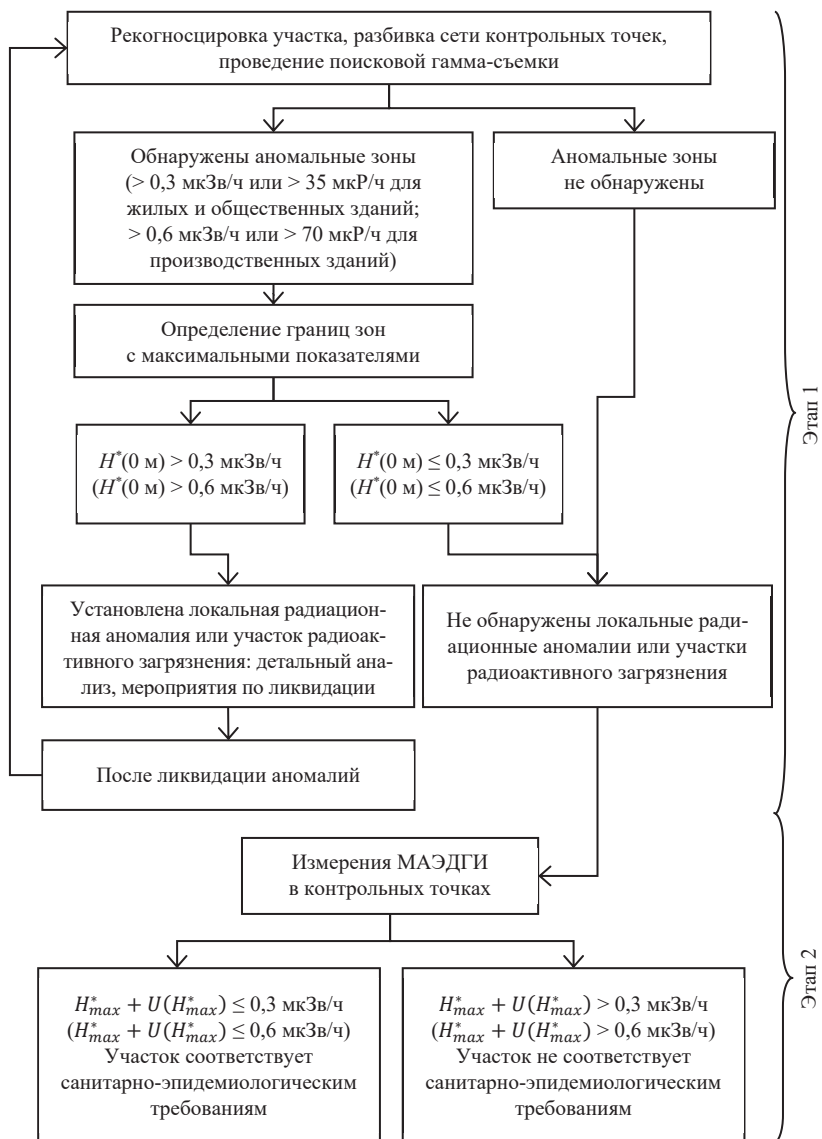


Рисунок 1. Порядок проведения гамма-съемки и определения МАЭДГИ.

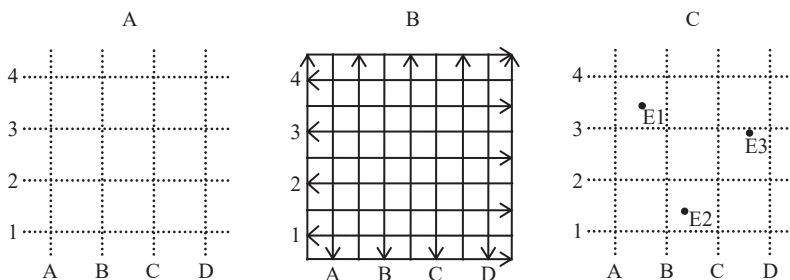


Рисунок 2. Схема разбиения исследуемого участка сеткой, расположение маршрутов поисковой гамма-съемки и назначение контрольных точек при дозиметрическом обследовании территории.

Для проведения **первого этапа** дозиметрического обследования следует применять поисковые радиометры или дозиметры гамма-излучения, градуированные в единицах МАЭДГИ или мощности экспозиционной дозы гамма-излучения, имеющие выносные, в том числе на телескопической штанге, блоки детектирования и поисковый режим работы со звуковой индикацией. Эти приборы должны обеспечивать регистрацию потока гамма-квантов в диапазоне энергий 0,05-3,00 МэВ². 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 МАЭДГИ или мощности экспозиционной дозы гамма-излучения.

Показания поискового прибора в контрольных точках фиксируются в протоколе (приложение 4). Если по результатам гамма-съемки показания поискового прибора превышают значения 0,3 мкЗв/ч (35 мкР/ч) на земельных участках под строительство жилых домов, зданий и сооружений общественного назначения

² В МУ 2.6.1.2398-08 [10], действовавших ранее, допускалось применение радиометров, градуированных в импульсах в секунду (1/с).

или 0,6 мкЗв/ч (70 мкР/ч) на участках под строительство зданий и сооружений производственного назначения, то в контрольных точках, где зафиксированы максимальные показания поискового прибора, проводится измерение МАЭДГИ вплотную к поверхности (при этом принимаются меры по предотвращению загрязнения детектора). Радиационной аномалией считается участок территории, где МАЭДГИ вплотную к поверхности превышает 0,3 мкЗв/ч на земельных участках под строительство жилых домов, зданий и сооружений общественного назначения или 0,6 мкЗв/ч на участках под строительство зданий и сооружений производственного назначения.

Если МАЭДГИ вплотную к поверхности земли не превышает указанных значений, то считается, что радиационные аномалии на участке территории отсутствуют.

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 необходимо определить границы их локализации на поверхности почвы и точки с максимальными значениями МАЭДГИ, которые необходимо маркировать на местности и нанести на план участка (рисунок 2 С). Границы радиационной аномалии устанавливаются по уровням МАЭДГИ вплотную к поверхности земли (0,3 мкЗв/ч на земельных участках под строительство жилых домов, зданий и сооружений общественного назначения или 0,6 мкЗв/ч на участках под строительство зданий и сооружений производственного назначения).

В точках с максимальными значениями МАЭДГИ проводится отбор проб грунта для определения радионуклидного состава загрязнения и удельной активности радионуклидов в грунтах.

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 МАЭДГИ слоями толщиной около 5 см с измерением МАЭДГИ на дне лунки после снятия каждого слоя. Если МАЭДГИ после снятия очередного слоя не возрастает, то отбор проб прекращают, а отобранные пробы направляют на анализ. Если МАЭДГИ после снятия очередного слоя возрастает, то отбор проб продолжают до глубины не менее 0,3 м. Если МАЭДГИ 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. Детализация и ликвидация (деактивация) локальных радиационных аномалий осуществляется в соответствии с санитарно-эпидемиологическими требованиями силами лицензированной организации. Работы по изъятию и перемещению грунта (покрытия, материала) на участке территории с выявленными радиационными аномалиями, в том числе связанные с ликвидацией радиационных аномалий, проводятся под радиационным контролем.

После окончания работ по ликвидации локальных радиационных аномалий проводится повторное обследование.

