

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО СВЯЗИ
Федеральное государственное образовательное бюджетное
учреждение высшего образования
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ
им. проф. М. А. БОНЧ-БРУЕВИЧА»

К. Б. Греков

РАДИОЭКОЛОГИЯ
Методические указания по выполнению
лабораторных и практических работ

Учебно-методическое пособие

СПб ГУТ)))
Санкт-Петербург
2017

УДК ____ . ____ (____)

ББК ____ . - ____

Т ____

Рецензент

кандидат военных наук, заведующий кафедрой экологии
и безопасности жизнедеятельности СПбГУТ

С. А. Панихидников

Рекомендовано к печати редакционно-издательским советом СПбГУТ

Греков, К. Б.

Т ____ Радиоэкология. Методические указания по выполнению лабораторных и практических работ / К. Б. Греков; СПбГУТ. – СПб., 2017 – 54 с.

Написано в соответствии с рабочей учебной программой дисциплины «Радиоэкология». Целью издания является развитие представлений студентов о предмете и задачах радиационной экологии, как науки изучающей экологические последствия радиационного загрязнения, поведения и закономерности миграции радионуклидов в экосистеме. Включены рекомендации по подготовке и выполнению практических заданий и лабораторных работ.

Предназначено для подготовки бакалавров по направлению подготовки 05.03.06 (022000) «Экология и природопользование».

УДК

ББК _____

© Греков К. Б., 2017

© Федеральное государственное образовательное бюджетное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича», 2017

Греков Константин Борисович

РАДИОЭКОЛОГИЯ

Методические указания по выполнению лабораторных и практических работ

Учебно-методическое пособие

Редактор **Л. К. Паршина**
Компьютерная верстка **Е. А. Головинской**

План 2017 г., п.

Подписано к печати __. __.20__
Объем __ усл.-печ. л. Тираж 40 экз. Заказ __

Редакционно-издательский центр СПбГУТ
191186 СПб., наб. р. Мойки, 61
Отпечатано в СПбГУТ

<u>Введение</u>	5
<u>Часть 1. ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ</u>	6
<u>1. Практическая работа №1 – Изучение и анализ государственных докладов о состоянии окружающей среды как источников радиоэкологических данных</u>	6
<u>2. Практическая работа №2 – Радиоактивные превращения</u>	12
<u>3. Практическая работа №3 – Основной закон радиоактивного распада и активность радионуклидов.</u>	ОШИБКА! ЗАКЛАДКА НЕ ОПРЕДЕЛЕНА. 6
<u>4. Практическая работа №4 – Дозы излучения</u>	19
<u>Часть 2. ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ</u>	302
<u>5. Лабораторная работа №1 – ПРОБООТБОР, ПРОБОПОДГОТОВКА</u>	312
<u>5.1. Правила отбора проб воды</u>	Ошибка! Закладка не определена. 3
<u>5.1.1. Выбор и подготовка посуды</u>	24
<u>5.1.2. Требования к местам и методам отбора проб воды</u>	Ошибка! Закладка не определена.
<u>5.1.3. Порядок выполнения работы по отбору проб воды</u>	Ошибка! Закладка не определена.
<u>5.2. Правила отбора и подготовки проб почвы</u>	Ошибка! Закладка не определена. 6
<u>5.2.1. Общие правила отбора проб почвы, выбор места отбора</u>	26
<u>5.2.2. Отбор объединенной пробы методом конверта</u> Ошибка! Закладка не определена.	
<u>5.2.3. Подготовка проб почвы к анализу</u>	Ошибка! Закладка не определена.
<u>5.2.4. Порядок выполнения работы по отбору проб почвы</u>	29
<u>5.3. Контрольные вопросы к лабораторной работе №1</u>	30
<u>6. Лабораторная работа №2 – ПРОВЕДЕНИЕ ГАММА-СЪЕМКИ ТЕРРИТОРИИ</u>	31
<u>6.1. Устройство и принцип действия дозиметра-радиометра</u>	Ошибка! Закладка не определена.
<u>6.2. Работа дозиметра-радиометра в режиме измерения МЭкД</u>	31
<u>6.2.1. Подготовка к работе</u>	31
<u>6.2.2. Измерение МЭкД фотонного излучения</u>	33
<u>6.2.3. Общие рекомендации по проведению измерений</u>	33
<u>6.3. Определение мощности дозы гамма-излучения</u>	33
<u>6.4. Порядок выполнения работы</u>	33
<u>6.5. Контрольные вопросы к лабораторной работе №2</u>	34
<u>7. Лабораторные работы №3 и №4 – ОЦЕНКА УРОВНЯ ЗАГРЯЗНЕННОСТИ ПРОБ ВОДЫ И ПОЧВЫ РАДИОНУКЛИДАМИ (Cs-137 и Sr-90) ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИЗМЕРЕНИЯ УДЕЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ И ПЛОТНОСТИ ПОТОКА БЕТА-ЧАСТИЦ</u>	35
<u>7.1. Измерение удельной активности радионуклидных источников Cs-137 в пробах.</u> ...	35
<u>7.2. Измерение плотности потока бета-частиц от загрязненных поверхностей.</u>	35
<u>7.3. Порядок выполнения работ №3 и №4</u>	37
<u>7.3. Контрольные вопросы к лабораторным работам №3 и №4</u>	37

<u>Список источников</u>	38
<i><u>Приложение 1 – Образец оформления титульного листа</u></i>	41
<i><u>Приложение 2 – Паспорт на пробу воды</u></i>	42
<i><u>Приложение 3 – Образец протокола испытаний</u></i>	43

ВВЕДЕНИЕ

Настоящее учебное пособие составлено для студентов-бакалавров по направлению подготовки 05.03.06 (022000) «Экология и природопользование», в соответствии учебным планом по данному направлению и рабочей учебной программе по дисциплине «Радиоэкология».

Дисциплина «Радиоэкология» обеспечивает формирование комплексных знаний и представлений о предмете и задачах радиационной экологии, как науки изучающей экологические последствия радиационного загрязнения, поведения и закономерности миграции радионуклидов в экосистеме. Освоение дисциплины способствует формированию знаний, умений и навыков, позволяющих на основе государственных, общественных мер и соответствующей деятельности, направленной на гармоничное взаимодействие общества и окружающей среды, обеспечить сохранение и нормальное состояние природных экосистем и безопасное существование человека.

Основные задачи дисциплины «Радиоэкология»:

- формирование системных знаний о современной радиоэкологической картине мира;
- знакомство студентов с основными проблемными задачами клеточной биофизики и радиобиологии сегодняшнего дня;
- развитие у студентов научно-методологическое понимание сложных вопросов биофизики и радиобиологии;
- обучение методам принятия экологически грамотных решений в области радиоэкологии;
- создание фундаментальных естественнонаучных основ безопасности жизнедеятельности человека.

Пособие содержит в себе рекомендации по выполнению пяти практических и четырех лабораторных работ, охватывающих весь курс изучения дисциплины «Радиоэкология».

В процессе решения в ходе практических занятий различных задач студенту предлагается закрепление теоретического материала об основах учения о радиоактивности, законе радиоактивного распада и его практическом применении, общих закономерностях перемещения радиоактивных веществ в биосфере и путях поступления радиоактивных изотопов в организм. При выполнении лабораторных работ у студентов формируются навыки самостоятельного выбора объекта исследования, отбора проб воды из природных источников и проб почвы на различных территориях с целью изучения их загрязнения радиоактивными изотопами. В дальнейшем студенты самостоятельно определяют уровень радиоактивного загрязнения в отобранных пробах воды и почвы. Кроме этого студенты проводят гамма-съемку территории. Результаты исследований оформляются в виде отчетов.

ЧАСТЬ 1. ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ

Цель практических занятий по дисциплине «Радиоэкология» - развитие у студентов практических навыков решения реальных проблем и закрепление теоретического материала об основах учения о радиоактивности, законе радиоактивного распада и его практическом применении, общих закономерностях перемещения радиоактивных веществ в биосфере и путях поступления радиоактивных изотопов в организм.

В ходе выполнения практических заданий выполняется аналитическое исследование по данным официальных статистических документов, и решаются практические расчетные задачи в соответствии с выданным заданием.

По результатам каждого практического занятия оформляется и сдается отчет.

Требования к оформлению отчетов о выполнении практической работы

Отчет по каждой практической работе должен содержать:

1. Титульный лист по установленной форме (Приложение 1);
2. Исходные данные для выполнения работы (проведения расчетов).
3. Результаты расчетов (или выполненного аналитического исследования);
4. Выводы (или ответы в решенных задачах).

1. ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №1 – ИЗУЧЕНИЕ И АНАЛИЗ ГОСУДАРСТВЕННЫХ ДОКЛАДОВ О СОСТОЯНИИ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ КАК ИСТОЧНИКОВ РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ

Цель работы: закрепление на практическом уровне навыков анализа официальных информационных документов с точки зрения оценки и характера изменения уровня радиоактивного загрязнения окружающей среды в Санкт-Петербурге и других регионах Российской Федерации.

Задачи: ознакомление с нормативно-правовой базой в области радиоэкологической безопасности; приобретение навыков выявления источников радиоактивного загрязнения окружающей среды и анализа статистической информации.

Материалы, оборудование и программное обеспечение: ПЭВМ с подключением к информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»; официальные информационные документы.

Рекомендуемые темы для проведения анализа:

1. Анализ изменения радиационной обстановке в Санкт-Петербурге за последние 5 лет.
2. Анализ изменения радиационной обстановке в регионе Российской Федерации (по выбору) за последние 5 лет.
3. Анализ изменения загрязнения атмосферы радиоактивными веществами в Российской Федерации за последние 5 лет.
4. Анализ изменения загрязнения гидросферы радиоактивными веществами в Российской Федерации за последние 5 лет.
5. Анализ изменения загрязнения почв радиоактивными веществами в Российской Федерации за последние 5 лет.
6. Анализ характера изменения уровня радиоактивного загрязнения окружающей среды в Чернобыльском и Южно-Уральском следе.

Выбор темы осуществляется студентом самостоятельно и согласовывается с преподавателем. По согласованию с преподавателем возможно также самостоятельное формулирование темы для проведения анализа и изменения выбранного периода. Для анализа используются официальные источники органов государственной власти как на федеральном, так и на региональном уровнях. Прежде всего, для анализа используются:

- государственные доклады «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации» Министерства природных ресурсов РФ;
- «Обзоры состояния и загрязнения среды Российской Федерации» и карты радиационной обстановки на территории России и регионов Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу РФ;
- доклады об экологической ситуации в Санкт-Петербурге Комитета по природопользованию, охране окружающей среды и обеспечению экологической безопасности Администрации Санкт-Петербурга и другие официальные документы,

2. ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №2 – РАДИОАКТИВНЫЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ

Краткие теоретические сведения.

Радиоактивностью называется способность атомных ядер к самопроизвольному превращению в другие ядра с испусканием одной или нескольких заряженных частиц и фотонов.

Ядра, обладающие свойством самопроизвольно распадаться, называются радиоактивными, а ядра, не имеющие таких свойств, – стабильными.

Из более чем 1700 известных в настоящее время нуклидов только 200 стабильны. Большинство радионуклидов получено искусственно.

Все встречающиеся в природе элементы с атомными номерами > 83 (висмут) радиоактивны. Они представляют собой отдельные звенья последовательных превращений – радиоактивные ряды.

Существует четыре ряда радиоактивных превращений: три естественных (ряды урана-235, урана-238 (актиноурана, AcU), тория-232) и один искусственный (ряд нептуния).

Характерной особенностью трёх естественных семейств является наличие в ряду превращений газообразных радиоактивных продуктов – изотопов радона.

В некоторых случаях возможны два пути перехода одного и того же изотопа в два новых элемента с одной и той же скоростью в результате альфа- и бета-распада. Это так называемые «вилки» – одни и те же ядра с разными вероятностями претерпевают различные типы радиоактивного распада. Более вероятен тот процесс, по которому осуществляется превращение большей доли ядер.

Обычно на схемах радиоактивных семейств в случае «вилки» под типом распада в скобках обозначена доля (%) превращающихся ядер.

Существуют также радиоактивные элементы, не входящие в ряды. Одним из наиболее важных радиоактивных изотопов, не связанных ядерными превращениями с другими, является калий-40 ($T_{1/2} = 1,3 \cdot 10^9$; β^- , k -захват). Несмотря на низкую активность и малую распространённость изотопа (около 0,0119%), калий-40 играет не менее важную роль в тепловом балансе Земли, чем уран и торий. Элементов с $T_{1/2} < 10^8$ лет на Земле не существует: они давно «вымерли». Их следы можно обнаружить по стабильным продуктам распада.

Атомное ядро содержит более 99,95% всей массы атома, имеет размеры порядка $10^{-12} - 10^{-13}$ см. Атомные ядра состоят из элементарных частиц – протонов и нейтронов, их массы близки между собой.

Протон электрически положителен (его заряд равен заряду электрона), нейтрон – электрически нейтрален. Протон и нейтрон, входящие в состав атомного ядра, объединяются под общим названием нуклон. Общее число нуклонов в ядре называется массовым числом и обозначается через A .

Число протонов в ядре называется атомным номером химического элемента (Z , зарядное число).

Число нейтронов в ядре обозначается через N .

В нормальном состоянии атом электрически нейтрален. Химические свойства атома определяются особенностями структуры его электронных оболочек и числом электронов.

Тип атомного ядра обозначают:



где A – массовое число; Z – атомный номер химического элемента; N – число нейтронов.

Следовательно:

$$N + Z = A.$$

Ядра с одним и тем же числом Z , но различным числом A называются изотопами химического элемента с атомным номером Z , например изотопы водорода:

- ${}^1_1 H (Z=1, N=0)$ – обычный водород, или протий;
- ${}^2_1 H (Z=1, N=1)$ – тяжёлый водород, или дейтерий;
- ${}^3_1 H (Z=1, N=2)$ – радиоактивный водород, тритий.

Ядра с одинаковыми величинами A , но разным Z называются изобарами.

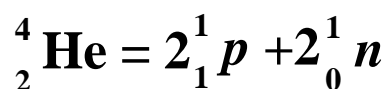
Пример триады изобаров: аргон ${}^{40}_{18} Ar$, калий ${}^{40}_{19} K$, кальций ${}^{40}_{20} Ca$.