Измерение МАЭДГИ

На **втором этапе** проводятся измерения МАЭДГИ 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 черновобильских

выпадений, и относительной погрешности измерения МАЭДГИ равной 15-20%, минимально необходимое количество контрольных точек составляет 15-20 [4].

Измерение МАЭДГИ на контролируемом участке проводят с помощью дозиметров. На практике по радиоэкологии могут быть использованы дозиметры разных типов: ДКС-96 с блоком детектирования БДМГ-96 (приложение 5), МКС/СРП-08А с блоком детектирования БДБС-25-01А (приложение 6) и МКС-АТ6130С (приложение 7).

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 МАЭДГИ 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 МАЭДГИ выполняется в 10-кратной повторности в каждой точке. Результаты измерений МАЭДГИ заносятся в протокол (приложение 8).

За результат измерений МАЭДГИ в каждой контрольной точке принимается результат длительного измерения (при использовании интегральных дозиметров) или среднее арифметическое по данным всех выполненных в ней измерений:

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

При использовании интегральных дозиметров расчет суммарной стандартной относительной неопределенности для однократного измерения проводится по формуле:

$$u_c = \sqrt{\frac{\left(\frac{\Delta H^*}{H^*} \cdot 100\%\right)^2 + \theta_1^2 + \dots + \theta_m^2}{3}}, \% \quad (2),$$

где H^* – результат измерения МАЭДГИ; ΔH^* – погрешность результата измерения, отображаемая на экране средства измерения;

$\theta_1 \dots \theta_m$ – пределы допускаемых дополнительных относительных погрешностей согласно эксплуатационной документации на средство измерения.

Для многократных измерений отдельно оценивается стандартная относительная неопределенность по типу А (обусловленная источниками неопределенности, имеющими случайный характер) по формуле (3) и стандартная относительная неопределенность по типу В (обусловленная не исключёнными остатками систематических погрешностей) по формуле (4):

$$u_A = \frac{1}{\bar{H}} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (H_i^* - \bar{H}^*)^2}{n(n-1)}} \cdot 100\% \quad (3),$$

$$u_B = \sqrt{\frac{\theta^2 + \theta_1^2 + \dots + \theta_m^2}{3}}, \% \quad (4),$$

где n — количество измерений; H_i^* — показания дозиметра при i -ом измерении; $\bar{H}^*$ — среднее арифметическое, рассчитанное по формуле (1); θ – предел основной допускаемой относительной погрешности; $\theta_1 \dots \theta_m$ – пределы допускаемых дополнительных относительных погрешностей согласно эксплуатационной документации на средство измерения.

Расчет суммарной стандартной относительной неопределенности многократных измерений производится по формуле:

$$u_C = \sqrt{u_A^2 + u_B^2}, \% \quad (5).$$

Расширенная относительная неопределенность для коэффициента охвата $k=2$ ($p=0,95$) рассчитывается по формуле:

$$\tilde{U} = 2 \cdot u_C, \% \quad (6).$$

Абсолютная расширенная неопределенность для однократных и многократных измерений рассчитывается по формулам (7) и (8) соответственно:

$$U = 0,01 \cdot \tilde{U} \cdot H \quad (7),$$

$$U = 0,01 \cdot \tilde{U} \cdot \bar{H} \quad (8).$$

Оценка соответствия санитарно-эпидемиологическим требованиям участка под строительство проводится по максимальной для участка величине МАЭДГИ с учетом абсолютной расширенной неопределенности:

$$H_{max}^* + U(H_{max}^*) \quad (9).$$

На участках под строительство жилых домов, зданий и сооружений общественного назначения эта величина не должна превышать 0,3 мкЗв/ч, а под строительство зданий и сооружений производственного назначения – 0,6 мкЗв/ч (рисунок 1)³. В этом случае участок признается соответствующим санитарно-эпидемиологическим требованиям.

Для уточнения величины МАЭДГИ можно выполнить дополнительные измерения с применением дозиметров, имеющих меньшую погрешность, или дозиметров с известными значениями собственного фона и отклика на космическое излучение ($H_{ф+к}$)⁴.

³ В МУ 2.6.1.2398-08 [10], действовавших ранее, оценка соответствия санитарно-эпидемиологическим требованиям участка под строительство проводилась не только по максимальной величине МАЭДГИ, но и по средней для участка (в случае отсутствия локальных радиационных аномалий) или средневзвешенной (для участков с локальными радиационными аномалиями) величине МАЭДГИ с учетом стандартной неопределенности, которые рассчитывались по формулам:

$$\overline{H}^* = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \overline{H}_j^* \quad ,$$

где N — количество контрольных точек, $\overline{H}_j$ — среднее значение МАЭДГИ в j -ой точке.

$$\overline{H}_{ср.взв.}^* = \frac{1}{S} \sum_{i=1}^M S_j \overline{H}_j^* \quad ,$$

где M — количество зон, на которые разбит земельный участок, S_j — площадь j -ой зоны, $\overline{H}_j^*$ — среднее значение МАЭДГИ в пределах j -ой зоны, S — общая площадь участка. В число зон, по которым проводится суммирование, должны быть включены также зоны локальных радиационных аномалий после их ликвидации.

$$\Delta = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^M (\overline{H}^* - \overline{H}_j^*)^2}{M(M-1)}} \quad ,$$

где M — общее количество точек измерений или общее количество зон, на которые разбит земельный участок, $\overline{H}^*$ — среднее (или средневзвешенное) значение МАЭДГИ, $\overline{H}_j^*$ — среднее значение МАЭДГИ в j -ой точке или в пределах j -ой зоны.

⁴ В МУ 2.6.1.2398-08 [10], действовавших ранее, значения собственного фона и отклика на космическое излучение ($H_{ф+к}^*$) предлагалось определять над водной поверхностью при глубине воды не менее 5 м и расстоянии до берега не менее 50 м. В этом случае за результат измерения МАЭДГИ в каждой точке нужно принимать разность между показаниями дозиметра и значением $H_{ф+к}^*$.

Определение потенциальной радоноопасности территории

Показателем радиационной безопасности, характеризующим потенциальную радоноопасность территории, 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/(м²×с)) (см. рисунок 3). При отсутствии привязки проектируемого здания на земельном участке измерение ППР проводится в узлах сети контрольных точек по всему участку.

Определение численных значений ППР на земельном участке проводится в узлах сети контрольных точек, количество которых обусловлено площадью участка (таблица 2). 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 2. Параметры заложения сети контрольных точек для определения ППР.

Площадь обследуемого участка	Контуры проектируемых зданий не определены: по сетке 25 x 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 x 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.