Возбуждённое ядро может находиться в метастабильном состоянии. Это объясняет существование изомеров – ядер с одинаковыми A и Z , но с различным запасом энергии. Наиболее часто явление ядерной изомерии встречается у искусственно радиоактивных изотопов.

К числу радиоактивных явлений относят:

- α -распад;
- β -превращение;
- γ -излучение;
- нейтронное излучение;
- протонную и двухпротонную радиоактивность;
- кластерную радиоактивность и др.

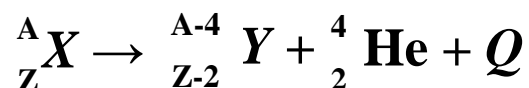
Альфа-излучение – поток ядер гелия или, иначе, α -частиц. Альфа-частица состоит из двух протонов p и двух нейтронов n :



Следовательно:

- электрический заряд α -частицы равен двум элементарным электрическим зарядам со знаком (+);
- масса равна 4 атомным единицам массы (масса этих частиц превышает массу электрона в 7300 раз);
- энергия α -частиц колеблется в пределах 2 - 11 МэВ (индивидуальная и постоянная для каждого изотопа). В ядерной физике энергию частиц выражают в электронвольтах [эВ]. Электронвольт – энергия, которую приобретает электрон, проходящий в электрическом поле с разностью потенциалов в 1 В.

Возникают α -частицы при распаде тяжёлых ядер. Ядра с порядковым номером Z больше 82 (${}_{82}\text{Pb}$), за редким исключением, альфа-активны. В настоящее время известно более 160 альфа-активных видов ядер. Процесс альфа-распада схематично можно представить так:



где X – символ исходного ядра; Y – символ дочернего; Q – излучаемый избыток энергии; A – массовое число; Z – порядковый номер элемента.

Например:



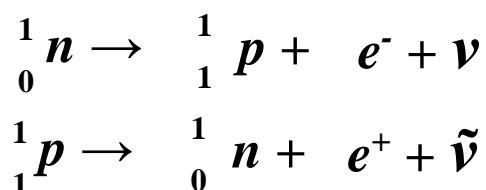
При альфа-распаде дочерний элемент смещается на две клетки влево относительно материнского в периодической системе Д.И. Менделеева.

Бета-излучение представляет собой поток электронов или позитронов ядерного происхождения. *Позитрон* – элементарная частица, подобная *электрону*, но с положительным знаком заряда (античастица электрона). Физические параметры электронов ядерного происхождения (масса, заряд) такие же, как и у электронов атомной оболочки. Обозначаются бета-частицы символами β^- или e^- , β^+ или e^+ .

Характеристики нейтрино и антинейтрино:

- 1) нейтральные частицы ($Z=0$);
- 2) масса покоя равна нулю;
- 3) нейтрино от антинейтрино отличается направлением спина по отношению к импульсу.

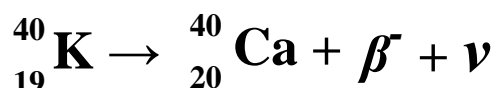
Таким образом, внутриядерные превращения имеют следующий вид:



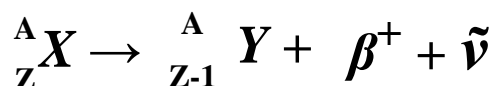
Электронный (бета-минус) распад описывается уравнением:



При этом распадае заряд ядра и, соответственно, атомный номер элемента увеличиваются на единицу, а массовое число остаётся неизменным. То есть в периодической системе химических элементов дочерний элемент сдвигается на одну позицию вправо относительно исходного. Примером бета-минус распада может служить распад естественного радиоактивного изотопа калия:

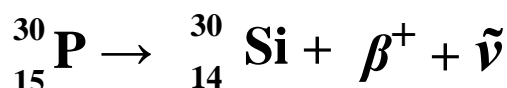


Позитронный (бета-плюс) распад имеет вид:

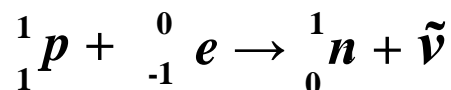


При этом заряд ядра и, соответственно, атомный номер элемента уменьшаются на единицу, а массовое число остаётся неизменным. В периодической системе химических элементов дочерний элемент сдвигается на одну позицию влево относительно материнского.

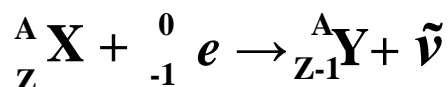
Позитронный распад типичен для искусственно полученных изотопов. Например:



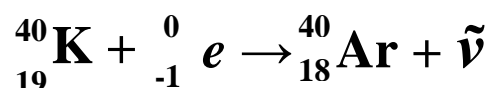
Электронный захват (К-захват). Превращение ядра может быть осуществлено путём электронного захвата, когда один из протонов ядра захватывает электрон с одной из оболочек атома, чаще всего, с ближайшего к нему К-слоя или, реже, с L-слоя и превращается в нейтрон:



Порядковый номер нового ядра становится на единицу меньше порядкового номера исходного ядра, а массовое число не меняется. Превращение при К-захвате записывают следующим образом:



Например:



Освободившееся место, которое занимал в К- или L- слое захваченный электрон, заполняется электроном из более удалённых от ядра слоев оболочки атома. Избыток энергии, освободившейся при таком переходе, испускается атомом в виде характеристического рентгеновского излучения. Атом по-прежнему сохраняет электрическую нейтральность, так как количество протонов в ядре при электронном захвате также уменьшается на единицу.

Позитронный распад и электронный захват, как правило, наблюдают только у искусственно-радиоактивных изотопов.

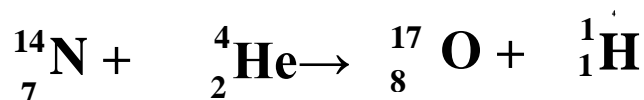
Гамма-излучение – это поток квантов электромагнитной энергии (волн) высокой частоты. Физическая природа этих волн такая же, как и у радиоволн, видимого света, ультрафиолетовых и инфракрасных лучей, рентгеновского излучения.

При различных переходах атомов и молекул из возбужденного состояния в стабильное может также происходить испускание видимого света, инфракрасных и ультрафиолетовых лучей.

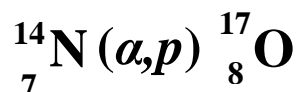
Гамма-кванты испускаются ядрами атомов при альфа- и бета-распаде природных и искусственных радионуклидов в тех случаях, когда в дочернем ядре оказывается избыток энергии, не захваченный корпускулярным излучением (альфа- или бета-частицей). Этот избыток мгновенно высвечивается в виде гамма-квантов.

- Гамма-кванты лишены массы покоя. Это значит, что фотоны существуют только в движении.
- Они не имеют заряда, поэтому в электрическом и магнитном полях не отклоняются.
- Скорость распространения гамма-квантов в вакууме равна скорости света ($3 \cdot 10^{10}$ см/с).

Ядерной реакцией называется процесс взаимодействия ядра с другим ядром, элементарной частицей или фотоном, в результате которого образуется одно или несколько новых ядер. Кроме того, ядерная реакция сопровождается излучением фотонов или некоторых элементарных частиц. Первой ядерной реакцией, осуществленной человеком, было превращение азота в кислород (Э. Резерфорд, 1919 г.):



Сокращенно эту реакцию можно записать так:



Задачи для решения:

1. Найдите элементы:

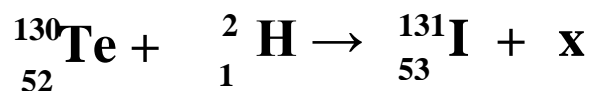
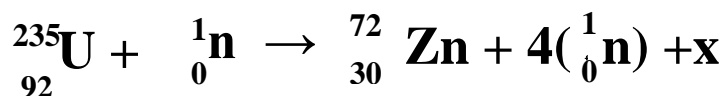
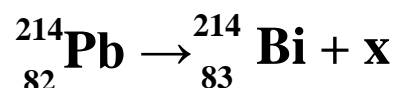
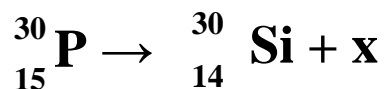
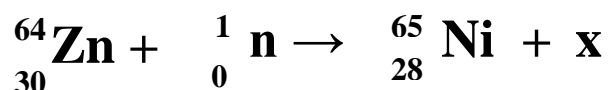
1.1. Найдите элементы, образующиеся из ${}_{84}^{218}\text{Po}$ в результате последовательных распадов $\beta, \alpha, \beta, \alpha, \beta, \beta, \alpha$.

1.2. Найдите элементы, образующиеся из ${}_{89}^{225}\text{Ac}$ в результате последовательных распадов $\alpha, \alpha, \alpha, \beta, \alpha, \beta$.

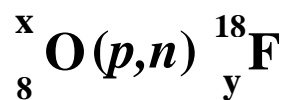
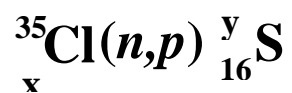
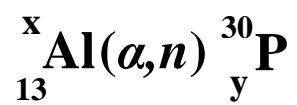
1.3. Найдите элементы, образующиеся из ${}_{90}^{230}\text{Th}$ в результате последовательных распадов $\alpha, \alpha, \alpha, \alpha, \beta, \alpha, \beta, \beta, \beta, \alpha$.

1.4. Найдите элементы, образующиеся из ${}_{87}^{223}\text{Fr}$ в результате последовательных распадов $\beta, \alpha, \alpha, \beta, \alpha, \alpha, \beta$.

2. Найдите частицу (элемент) x в следующих реакциях:



3. Напишите полностью следующие реакции, найдите x и y:



Для того чтобы тема была зачтена необходимо решить не менее 2 задач из каждого раздела (1-3).

3. ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №3 – ОСНОВНОЙ ЗАКОН РАДИОАКТИВНОГО РАСПАДА И АКТИВНОСТЬ РАДИОНУКЛИДОВ.

Краткие теоретические сведения.

Скорость распада радионуклидов различна – одни распадаются быстрее, другие – медленнее. Показателем скорости радиоактивного распада является постоянная радиоактивного распада, λ [сек⁻¹], которая характеризует вероятность распада одного атома за одну секунду. Для каждого радионуклида постоянная распада имеет своё значение: чем оно больше, тем быстрее распадаются ядра вещества.

Число распадов, регистрируемых в радиоактивном образце за единицу времени, называют активностью (a), или радиоактивностью образца. Значение активности прямо пропорционально количеству атомов N радиоактивного вещества:

$$a = \lambda \cdot N$$

где λ – постоянная радиоактивного распада, [с⁻¹].

В настоящее время, согласно действующей Международной системе единиц СИ, за единицу измерения радиоактивности принят беккерель [Бк]. Своё название эта единица получила в честь французского учёного Анри Беккереля, открывшего в 1896 г. явление естественной радиоактивности урана. Один беккерель равен одному распаду в секунду:

$$1 \text{ Бк} = 1 \text{ расп/с}$$

Однако до сих пор достаточно часто применяется внесистемная единица активности – кюри [Ки], введённая супругами Кюри как мера скорости распада одного грамма радия (в котором происходит $\sim 3,7 \cdot 10^{10}$ распадов в секунду), поэтому принято считать:

$$1 \text{ Ки} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Бк}$$

Снижение концентрации радионуклида во времени в результате распада подчиняется экспоненциальной зависимости:

$$N_t = N_0 e^{-\lambda t},$$

где N_t – количество атомов радиоактивного элемента оставшихся через время t после начала наблюдения; N_0 – количество атомов в начальный момент времени ($t=0$); λ – постоянная радиоактивного распада.

Время, за которое распадается половина от общего количества радионуклидов, называется периодом полураспада, $T_{1/2}$. Через один период

полураспада из 100 атомов радионуклида остаются только 50. За следующий такой же период из этих 50 атомов остаются лишь 25 и т. д.

Связь между периодом полураспада и постоянной распада выводится из уравнения основного закона радиоактивного распада. При $t=T_{1/2}$ и $N=N_0/2$ получаем:

$$N_0/2 = N_0 e^{-\lambda t_{1/2}};$$

$$1/2 = e^{-\lambda t_{1/2}} \Rightarrow e^{-\lambda t_{1/2}} = 2$$

$$\lambda T = \ln 2 \Rightarrow \lambda T = 0,693$$

$$\text{т.е. } \lambda = 0,693/T_{1/2}; \quad T_{1/2} = 0,693/\lambda$$

Поэтому закон радиоактивного распада можно записать следующим образом:

$$N_t = N_0 e^{-0,693t/T_{1/2}},$$

Активность a_t любого радиоактивного препарата по истечении времени t определяют по формуле, соответствующей основному закону радиоактивного распада:

$$a_t = a_0 e^{-0,693t/T_{1/2}},$$

где a_t – активность препарата через время t ; a_0 – активность препарата в начальный момент наблюдения.

Часто необходимо определить активность заданного количества любого радиоактивного вещества.

Вспомним, что единица количества вещества – моль. Моль – это количество вещества, содержащее столько же атомов, сколько их содержится в 0,012 кг=12 г изотопа углерода ^{12}C .

В одном моле любого вещества содержится число Авогадро N_A атомов:

$$N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ атомов.}$$

Для простых веществ (элементов) масса одного моля численно соответствует атомной массе A элемента.

Например: для магния: 1 моль $^{24}\text{Mg} = 24$ г;

для ^{226}Ra : 1 моль $^{226}\text{Ra} = 226$ г и т.д.

С учётом сказанного в m граммах вещества будет N атомов:

$$N = N_A * m / A$$

С учётом уравнений этого активность a простого элемента будет:

$$a = \lambda * N = \lambda * N_A * m / A$$

Если радиоактивный элемент входит в состав химического соединения, то при определении активности препарата необходимо учитывать его формулу. С учётом состава вещества определяется массовая доля χ радионуклида в веществе, которая определяется соотношением:

$$\chi = m_{рн} / A$$

где $m_{рн}$ – атомная масса радионуклида в соединении, A_s – атомная масса вещества.

С учётом этого уравнения активность a_s соединения будет определяться формулой:

$$a = \lambda * N_A * \chi * m / A$$

Задачи для решения

Задача 1:

Подсчитать активность 1 грамма ^{226}Ra , у которого $\lambda = 1,38 \cdot 10^{-11} \text{ сек}^{-1}$

Задача 2:

Активность A_0 радиоактивного элемента ^{32}P в день наблюдения составляет 1000 Бк. Определить активность и количество атомов этого элемента через неделю. Период полураспада ^{32}P $T_{1/2} = 14,3$ дня.