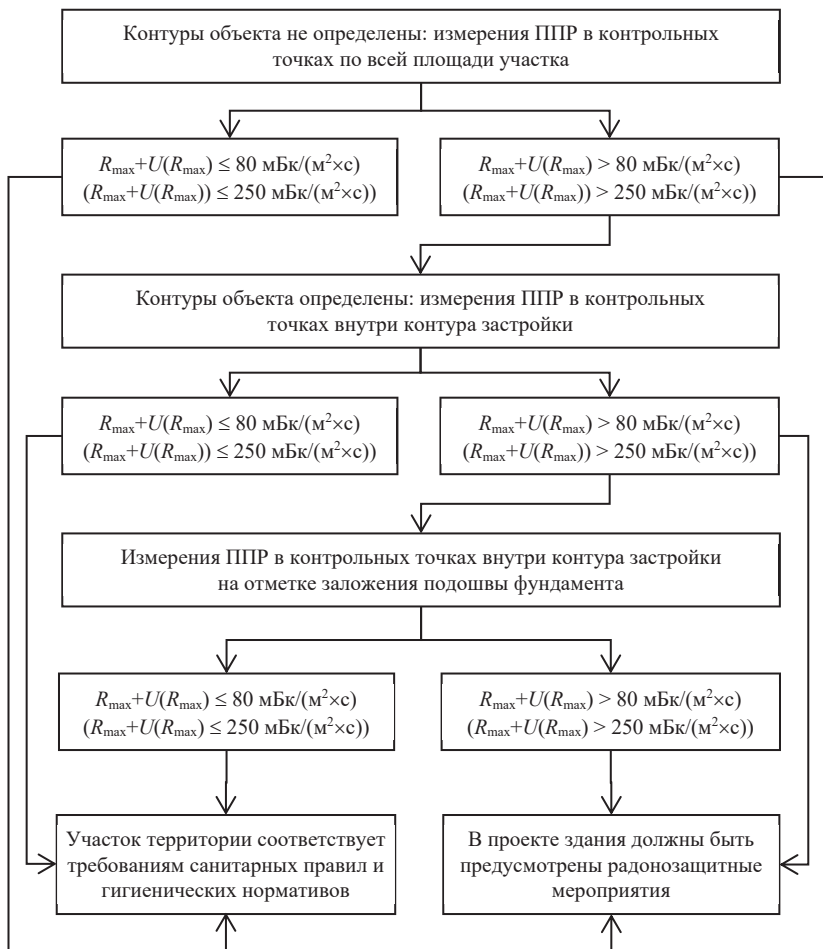


Рисунок 3. Порядок определения потенциальной радоноопасности территории.

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 $1,05 \text{ дм}^3$) и пробоотборного

устройства (ПОУ); соединить штуцер «ВХОД» 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.

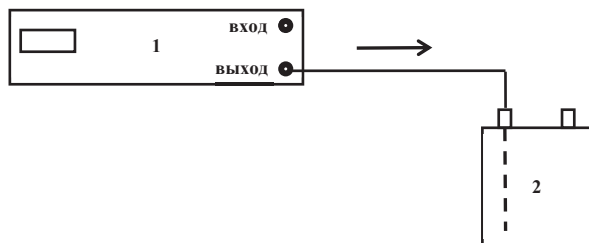


Рисунок 4. Схема отбора воздушной пробы.

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, заполняющим 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 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.

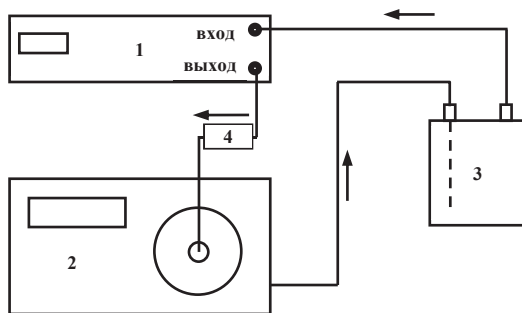


Рисунок 5. Схема перемешивания воздушной пробы между пробоотборником и измерительной камерой РРА с помощью ПОУ.
 Условные обозначения: 1 — ПОУ; 2 — РРА; 3 — воздушный пробоотборник; 4 — осушитель.

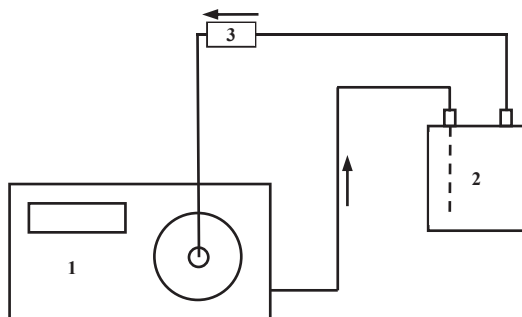


Рисунок 6. Схема перемешивания воздушной пробы между пробоотборником и измерительной камерой РРА без применения ПОУ.
 Условные обозначения: 1 — РРА; 2 — воздушный пробоотборник; 3 — осушитель.

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

$$\bar{Q}_{\phi} = \frac{\sum_i^n Q_{\phi,i}}{n} \quad (10),$$

где $Q_{\phi,i}$ — результат i -ого измерения, Бк/м³; n — общее число измерений.

На практике по радиоэкологии могут использоваться три модели радиометров радона: РРА-01М-01 (приложение 9), РРА-01М-03 (приложение 10) и Альфарад плюс АР (приложение 11).

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 $0,5 \times 0,5$ м (но не менее $0,2 \times 0,2$ 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.

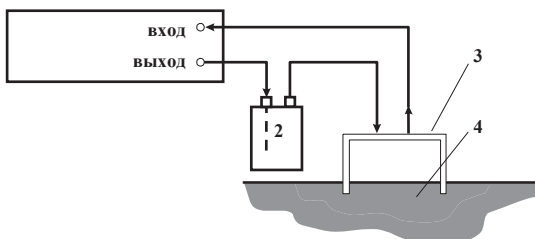


Рисунок 7. Схема отбора пробы воздуха для определения ППР.
Условные обозначения: 1 — ПОУ; 2 — воздушный пробоотборник;
 3 — камера-1; 4 — почва.

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.

$$\bar{Q} = \frac{\sum_i^n Q_i}{n} \quad (11),$$

где Q_i — результат i -ого измерения, Бк/м³; n — общее число измерений.

Обработать результаты измерений ППР (R) по формуле:

$$\text{ППР} = R = \left(\bar{Q} \times \left(1 + \frac{V_2}{V_1} \right) - \bar{Q}_\phi \times \frac{V_2}{V_1} \right) \times e^{\lambda t} \times \frac{V_1 + V_3}{T \times S_l} \quad (12),$$

где: $\bar{Q}$ — ОАР, Бк/м³; $\bar{Q}_\phi$ — собственный фон радиометра, Бк/м³; 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, $\lambda=1,26 \times 10^{-4}$ 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, $T=300$ с; S_l — площадь сбора радона накопительной камерой-1, $S_l=0,0163$ м².

Относительная погрешность определения ППР для радиометров типа РРА составляет: $\delta\text{ППР} = \pm 40\%$ при ППР от 20 до 500 мБк/(м²·с), $\delta\text{ППР} = \pm 30\%$ при ОАР от 500 до 1000 мБк/(м²·с), а для радиометров типа Альфарад: $\delta\text{ППР} = \pm 30\%$ во всем диапазоне измерений.

Так как в каждой контрольной точке отбиралась только одна пробы воздуха для определения ППР, расчет суммарной стандартной относительной неопределенности проводится по формуле для однократного измерения:

$$u_c = \sqrt{\frac{(\delta\text{ППР})^2 + \theta_1^2 + \dots + \theta_m^2}{3}}, \% \quad (13),$$

где $\delta\text{ППР}$ – относительная погрешность определения ППР; $\theta_1 \dots \theta_m$ – пределы допускаемых дополнительных относительных погрешностей согласно эксплуатационной документации на средство измерения.