Задача 3:

Определите, сколько килограммов ^{137}Cs было выброшено из взорванного Чернобыльского реактора 26 апреля 1986 г., если известно, что его активность a на момент аварии была $2,9 \cdot 10^{17}$ Бк, а доля радиоактивности, выброшенной из реактора, составила 13%.

Задача 4:

В раковинах двустворчатых моллюсков обнаружено 23 200 Бк/кг ^{90}Sr . Определите активность образцов через 10, 30, 50, 100 лет.

Задача 5:

Основное загрязнение замкнутых водоёмов Чернобыльской зоны состоялось в первый год после аварии на АЭС. В донных отложениях оз. Азбучин в 1999 г. обнаружен ^{137}Cs с удельной активностью $1,1 \cdot 10^7$ Бк/м². Определите концентрацию (активность) выпавшего ^{137}Cs на 1 м² донных отложений по состоянию на 1986–1987 гг. (12 лет назад).

4. ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №4 – ДОЗЫ ИЗЛУЧЕНИЯ

Краткие теоретические сведения.

Для количественной характеристики ионизирующих излучений введено понятие дозы излучения.

Экспозиционная доза (X) – мера ионизирующей способности фотонного излучения в воздухе, равная отношению абсолютного значения полного заряда ионов одного знака, возникающих в воздухе при полном торможении электронов, которые были образованы фотонами в элементе объёма воздуха к массе воздуха в этом объёме.

Биологическое действие рентгеновского и ядерных излучений на организм обусловлено ионизацией и возбуждением атомов и молекул биологической среды. За единицу экспозиционной дозы в Международной системе единиц (СИ) принят кулон на килограмм [*Кл/кг*], т.е. такая интенсивность рентгеновских и гамма-лучей, при которой в 1 кг сухого воздуха образуются ионы, несущие заряд в один кулон электричества каждого знака.

На практике чаще применяют внесистемную единицу – *рентген [R]* ($1 R = 2,58 \cdot 10^{-4}$ Кл/кг), принятую в 1928 г.

1 рентген – экспозиционная доза рентгеновского или гамма-излучения, при которой в 1 см³ воздуха (0,001293 г сухого воздуха) при нормальных условиях (0° С и 1013 гПа) образуется $2,08 \cdot 10^9$ пар ионов.

Поскольку на образование одной пары ионов в воздухе в среднем затрачивается 34 эВ, то энергетический эквивалент рентгена в 1 см³ воздуха составляет

$$2,08 \cdot 10^9 \cdot 34 = 7,08 \cdot 10^4 \text{ МэВ} = 0,114 \text{ эрг},$$

$$1 \text{ эрг} = 6,21 \cdot 10^5 \text{ МэВ}$$

$$\text{или в 1 г воздуха } 88 \text{ эрг } (0,114/0,001293 = 88 \text{ эрг}).$$

В начале 50-х гг. стало очевидно, что единица рентген не может обеспечить решения всех метрологических и практических задач в радиологии. Это связано с тем, что при одной и той же энергии гамма-квантов и частиц в 1 г вещества, разного по химическому составу, поглощается различное количество энергии. Поэтому стала необходима универсальная (для любого вида ионизирующего излучения) единица, применяемая для определения физического эффекта облучения в любой среде, в частности в биологических тканях. Такой единицей стал рад – внесистемная международная единица поглощённой дозы, которая была

рекомендована Международным конгрессом радиологов в 1953 г. и нашла широкое применение.

Поглощённая доза (D) – величина энергии ионизирующего излучения, переданная веществу:

$$D = \frac{\overline{de}}{dm},$$

где de – средняя энергия, переданная ионизирующим излучением веществу, находящемуся в элементарном объёме, а dm – масса вещества в этом объёме.

Единица *рад* (*rad – radiation absorbent dose*) – поглощённая доза любого вида ионизирующего излучения, при которой в 1 г массы вещества поглощается энергия излучения, равная 100 эрг (1 рад = 100 эрг/г = 10^{-2} Дж/кг).

За единицу поглощённой дозы в Международной системе единиц (СИ) принят джоуль на килограмм [*Дж/кг*], т.е. такая поглощённая доза, при которой в 1 кг массы облучённого вещества поглощается 1 Дж энергии излучения (1 Дж = 10^7 эрг). Этой единице присвоено собственное наименование *грей* [*Гр*], 1 Гр = 1 Дж/кг = 100 рад. Поглощённая доза излучения, равная 10 Гр – абсолютно летальна для человека.

Введение единиц *рад* и *грей* не исключает использование единицы измерения излучения рентген, тем более что много дозиметрической аппаратуры пока отградуировано в рентгенах. Единицей рентген пользуются для измерения поля излучения (или, как говорят радиологи, падающего излучения) – количественной характеристики источников квантового излучения.

Поскольку при одной и той же энергии гамма-квантов и частиц в 1 г биологической ткани, разной по химическому составу, поглощается различное количество энергии, поглощённую в тканях дозу измеряют в радах расчётным путём по формуле

$$D_{\text{рад}} = X \cdot f$$

где $D_{\text{рад}}$ – поглощённая доза, рад; X – экспозиционная доза в той же точке, Р; f – переходный коэффициент, значение которого зависит от энергии излучения и от рода поглощающей ткани (атомного номера и плотности).

Если в воздухе доза излучения в 1 Р энергетически эквивалентна 88 эрг/г, то поглощённая энергия для этой среды составит $88/100 = 0,88$ рад. Таким образом, для воздуха поглощённая доза, равная 0,88 рад, соответствует экспозиционной дозе в 1 Р.

Переходный коэффициент f обычно определяют опытным путём.

Для воды и мягких тканей коэффициент f_{mk} округлённо принят за единицу (фактически он составляет 0,93). Следовательно, поглощённая доза в радах численно почти равна соответствующей экспозиционной дозе в *рентгенах*.

Для костной ткани коэффициент $f_{mk} = 2 - 5$ рад/Р.

Установлено, что биологическое действие одних и тех же доз различных видов излучений на организм неодинаково. Это связано с удельной ионизацией излучения или линейной передачей энергии (ЛПЭ). ЛПЭ является мерой плотности ионизации вдоль трека падающей частицы, причём, чем больше пар ионов образует на единице пути движущаяся частица, тем сильнее радиационное повреждение при одной и той же поглощённой дозе.

Обозначим через dE среднюю энергию, теряемую заряженной частицей на малом расстоянии dl . Тогда ЛПЭ

$$L_{\Delta} = dE/dl$$

Значение L_{Δ} обычно измеряется в килоэлектронвольтах на микрометр (кэВ/мкм). Чем выше ЛПЭ, тем больше взвешивающий коэффициент W_R для отдельных видов излучения.

Взвешивающие коэффициенты для отдельных видов излучения при расчете эквивалентной дозы (W_R) – используемые в радиационной защите множители поглощённой дозы, учитывающие относительную эффективность различных видов излучения в индуцировании биологических эффектов.