Расширенная относительная неопределенность для коэффициента охвата $k=2$ ($p=0,95$) рассчитывается по формуле:

$$\tilde{U} = 2 \cdot u_c, \% \quad (14).$$

Абсолютная расширенная неопределенность для однократного измерения рассчитывается по формуле:

$$U = 0,01 \cdot \tilde{U} \cdot R \quad (15).$$

Результаты измерения ППР вносят в протокол (приложение 12).

Оценка соответствия санитарно-эпидемиологическим требованиям участка под строительство проводится по максимальной для участка величине ППР с поверхности грунта с учетом абсолютной расширенной неопределенности:

$$R_{max} + U(R_{max}) \quad (16).$$

На участках под строительство жилых домов, зданий и сооружений общественного назначения эта величина не должна превышать 80 мБк/(м²·с), а под строительство зданий и сооружений производственного назначения – 250 мБк/(м²·с)⁵.

⁵ В МУ 2.6.1.2398-08 [10], действовавших ранее, оценка соответствия санитарно-эпидемиологическим требованиям участка под строительство проводилась не только по максимальной величине ППР, но и по среднее арифметическому значению, рассчитанному по результатам измерений ППР во всех контрольных точках:

Если по результатам измерений ППР с поверхности грунта, проведенных при отсутствии привязки проектируемого здания или сооружения на земельном участке, установлено, что максимальная для участка величина ППР с поверхности грунта с учетом абсолютной расширенной неопределенности превышает установленные пределы, то в проекте строительства предусматривается система защиты здания от повышенных уровней радона, в том числе в соответствии с документами по стандартизации, либо проводятся повторные измерения ППР с поверхности грунта в пределах площади застройки.

Если по результатам измерений ППР с поверхности грунта в пределах площади застройки установлено, что максимальная для участка величина ППР с поверхности грунта с учетом абсолютной расширенной неопределенности превышает установленные пределы, то в проекте строительства предусматривается система защиты здания от повышенных уровней радона, в том числе в соответствии с документами по стандартизации, либо проводятся дополнительные измерения ППР с поверхности грунта на отметке заложения подошвы фундамента, по результатам которых выносятся окончательное решение о соответствии земельного участка санитарно-эпидемиологическим требованиям по ППР с поверхности грунта или несоответствии и необходимости предусмотреть в проекте строительства систему защиты здания от повышенных уровней радона⁶.

$$\bar{R} = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^N R_j,$$

где N — количество контрольных точек, R_j — плотность потока радона в j -ой контрольной точке. Неопределенность среднего значения $\bar{R}$ для обследованной площади участка определялась по формуле:

$$\Delta = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (\bar{R} - R_j)^2}{N(N-1)}}.$$

⁶ В МУ 2.6.1.2398-08 [10], действовавших ранее, для установления перечня и характера радонозащитных мероприятий при их проектировании в качестве дополнительных признаков потенциальной радоноопасности допускалось использование сведений о следующих радиологических показателях территории:

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 глубины 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 необходимо 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

-
- среднегодовая эквивалентная равновесная объемная активность радона и торона (ЭРОА) в воздухе подвальных помещений и/или помещений первых этажей близлежащих зданий (ЭРОА > 100 Бк/м³ для зданий жилищного и общественного назначения; ЭРОА > 150 Бк/м³ 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/м³);
 - 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).

Несмотря на то, что в действующих в настоящее время МР 2.6.1.0361-24 [8] использование этих радиологических показателей при контроле земельных участков, предназначенных под строительство, не предусмотрено, они с успехом могут использоваться при проведении радиоэкологического мониторинга.

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.

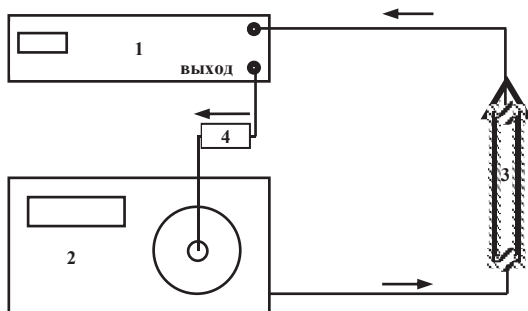


Рисунок 8. Схема перемешивания воздушной пробы между пробоотборником и измерительной камерой РРА.

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_{II} следует вести по формуле:

$$Q_{II} = \left(\bar{Q} \times \left(1 + \frac{V_2}{V_1} \right) - \bar{Q}_\phi \times \frac{V_2}{V_1} \right) \times e^{\lambda t} \quad (17),$$

где $\bar{Q}$ — ОАР, Бк/м³; $\bar{Q}_\phi$ — собственный фон радиометра, Бк/м³; 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 ²²²Rn, 1/мин, $\lambda=1,26 \times 10^{-4}$ 1/мин.

Погрешность определения ОАР в почвенном воздухе для радиометров радона типа РРА составляет: $\delta Q_{II} = \pm 40\%$ при ОАР от

1000 до 2500 Бк/м³, $\delta Q_{\Pi} = \pm 30\%$ при ОАР от 2500 до 100000 Бк/м³, а для радиометров типа Альфарад: $\delta Q_{\Pi} = \pm 30\%$ во всем диапазоне измерений.

Результаты измерения ОАР в почвенном воздухе вносят в протокол (приложение 13).

Отбор почвенных и растительных проб в радиационных исследованиях

Как было отмечено ранее, в пределах выявленных радиационных аномалий в точках с максимальной МАЭДГИ отбираются **пробы почв и грунтов** слоями толщиной 5 см с измерением МАЭДГИ на дне лунки после снятия каждого слоя.

Если радиационных аномалий не выявлено, отбор проб почв и грунтов осуществляется в точках с максимальными значениями МАЭДГИ. 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 [1].

При проведении радиоэкологического мониторинга образцы почв могут отбираться из всех контрольных точек [5]. 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 (керн) 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.

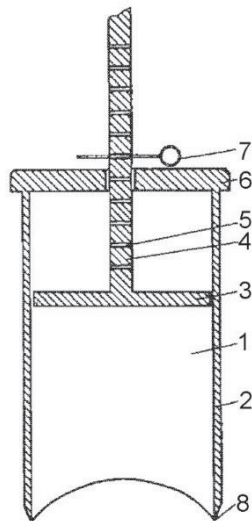


Рисунок 9. Продольный разрез пробоботборника [14]:

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 радиозэкологических исследованиях проводят на загрязненных территориях и в зоне наблюдения радиационно опасных объектов. Оценка возможного накопления техногенных радионуклидов в основных компонентах фитоценозов необходима для научного обоснования безопасных технологий земледелия и лесопользования на загрязненных территориях, а также для прогноза миграции ^{137}Cs , ^{90}Sr по пищевым цепям от растительности к животным и в составе продуктов питания к человеку.

Пробы сельскохозяйственных культур отбираются один раз в год в период уборки урожая. Отбор проб производится на укосных площадках размером 100×100 см и сопряжен с почвенным пробоотбором. 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 3).

Таблица 3. Объем растительных проб при радиоэкологическом мониторинге агроценозов [9].

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

В радиоэкологическом мониторинге лесных фитоценозов проводятся дендрометрические исследования. На основе таксационного описания выбираются модельные деревья, которые используются для отбора проб. Модельные деревья должны иметь средние показатели таксационных характеристик данного вида на пробной площади. Следует выбирать модельные деревья в типичных условиях произрастания на данном участке. Целесообразно выбирать модельные деревья на выровненных участках. После выбора дерева, отвечающего указанным требованиям, на расстоянии 2-3 м от него по окружности проводят поисковую дозиметрию и 10 измерений МАЭДГИ на поверхности почвы и высоте 1 м. Отмеченные вокруг модельного дерева уровни МАЭДГИ должны находиться в границах типичности (50%-й доверительный интервал) к установленному среднему значению этого показателя на контрольной площади. Если зафиксированные уровни не отвечают указанному требованию, следует выбрать другое модельное дерево.

Определяемые дендрометрические показатели: диаметр ствола на уровне 1,4 м, высота дерева, проективное покрытие кроны, предполагаемый возраст. Рекомендуется отбирать не менее двух

вариантов для каждой доминирующей породы деревьев. Отбор проб древесной растительности необходим для оценки значений коэффициентов накопления и перехода радионуклидов из почвы в деревья с целью установления пространственных закономерностей и многолетней динамики этих показателей. Наиболее приемлемым для таких мониторинговых наблюдений является контроль за содержанием техногенных радионуклидов в ассимилирующих органах (листьях или хвое), поскольку этот показатель тесно коррелирует с количеством ^{137}Cs , ^{90}Sr в остальных компонентах древесного яруса, и их отбор не нарушает функционирования растений в целом. При таком отборе проводят частичную срезку 1-2 нижних ветвей, после чего с них отбирают пробы листьев или хвои. Такие пробы ассимилирующих органов (листьев или хвои) следует отбирать в конце вегетационного периода (август). Под кроной такого модельного дерева следует проводить и пробоотбор почвы.

Отбор растений травянистого яруса выполняется методом укосных площадок, имеющих размеры 100×100 см, одновременно с определением общих запасов их фитомассы. Растения аккуратно, исключая загрязнение почвой, срезают ножницами или серпом и помещают в полиэтиленовые пакеты. Укосные площадки должны быть приурочены к контрольным точкам, в которых планируется почвенный пробоотбор.

Для встречающихся видов грибов (съедобных и несъедобных) отбирают молодые неповрежденные плодовые тела. Грибы аккуратно срезают ножом, не захватывая части плодового тела, загрязненного почвой. Сразу после отбора они очищаются от внешних видимых загрязнений (хвои, листьев, чешуек коры и т.д.) и отдельно по видам помещаются в полиэтиленовые мешки. Сбор ягод осуществляется так же, как и грибов. В случае малой массы пробы возможно проводить сбор с прилегающих участков леса. При сборе ягод рекомендуется собирать и вегетативную массу растений.

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.

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.

В лабораторных условиях выполняют подготовку проб растительности к различным видам анализов. У древесных лиственных пород проводят фракционирование листьев и веток мелких, у хвойных пород необходимо отделять ветки мелкие, прирост хвои текущего года и старую хвою. Масса пробы каждого компонента в сыром виде должна составлять около 2 кг. Затем каждую пробу измельчают секатором или топором. Все образцы переносят в отдельные бумажные поддоны, в которые помещают этикетки с указанием вида пробы, номера участка, даты отбора. В таком виде образцы высушивают сначала на воздухе, предохраняя их от внешнего загрязнения, а затем досушивают в сушильном шкафу при $t=60-80^{\circ}\text{C}$ в течение 24 часов. В сушильном шкафу пробы располагают в соответствии с их предполагаемой активностью, более активные пробы необходимо сушить в нижней части шкафа. После каждого сеанса сушки, перед установкой новых проб следует проводить дезактивацию поверхности стенок и полок в сушильном шкафу.

Пробы травянистых видов в лабораторных условиях перебирают для удаления случайных примесей, отмерших и поврежденных частей биомассы. Затем каждый вид измельчают ножницами или секатором, пересыпают в поддоны, подсушивают до воздушно-сухого состояния и досушивают в сушильном шкафу при $t=60-80^{\circ}\text{C}$ в течение 12-24 часов. Собранные грибы в тот же день в лаборатории тщательно очищаются от оставшихся механических загрязнителей или промываются водой. После очистки пробу грибов взвешивают и высушивают при $t=60-80^{\circ}\text{C}$, после чего вновь взвешивают для определения влажности. Следует учитывать, что влажность грибов составляет 90-95%, поэтому проба при сушке может «расплываться», и в первые 2 часа необходимо их переверачивание на поддонах. Собранные с контрольных площадок ягоды сразу же перебирают, раскладывают на поддоны и взвешивают. Затем проба высушивается в сушильном шкафу при $t=60-$

80°C и взвешивается вновь. Все результаты взвешиваний фиксируются в специальной ведомости.

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

Определение удельной активности ^{137}Cs и естественных радионуклидов (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 105°C 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 14). 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 $\rho_0 = 1 \text{ г/см}^3$ 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:

$$R\Sigma_0 = K_R \varepsilon_\infty q = K_R A_0 m_0 \quad (18),$$

где ε_∞ - чувствительность спектрометра; $K_R = 1 - e^{-\mu R}$; 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 $\rho_R \neq 1 \text{ г/см}^3$, 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 $\rho_0 = 1 \text{ г/см}^3$, 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:

$$\begin{aligned} A_R &= \frac{{}^R\Sigma_0}{m_R} = K_R A_0 \frac{m_0}{m_R} = K_R A_0 \frac{\rho_0^4/3 \pi R_0^3}{\rho_R^4/3 \pi R_R^3} = \\ &= K_R A_0 \frac{\rho_0 R_0^3}{\rho_R \left(\left(\frac{\rho_0}{\rho_R} \right) R_0 \right)^3} = K_R A_0 \rho_R^2 \end{aligned} \quad (19),$$

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:

$$A_R = K_\omega K_R A_0 \rho_R^2 \quad (20).$$

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

В настоящее время не существует норматива, регламентирующего уровень удельной активности ${}^{137}\text{Cs}$ 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» [3]) полученные результаты удельной активности ${}^{137}\text{Cs}$ переводят в **плотность загрязнения ${}^{137}\text{Cs}$** (запас ${}^{137}\text{Cs}$), выраженную в кБк/м^2 (Ки/км^2):

$$\sum_{i=1}^n A_i \cdot \rho_i \cdot h_i \quad (21),$$

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 ($<1 \text{ Ки/км}^2$) считаются незагрязненными [3]. Уровень плотности

загрязнения ^{137}Cs , обусловленный глобальными радиоактивными выпадениями, в северном полушарии составлял к 2000 году 1,5-2,5 кБк/м² (0,04-0,07 Ки/км²) [15].

Для принятия решения об использовании почвы площадки под застройку в качестве строительных материалов согласно НРБ-99/2009 [11] и ГОСТ 30108-94 [2] 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:

$$A_{эфф} = A_{Ra} + 1,31 \times A_{Th} + 0,085 \times A_K \quad (22),$$

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:

$$\Delta = \sqrt{\Delta_{Ra}^2 + 1,7 \times \Delta_{Th}^2 + 0,007 \times \Delta_K^2} \quad (23),$$

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:

$$A_{эфф.м} = A_{эфф} + \Delta \quad (24),$$

По результатам определения удельной эффективной активности ЕРН принимается решение об использовании почвы площадки под застройку в качестве строительных материалов (таблица 4) и оформляют протокол испытаний.