Эквивалентная доза ($H_{T,R}$) – поглощённая доза в органе или ткани, умноженная на соответствующий взвешивающий коэффициент для данного вида излучения, W_R :

$$H_{T,R} = W_R \cdot D_{T,R}$$

где $D_{T,R}$ – средняя поглощённая доза в органе или ткани T , а W_R – взвешивающий коэффициент для излучения R (табл. 1).

При воздействии различных видов излучения эквивалентная доза определяется как сумма эквивалентных доз для этих видов излучения:

$$H_T = \sum_R H_{T,R}$$

Единицей эквивалентной дозы является *зиверт* [Зв].

Внесистемная единица эквивалентной дозы – *бэр* (биологический эквивалент рентгена) $1 \text{ Зв} = 100 \text{ бэр}$.

Таблица 1.

Взвешивающие коэффициенты W_R для отдельных видов излучения
(НРБ-99/2009)

Фотоны любых энергий	1
Электроны и мюоны любых энергий	1
Нейтроны с энергией менее 10 кэВ	5
от 10 кэВ до 100 кэВ	10
от 100 кэВ до 2 МэВ	20
от 2 МэВ до 20 МэВ	10
более 20 МэВ	5
Протоны с энергией более 2 МэВ, кроме протонов отдачи	5
Альфа-частицы, осколки деления, тяжелые ядра	20

Эффективная доза (E) – величина, используемая как мера риска возникновения отдалённых последствий облучения всего тела человека и отдельных его органов и тканей с учётом их радиочувствительности. Она представляет сумму произведений эквивалентной дозы в органах и тканях на соответствующие взвешивающие коэффициенты:

$$E = \sum_T W_T H_T$$

где H_T – эквивалентная доза в органе или ткани T , а W_T – взвешивающий коэффициент для органа или ткани (табл. 2).

Взвешивающие коэффициенты для тканей и органов при расчете эффективной дозы (W_T) – множители эквивалентной дозы в органах и тканях, используемые в радиационной защите для учёта различной чувствительности органов и тканей к возникновению стохастических эффектов.

Единица эффективной дозы – *зиверт* [Зв].

Из табл. 2 видно, что наиболее чувствительны к действию ионизирующих излучений гонады, костный мозг, легкие и желудочно-кишечный тракт. Это означает, что при облучении именно этих органов существует наибольшая вероятность наступления негативных последствий для организма: бесплодия, лейкоза, злокачественных опухолей.

Таблица 2.

Взвешивающие коэффициенты W_T для тканей и органов

Гонады	0,20
Костный мозг (красный)	0,12
Толстый кишечник	0,12
Легкие	0,12
Желудок	0,12
Мочевой пузырь	0,05
Грудная железа	0,05
Печень	0,05
Пищевод	0,05
Щитовидная железа	0,05
Кожа	0,01
Клетки костных поверхностей	0,01
Остальное	0,05
Все тело	1

Сумма всех коэффициентов W_T равна единице. То есть при облучении всего тела будет наибольшее поражение организма и эффективная доза будет численно равна эквивалентной.

Рассмотренные выше понятия дозы описывают только индивидуально получаемые дозы. При необходимости изучения эффектов действия ионизирующих излучений на большую группу людей вводится понятие коллективной эффективной эквивалентной дозы, которая равна сумме индивидуальных эффективных эквивалентных доз и измеряется в *человеко-зивертах [чел-Зв]*.

Поскольку многие, особенно естественные, радионуклиды распадаются очень медленно и будут действовать на население в отдалённом будущем, коллективную эффективную эквивалентную дозу от подобных источников ионизирующих излучений будут получать ещё многие поколения людей, живущих на планете. В связи с этим было введено понятие ожидаемой (полной) коллективной эффективной эквивалентной дозы, которое позволяет прогнозировать поражение группы людей от действия постоянных источников ионизирующих излучений.

Рассмотренные дозиметрические понятия на первый взгляд могут показаться слишком сложными, но они представляют собой логически последовательную систему, которая позволяет рассчитывать согласующиеся или сопоставимые друг с другом дозы облучения (табл. 3).

Таблица 3.

Виды доз и единицы измерения

Дозы	Единицы системы СИ		Внесистемные единицы		Примечания
	доза	мощность дозы	доза	мощность дозы	
Экспозиционная доза	Кл/кг	А/кг	Р (Рентген)	Р/с (мкР/час)	1 Кл/кг=3,88·10 ³ Р 1 Р=2,58 Кл/кг 1 пА/кг=13,9 мкР/час
Поглощенная доза	Гр (Грей)=Дж/кг	Гр/с = Вт/кг	рад	рад/с	1 Дж/кг = 1 Гр 1 Гр = 100 рад
Эквивалентная доза	Зв (Зиверт)	Зв/с	Бэр	Бэр/с	1 Бэр=К·10 ⁻² Гр=10 ⁻² Зв 1 Зв=100Бэр= К· Дж/кг= К·Гр
Эффективная доза	Зв	Зв/с	Бэр	Бэр/с	

Задачи для решения.

1. Рассчитайте энергию ионизирующего излучения, которая потребовалась для формирования поглощённой дозы 4 Гр у человека массой 65 кг.

2. Облучению подверглась 1/5 часть тела человека, масса которого 80 кг. Энергия излучения 100 Дж. Рассчитайте поглощённую дозу.

3. Поглощённая доза альфа-излучения (бета-излучения, гамма-излучения, нейтронного излучения с энергией от 10 до 100 кэВ) равна 30 (3, 12, 50) Гр. Пользуясь справочными данными, рассчитайте эквивалентную дозу.

4. Рассчитайте эффективную дозу в лёгких взрослого человека (масса около 2,5 кг) при воздействии альфа-излучения с энергией 20 МэВ.

5. Рассчитайте суммарную эффективную дозу в желудке, печени и коже при воздействии бета-излучения в дозе 0,7 Гр.

6. Рассчитайте эффективную дозу при лучевой терапии щитовидной железы с применением источника ионизирующего излучения ^{60}Co (гамма-излучатель), если поглощённая доза равна 50 рад.

7. На участке радиевой аномалии вблизи газоносной буровой скважины измерена мощность дозы γ -излучения 3 мкЗв/год. Определите активность ^{226}Ra в грунте при условии, что вклад других радионуклидов в формирование дозы пренебрежимо мал.

8. В результате техногенной аварии водоём был загрязнён радионуклидом ^{137}Cs до уровня 75000 Бк/л. Рассчитайте мощность дозы над поверхностью водоёма.

9. Был утрачен источник ^{60}Co активностью 1 мКи. Приняв источник за точечный, определите, на каком расстоянии мощность дозы будет превышать местное фоновое значение дозы в три раза. Местное фоновое значение мощности дозы составляет 0,14 мкЗв/год.

5. ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №5 - Миграция радионуклидов и динамика уровня ионизирующего излучения

Краткие теоретические сведения.

Коэффициенты перехода ^{137}Cs и ^{90}Sr в компоненты древесного яруса

При расчёте коэффициента перехода (КП) содержание радионуклидов в растении приводится к содержанию его в почве:

$$КП = \frac{\text{удельная активность радионуклида в растении (Бк/кг)}}{\text{удельная активность почвы (Бк/кг)}}$$

или к плотности загрязнения почвы:

$$КП = \frac{\text{удельная активность радионуклида в растении (Бк/кг)}}{\text{плотность загрязнения почвы (Бк/м}^2\text{)}}$$

Второй вариант расчета позволяет выявить зависимость накопления радионуклидов от почвенно-экологических условий, видовых особенностей растений и других факторов.