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

Таблица 4. 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

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 5), так и в графической форме (рисунок 10).

Таблица 5. Содержание и распределение ^{137}Cs и ЕРН в профиле дерново-подзолистей 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

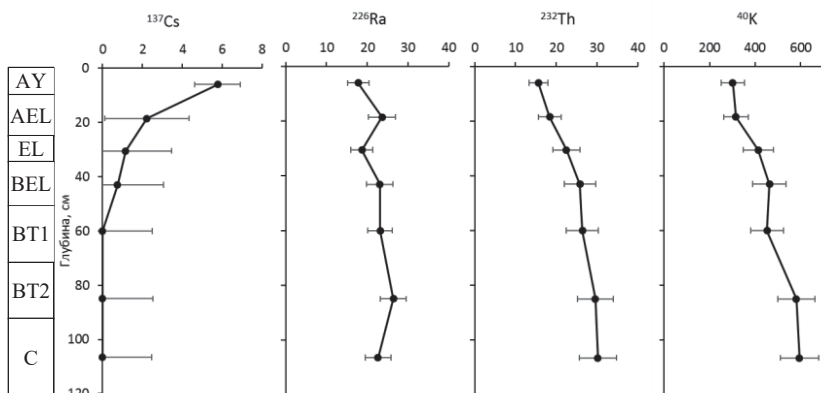


Рисунок 10. Распределение ^{137}Cs и ЕРН в профиле дерново-подзолистой почвы, Бк/кг.

Результаты дозиметрического контроля и измерений удельных активностей радионуклидов в поверхностном слое почвы во всех контрольных точках могут быть представлены в виде картосхем (приложение 15).

Нарастание или уменьшение значений МАЭДГИ по какому-либо направлению в пространстве показывает градиент дозного поля. Модуль градиента отражает интенсивность изменения МАЭДГИ, 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 МАЭДГИ на высоте 1 метр и у поверхности почвы позволяет оценить вклад содержащихся в почве радионуклидов в этот показатель.

Значения МАЭДГИ, 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:

$$z_i = x_{i(10)} - x_{i(100)} \quad (25),$$

где $i=1, 2, \dots, n$ – 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 $\alpha=0,05$), если $S_+ \leq S_{кр.}$ или $S_- \leq S_{кр.}$ (таблица 6). Пример сравнения МАЭДГИ на высоте 10 и 100 см см. приложение 16.

Таблица 6. Значения $S_{кр.}$ для различного числа контрольных точек.

n	$S_{кр.}$
≤ 7	0
8	1
10	2
16	4
25	8
36	13

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

Коэффициент ранговой корреляции Спирмена вычисляется по формуле:

$$r_{xy}^S = 1 - \frac{6 \times \sum (d_x - d_y)^2}{n(n^2 - 1)} \quad (26),$$

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 $\alpha=0,05$) (таблица 7).

Таблица 7. Критические значения модуля коэффициента корреляции Спирмена для различного числа контрольных точек (при $\alpha=0,05$).

n	$r_{xy_{кр}}^S$
5	$\geq 0,94$
6	$\geq 0,85$
7	$\geq 0,78$
8	$\geq 0,72$
10	$\geq 0,64$
16	$\geq 0,50$
25	$\geq 0,40$
36	$\geq 0,34$

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 17.

Коэффициент корреляции Спирмена можно рассчитать между измеренными значениями МАЭДГИ на высоте 10 и 100 см, а также между измеренными значениями МАЭДГИ 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 МАЭДГИ на высоте 10 см от поверхности почвы во всех контрольных точках, сравнение МАЭДГИ на высоте 10 и 100 см, измерение ОАР в почвенном воздухе на разной глубине, оценка динамики ППП 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 этими показателями и т.п.

Приложения

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

Исходное положение переключателя режимов измерения S1 – «3000 $\mu\text{R/h}$ ». 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 МАЭДГИ. 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.

Так как в МР 2.6.1.0361-24 [8] рекомендуется использовать поисковые приборы, отградуированные в единицах измерения МАЭДГИ или мощности экспозиционной дозы, поисковую съемку с помощью МКС/СРП-08А можно проводить в режиме измерения МАЭДГИ выставив продолжительность измерения 2-4 с (приложение 6).

Приложение 4. Форма протокола показаний поискового прибора

№ точки	Показания поискового прибора	
	Продольные маршруты	Поперечные маршруты
A1		
A2		
...		

Показания поискового прибора лежат в диапазоне ... - ... Максимальные показания поискового прибора зафиксированы в точках ...

Приложение 5. Инструкция по работе с дозиметром-радиометром ДКС-96 с блоком детектирования БДМГ-96 в режиме измерения МАЭДГИ

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 кнопки «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 МАЭДГИ 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».

Предел допускаемой основной относительной погрешности: $\pm 20\%$.

Пределы допускаемых дополнительных относительных погрешностей:

- при изменении температуры в пределах от -20 до $+40^{\circ}\text{C}$: $\pm 10\%$ на каждые 10°C ;
- $\pm 10\%$ при относительной влажности воздуха до 90% при $+35^{\circ}\text{C}$;
- $\pm 10\%$ при воздействии магнитного поля промышленной частоты напряженностью до $40 \text{ A}\cdot\text{m}^{-1}$;
- $\pm 10\%$ за время непрерывной работы до 10 часов;
- $\pm 5\%$ при изменении напряжения питания от 6,0 до 3,9 В.

Приложение 6. Инструкция по работе с дозиметром-радиометром МКС/СРП-08А с блоком детектирования БДБС-25-01А в режиме измерения МАЭДГИ

При включении прибора по умолчанию устанавливается режим измерения МАЭДГИ. 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.

Предел допускаемой относительной погрешности при измерении МАЭДГИ: $\pm 15\%$.

Приложение 7. Инструкция по работе с дозиметром-радиометром МКС-АТ6130С

Прибор сразу после включения переходит в режим измерения МАЭДГИ без ограничения времени измерения. При этом на

дисплее отображается текущее значение МАЭДГИ (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.

Предел допускаемой основной относительной погрешности: $\pm 20\%$. Пределы допускаемых дополнительных относительных погрешностей:

- при изменении температуры в пределах от -20 до $+55^\circ\text{C}$: $\pm 10\%$;
- $\pm 10\%$ при относительной влажности воздуха до 95% ;
- $\pm 5\%$ при воздействии синусоидальных вибраций в диапазоне частот от 10 до 55 Гц;
- $\pm 5\%$ при изменении напряжения питания от $2,0$ до $3,3$ В.

Приложение 8. Форма протокола измерения МАЭДГИ

№ т.	H_i^* , мкЗв/ч										$\bar{H}^*$, мкЗв/ч	u_A , %	u_B , %	u_C , %	$\tilde{U}$, %	U , мкЗв/ч
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10						
A1																
A2																
...																