В этом случае величина КП характеризует различия в биологической доступности радионуклидов.

Коэффициент накопления рассчитывается по формуле:

$$K_n = C_b / C_c$$

где K_n – коэффициент накопления, C_b – измеренная активность в биоте, C_c – измеренная активность в субстрате.

Коэффициент перехода в системе «грунт – продукты питания растительного происхождения» (табл. 4) определяется как отношение:

$$V_{vs} = \frac{\frac{\text{Бк}}{\text{кг}} \text{ свежих продуктов (овощи, фрукты, зерновые)}}{\frac{\text{Бк}}{\text{кг}} \text{ сухого гунта}}$$

Таблица 4.

Значения коэффициентов перехода B_{vs} в системе «грунт – продукты питания растительного происхождения»

Элемент	B_{vs}	Элемент	B_{vs}	Элемент	B_{vs}
Bi	0,1	I	0,02	Pb	0,004
Cd	0,5	K	0,3	Ra	0,04
Co	0,08	Mg	0,03	Sb	0,01
Cr	0,01	Mn	0,3	Sr	0,3
Cs	0,2	Ni	0,05	Tc	5
Cu	0,05	P	1	U	0,002
Hg	0,3	Pa	0,01	Zn	0,4

Задачи для решения

1. Удельная активность ^{137}Cs в образце макрофитов составляет 6,5 Бк/г. Удельная активность ^{137}Cs в воде озера – 20 Бк/л. Найдите коэффициент накопления радионуклида макрофитами.

2. Удельная активность ^{137}Cs в мягких тканях коровы, выращенной в Чернобыльской зоне отчуждения, составляет 930 Бк/кг, удельная активность в костях – 170 Бк/кг. Костная ткань животного составляет 18% от общей массы тела. Рассчитайте средневзвешенную удельную активность всего тела.

3. В 1998 г. в оз. Глубоком, расположенном в Чернобыльской зоне отчуждения, определялось накопление радионуклидов двумя экологическими группами гидробионтов – высшей водной растительностью и моллюсками. В результате исследований найдены коэффициенты соотношения $^{137}\text{Cs}/^{90}\text{Sr}$ для воды – 2,2, для гидробионтов – 2,4 и 0,2. Какой экологической группе гидробионтов соответствует каждый коэффициент? Почему вы так думаете?

4. В теле моллюсков-перловиц, обитающих в озере, обнаружен ^{137}Cs с удельной активностью 4900 Бк/кг. КД $^{137}\text{Cs}/^{90}\text{Sr}$ - 0,2. КН ^{90}Sr из воды 680. Рассчитайте содержание (удельную активность) ^{90}Sr в озёрной воде на момент проведения измерений.

5. В 1998 г. на исследовательском участке в Чернобыльской зоне отчуждения были собраны образцы коры акации белой (*Robinia pseudoacacia*) и сосны обыкновенной (*Pinus silvestris*). Изученные виды деревьев относились к двум возрастным группам – 30-40 лет и до 5 лет. В результате исследований получены коэффициенты

дискриминации $^{137}\text{Cs}/^{90}\text{Sr}$ для акации – 0,61 и для сосны – 1,43. Распределите виды по возрастным группам. Аргументируйте свой ответ.

6. При лесных пожарах из древостоя в окружающую среду высвобождаются радионуклиды, которые были накоплены корой, хвоей и листвой деревьев. На участке соснового леса 35-летнего возраста биомасса деревьев составляет 89 т/га. На кору стволов приходится 11% биомассы, на хвою – 10% биомассы. Удельная активность коры по ^{137}Cs – 19000 Бк/кг, по ^{90}Sr – 12000 Бк/кг. Удельная активность хвои по ^{137}Cs – 5300 Бк/кг, по ^{90}Sr – 21000 Бк/кг. Определите запасы ^{137}Cs и ^{90}Sr в коре и хвое на 1 га леса.

7. В 1987 г. удельная активность ^{137}Cs в грунте составляла 300 кБк/кг. Через 20 лет – 40 кБк/кг. Определите, какая доля ^{137}Cs утрачена в результате периода полураспада, а какая – вследствие геохимической миграции и физического переноса.

8. Вследствие нарушения правил радиационной безопасности человеком были съедены грибы в количестве 800 г, собранные на территории с активностью грунта по ^{90}Sr 600 кБк/кг. Определите величину активности радионуклида в организме в начальный период и через 10 лет.

ЧАСТЬ 2. ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ

В лабораторном практикуме дисциплины «Радиоэкология» студенты осваивают работу на дозиметрах-радиометрах типа ДРГБ-01 «ЭКО-1». Используя указанный прибор (либо аналогичный) студенты самостоятельно проводят гамма-съемку территории, определяют уровень загрязненности проб воды и почвы, содержащих радионуклидные источники Cs-137, по результатам измерения удельной активности, а также уровень загрязненности поверхности бета-излучающими нуклидами (Sr-90) по результатам измерений плотности потока бета-частиц. При выполнении лабораторных работ у студентов формируются навыки самостоятельного выбора объекта исследования, отбора проб воды из природных источников и проб почвы на различных территориях. Результаты исследования оформляются в виде отчетов.

Требования к оформлению результатов лабораторных работ

Отчет по каждой лабораторной работе должен содержать:

1. Титульный лист по установленной форме (Приложение 1);
2. Цели и задачи работы;
3. Заполненный паспорт на пробу (Приложение 2 – для воды);
3. Краткое описание использованного прибора и методики измерения;
4. Результаты измерений, их статистическая обработка, расчета погрешности измерений;
5. Заполненный протокол исследования (Приложение 3);
6. Выводы об уровне радиационной загрязненности.

5. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1 – ПРОБООТБОР. ПРОБОПОДГОТОВКА

Цель работы: формирование навыков самостоятельного выбора объекта исследования, отбора проб воды из природных источников и проб почвы на различных территориях, подготовки проб к проведению исследования в полевых и лабораторных условиях.

Задачи: ознакомление и освоение принципов выбора места для отбора пробы, приемов пробоотбора, методов получения объединенной пробы, консервации, транспортировки и хранения проб, подготовки проб к проведению радиационного определения.

Материалы и оборудование: стеклянные или пластиковые бутылки или канистры; лопаты (штыковые и саперные) или совки; металлическое кольцо; рулетка и линейки; полиэтиленовые пакеты (для хранения и переноски проб); ручки и маркеры.

5.1. Правила отбора проб воды

5.1.1. Выбор и подготовка посуды

Пробы воды для анализа могут отбираться как непосредственно перед анализом, так и заблаговременно. Отбор проб, не предназначенных для анализа сразу же (т.е. отбираемых заблаговременно), производится в герметично закрывающуюся стеклянную или пластмассовую (желательно фторопластовую) посуду вместимостью не менее 1 л. Для отбора проб воды могут применяться как автоматические пробоотборные устройства, так и ручные пробоотборники (емкости, ведра, кружки, воронки). Средства и устройства отбора проб воды должны обеспечивать как отбор воды, так и содержащихся в ней взвесей и осадков. Средства и устройства отбора проб воды изготавливают из материала, который при взаимодействии с анализируемой водой, в течение времени пробоотбора, не изменяет ее химического и радионуклидного состава и легко поддается дезактивации.