Максимальное значение МАЭДГИ для обследуемой территории составляет $H_{max}^* + U(H_{max}^*) = \dots$ мкЗв/ч.

Приложение 9. 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 ↗	2:30	00:05:
AIR pump	2:31	

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

Air2 HV ↗	3:00	N=1	00:06:
	00:04	Mea ↗	

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/m ³		Mea ↗

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 «б» и «СТАРТ») для продувки измерительной камеры воздухом лаборатории. В режиме «Pump» работа воздушодувки продолжается 4 мин. На мониторе фиксируется время работы и остановки воздушодувки.

Продувка системы может быть осуществлена с помощью насоса ПОУ.

Предел допускаемой основной относительной погрешности: ±30%.

Предел допускаемой дополнительной относительной погрешности при изменении температуры в пределах от +5 до +35°C: ±10%.

Приложение 10. 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/m ³	
21	23°C	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: $Rn < 20 \text{ Bq/m}^3$, 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.

Предел допускаемой основной относительной погрешности: $\pm 30\%$.

Предел допускаемой дополнительной относительной погрешности при изменении температуры в пределах от $+5$ до $+35^{\circ}\text{C}$: $\pm 10\%$.

Приложение 11. Инструкция по работе с радиометром радона Альфарад плюс АР

При работе с радиометром Альфарад плюс АР штуцер № 1 на задней панели 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.

После включения прибора длительным (не менее 2 секунд) нажатием кнопки электронного включения и загрузки программы на экране отображается последний использовавшийся режим работы. При необходимости повторно выбора режима работы необходимо нажать кнопку «Режим», выбрать с помощью стрелочек «Блок ОА», подтвердить выбор нажатием кнопки «Ввод». Далее с помощью кнопки «Ввод» войти в перечень стандартных измерений, выбрать необходимый режим работы и подтвердить выбор нажатием кнопки «Ввод». После появления на экране сообщения «Готов» запустить измерение с помощью кнопки «Ввод».

В процессе измерения на экране отображается следующая информация:

01:44	Импульсов: 1
Измерение: 14.02.2026 14:26:15	
Режим: ОА 20	
Температура = 25°C	
Влажность = 12%	
Давление: 762 mmHg	

В первой строке отображается оставшееся до конца измерения время и количество зарегистрированных импульсов. Во второй строке отображается дата и время начала измерения. В третьей строке – выбранный режим измерения. В низу экрана отображается температура, влажность воздуха и давление.

По окончании измерения подается звуковой сигнал и на экране появляется окончательное значение ОАР с погрешностью измерения. Окончание измерения необходимо подтвердить нажатием кнопки «Ввод».

В зависимости от выбранного режима в процессе измерения на экране может отображаться предварительное значение ОАР (в режиме «ОА 20 прогноз»). Предварительное значение ОАР начинает отображаться на экране через три минуты после начала измерения.

В зависимости от выбранного режима измерение может проводиться как с использованием встроенной в радиометр воздухоудовки (режимы «ОА 60», «ОА 20» и «ОА 20 прогноз»), так и без ее использования (режимы «ОА 20 без воздухоудовки» и «ОА 60 без воздухоудовки»).

После пятикратного измерения ОАР в каждой пробе необходимо освободить штуцеры радиометра продув измерительную камеру воздухом лаборатории. Для этого можно использовать воздухоудовку радиометра. Можно запустить новое измерение нажатием кнопки «Ввод». По окончании продувки системы следует остановить начавшееся измерение, нажатием кнопки «Сброс».

Можно воспользоваться режимом «Воздухоудовка» из набора «Тест» в меню «Сервис». В этом случае время работы воздухоудовки на экране не отображается и ее нужно будет остановить самостоятельно. Продувка системы может быть осуществлена и с помощью насоса ПОУ.

Предел допускаемой основной относительной погрешности при измерении ОАР в воздухе и ППР радона с поверхности грунта без предварительного отбора проб воздуха: $\pm 20\%$; при измерении ОАР в воздухе с предварительным отбором проб, при измерении ППР радона с поверхности грунта с предварительным отбором проб, при измерении ОАР в почвенном воздухе и при измерении ОАР воде: $\pm 30\%$.

Предел допускаемой дополнительной относительной погрешности при изменении температуры в пределах от $+1$ до $+35^\circ\text{C}$: $\pm 10\%$.

Приложение 12. Форма протокола измерения ППР

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

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: _____
($S_1=0.0163 \text{ м}^2$, $S_2=0.0016 \text{ м}^2$).

8. Измерение фоновой концентрации радона в камере РРА:

№	1	2	3	4	5
$Q_{\text{ф}}$, Бк·м ⁻³					

Фоновая ОАР $Q_{\text{ф}}$: _____ 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.

$\delta\text{ППР}$ = _____ %; u_c = _____ %; $\tilde{U}$ = _____ %; U = _____ мБк·с⁻¹·м⁻².

Измерения выполнены радиометром радона _____ зав.
№ _____.

Свидетельство о поверке № _____.

Измерения выполнили: _____ / Ф.И.О. /

Приложение 13. Форма протокола измерения ОАР в почвенном воздухе

ПРОТОКОЛ ИЗМЕРЕНИЙ ОАР В ПОЧВЕННОМ ВОЗДУХЕ

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_{ϕ} , Бк·м ⁻³					

Фоновая ОАР Q_{ϕ} : _____ 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_{Π} = _____ Бк·м⁻³.

$\delta\text{ОАР}$ = _____ %; u_c = _____ %; $\tilde{U}$ = _____ %; U = _____ Бк·м⁻³.

Измерения выполнены радиометром радона _____ зав. № _____.

Свидетельство о поверке № _____.

Измерения выполнили: _____ / Ф.И.О. /

Приложение 14. 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 15. Построение картосхемы МАЭДГИ

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 точками согласно выбранному сечению. Для этого нужно найти те места на отрезках между точками,

где должны проходить изолинии при выбранном сечении (рисунок 11 В).

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

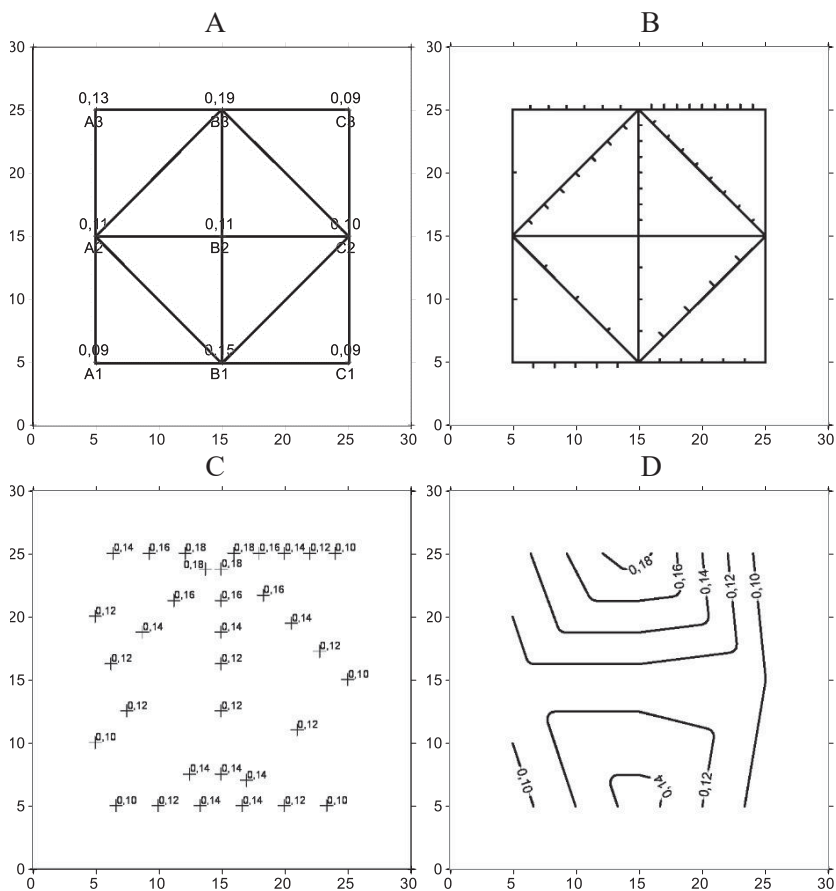


Рисунок 11. Построение картосхемы МАЭДГИ методом треугольников.

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).

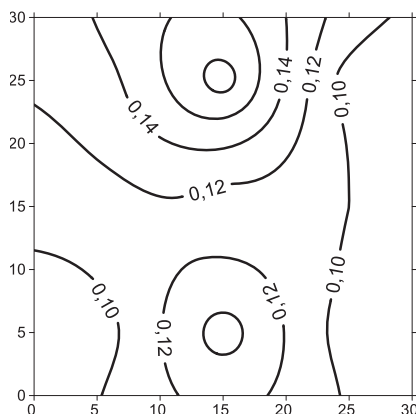


Рисунок 12. Картосхема МАЭДГИ, построенная в пакете Surfer с применением алгоритма Kriging.

Аналогичным образом могут быть построены картосхемы удельных активностей радионуклидов.

Приложение 16. Пример сравнения МАЭДГИ (мкЗв/ч) на высоте 10 и 100 см с помощью расчета на основе критерия знаков

№ точки	МАЭДГИ 10 см	МАЭДГИ 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 «МАЭДГИ 10 см» статистически значимо ($\alpha=0,05$) больше, чем «МАЭДГИ 100 см»

Приложение 17. Пример расчета коэффициента ранговой корреляции Спирмена между показателями: МАЭДГИ (мкЗв/ч) на высоте 10 см и удельной активностью ^{226}Ra в слое 0-10 см почвы

№ точ- ки	МАЭДГИ 10 см (мкЗв/ч) x	A(^{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
$\sum_{i=1}^n (d_x - d_y)^2 = 656$						

$$r_{xy}^S = 1 - \frac{6 \times \sum_{i=1}^n (d_x - d_y)^2}{n(n^2 - 1)} = 1 - \frac{6 \times 656}{25 \times (25^2 - 1)} = +0,75 > 0,40$$

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

Литература

1. ГОСТ 17.4.3.01-83. Охрана природы. Почвы. Общие требования к отбору проб.
2. ГОСТ 30108-94. Материалы и изделия строительные. Определение удельной эффективной активности естественных радионуклидов.
3. Закон РФ №1244-1 от 15.05.1991 (ред. от 31.07.2025) «О социальной защите граждан, подвергшихся воздействию радиации вследствие катастрофы на Чернобыльской АЭС».
4. 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.
5. Липатов Д.Н., Манахов Д.В., Цветнов Е.В., и др. Радиоэкологический мониторинг в лесных экосистемах : Учебное пособие для студентов факультета почвоведения МГУ, для работников лесного хозяйства и специалистов, проводящих экологический мониторинг на загрязненных территориях. М.: МАКС Пресс, 2025. 100 с. <https://doi.org/10.29003/m4363.978-5-317-07361-9>.
6. Методика экспрессного измерения объемной активности ^{222}Rn в почвенном воздухе с помощью радиометра радона типа РРА. М., 2004. 16 с.
7. Методика экспрессного измерения плотности потока ^{222}Rn с поверхности земли с помощью радиометра радона типа РРА. М., 2004. 21 с.
8. МР 2.6.1.0361-24. Радиационный контроль земельных участков, предназначенных под строительство жилых домов, зданий и сооружений общественного и производственного назначения, а также прилегающей к зданиям и сооружениям территории и территории общего пользования. М., 2024. 25 с.
9. МУ 13.5.13-00. Организация государственного радиоэкологического мониторинга агроэкосистем в зоне воздействия радиационно опасных объектов (утв. Минсельхозом РФ 7 августа 2000 г.).
10. 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.

11. СанПиН 2.6.1.2523 09. Нормы радиационной безопасности. НРБ-99/2009.
12. СП 2.6.1.2612 10. Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности. ОСПОРБ-99/2010.
13. СП 47.13330.2016. Инженерные изыскания для строительства. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 11-02-96.
14. 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.
15. Sources and effects of ionizing radiation. 1: Sources Report of the United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. New York: United Nations, 2000.

Reviewers:

S.I. Spiridonov – Doctor of Biological Sciences, Professor, Chief Researcher,
Kurchatov Complex of Radiology and Agroecology
NRC “Kurchatov Institute”;

N.V. Kuzmenkova – Candidate of Geographical Sciences, Senior Researcher,
Analytical Center of Moscow State University, Faculty of Chemistry,
Lomonosov Moscow State University

D.V. Manakhov, D.N. Lipatov, A.I. Shcheglov

Radioecology field work: A textbook for students of the Soil Science Faculty of Lomonosov Moscow State University / D.V. Manakhov, D.N. Lipatov, A.I. Shcheglov. – Second ed., correct. and suppl. – Moscow: MAKSS Press, 2026. – 56 p.: ill.

ISBN 978-5-317-07602-3

<https://doi.org/10.29003/m5327.978-5-317-07602-3>

This manual is a guide for radioecology practical training conducted during the summer at the Chashnikovo Training and Experimental Soil Ecology Center at Lomonosov Moscow State University. It presents a range of modern field radiological methods and their fundamental principles, demonstrating the potential application of these methods in radiation and environmental studies as part of engineering and environmental surveys and radioecological monitoring. Students can use this manual when conducting their own field studies of the radiation and environmental status of various lands.

Keywords: radioecology, radiation-ecological research, engineering-ecological surveys, radioecological monitoring.

The publication is carried out in the author's edition

Учебное издание

МАНАХОВ Дмитрий Валентинович, ЛИПАТОВ Денис Николаевич,
ЩЕГЛОВ Алексей Иванович

ПРАКТИКА ПО РАДИОЭКОЛОГИИ

Учебное пособие
для студентов факультета почвоведения МГУ

Издательство «МАКС Пресс»

Главный редактор: *Е.М. Бугачева*. Обложка: *М.А. Еронина*

Отпечатано с готового оригинал-макета

Подписано в печать 08.06.2026 г.

Формат 60х90 1/16. Усл.печ.л. 3,5. Тираж 75 экз. Заказ 083.

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.

Отпечатано в полном соответствии с качеством
предоставленных материалов в ООО «Фотоэксперт»
109316, г. Москва, Волгоградский проспект, д. 42,
корп. 5, эт. 1, пом. I, ком. 6.3-23Н

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