При отборе проб следует обращать внимание на сопровождавшие отбор проб гидрологические и климатические условия, такие, как осадки и их обилие, паводки, межень и застойность водоема и т.п., и фиксировать эти сведения в протоколе наблюдений.

Посуда для отбора проб должна быть чистой. Чистота посуды обеспечивается предварительным мытьем ее горячей мыльной водой многократным ополаскиванием чистой теплой водой. В дальнейшем для отбора проб желательно использовать одну и ту же посуду. Предпочтительно использовать емкости из полиэтилена, фторопласта или поликарбонатных полимеров, с герметичными винтовыми пробками из тех же материалов или с изопреновыми прокладками. Нежелательно

использование пробок из резины. Сосуды, предназначенные для отбора проб, предварительно тщательно моют, ополаскивают не менее трех раз отбираемой водой и закупоривают стеклянными или пластмассовыми пробками, прокипяченными в дистиллированной воде. Между пробкой и отобранной пробой в сосуде оставляют воздух объемом 5–10 мл. В общую посуду отбирают пробу на анализ только тех компонентов, которые имеют одинаковые условия консервации и хранения.

5.1.2. Требования к местам и методам отбора проб воды.

При выборе места отбора следует уделить внимание вопросам безопасности – отбор проб не должен быть связан с риском для жизни.

При отборе проб из рек и ручьев, усредненную пробу отбирают в местах наиболее сильного течения, лучше в фарватере течения.

В глубоких водоемах, пробы воды отбирают либо в поверхностном слое (до глубины 0,5 м от поверхности водоема), либо в определенных точках по вертикали.

В неглубоких ручьях и речках (глубина 2 м) и у берега водоемов, пробы отбирают только в поверхностном слое. При отборе воды в поверхностном слое, канистры (или другие сосуды) наполняют, или путем их погружения в водоем, или с помощью кружки (ведра) в зависимости от глубины места отбора. Отбор проб производят так, чтобы не происходило взмучивание донных отложений. Пробы воды с определенной глубины отбирают батометром.

Отбор проб воды в закрытых (непроточных) водоемах и водохранилищах осуществляют аналогично, избегая при этом участков с густыми зарослями.

Отбор проб воды из родников, колодцев, скважин и дренажей. Пробы из искусственного водоприемника отбирают под поверхностью воды непосредственно в сосуды (канистры, бутылки) пробоотборным прибором (кружкой, ведром и т.д.). Если источник снабжен сливной трубой и желобом, пробу отбирают в сосуд с этих устройств. Если у источника нет ни водоприемника, ни искусственного слива, то пробы отбирают в канистры непосредственно или с помощью насоса.

При отборе проб из колодцев сначала откачивают из них воду, причем слив воды из насоса должен быть достаточно удален от колодца. Откачивание производят до тех пор, пока выкачиваемая вода не приобретет постоянную температуру. В случае длительного простоя колодца без его использования, воду из него откачивают полностью, и лишь после его заполнения производят отбор проб. Воду из колодцев в населенных пунктах отбирают ведром, взятым у населения этого пункта.

Недопустим отбор проб воды из скважин, в которых долго стояла вода или отверстие которых было недостаточно плотно закрыто; пробу отбирают после полной откачки воды.

Пробы дренажных вод отбирают непосредственно из стока дренажных труб. Если трубы отсутствуют, то отбор производят прямо из дренажных канавок или приемных желобков.

На водопроводных станциях, пробы отбирают из выходной трубы насосов или сборных желобов. При отборе воды из резервуаров, пробу берут под поверхностью воды. При отборе проб из водопроводного крана, на него надевают резиновый шланг, и при полностью открытом кране производят слив воды в течение 1-2 минут. После слива воды, конец шланга опускается на дно канистры или бутылки. Заполнение сосудов происходит струей воды толщиной около 0,5 см. После заполнения сосуда водой его оставляют еще на некоторое время под краном. Чтобы вода перетекла через край до установления постоянной температуры.

Отбор проб сточных и сбросных вод производят насосом, непосредственно в канистры или бутылки, с применением ведер, черпаков, кружек. По международному стандарту, выбор типа пробоотборника остается за исполнителем работ, но при отборе проб следует соблюдать следующие правила: - интервал между отбором проб - от 5 минут до 1 часа; - минимальный диаметр отверстия пробоотборника - от 9 мм до 12 мм; - погрешность измерения объема пробы - не более 5%.

Отбор проб воды из водоема или водоисточника производят из поверхностного слоя воды, с помощью эмалированных или полиэтиленовых ведер. Емкости, предназначенные для сбора воды, должны быть ополоснуты водой из контролируемого водоема. Наполнение емкости с узким горлом должно осуществляться через полиэтиленовую воронку. Объем отбираемой пробы составляет 20-100 л. Данные по каждой пробе воды записываются в журнал (дата отбора и объем пробы, характеристика гидрологического или уровня режима, число баков и канистр).

5.1.3. Порядок выполнения работы по отбору проб воды

1. Завести Полевой журнал, в который вносится:

- номер и название работы
- название контрольного участка (водоема) и его условное обозначение
- описание, привязка к местности, основные ориентиры контрольного участка (на берегу водоема), расстояние от берега до места отбора воды, глубина, с которой проводился отбор водной пробы.
- ФИО студента
- примечания

2. На берегу водоема выбрать участок, обозначить, сделать привязки к местности, указать основные ориентиры, нанести на карту-схему и в полевой журнал.

3. Напротив контрольного участка в водоеме (озере, реке и др.) с глубины 1-2 м отобрать пробу воды в пластиковую бутылку.

4. К каждой бутылке прикрепить заполненный Паспорт на пробу (Приложение 2).

5.2. Правила отбора и подготовки проб почвы

5.2.1. Общие правила отбора проб почвы, выбор места отбора

Проба почвы — это определенное количество почвы, взятое в соответствии с нормативно-технической документацией для исследования. При отборе проб почвы следует иметь в виду, что почвы меняются при смене рельефа, растительности, почвообразующих пород, увлажнения и других экологических факторов. Изменяются также экологические условия жизнедеятельности почвенных организмов, которым почва образует среду обитания. Прежде чем выбирать место для изучения почвы, надо установить, почву какого участка вы намереваетесь изучить — склона, водораздела или днища долины, пашни или леса. Место для изучения должно находиться в центральной, а не в краевой части территории с характерными условиями. В зависимости от решаемой задачи это место не должно чем-либо выделяться на участке или быть нетипичным для избранных условий (или, напротив, должно иметь именно требуемые признаки нарушений и т.п.). Так, при отборе проб почвы на непахотных угодьях (лугах, пастбищах, сенокосах и т.д., то есть территориях, на которых не ведется любая сельскохозяйственная деятельность и любое человеческое вмешательство минимально) следует придерживаться следующих требований:

– отбор проб проводят в местах с ненарушенной поверхностью почвы, при отсутствии признаков смыва слоя почвы или намыва ее на эту поверхность за то же время;

– предпочтение отдают задернованным местам, протяженность которых составляет не менее 5 м. Следует избегать отбора почвы на песчаных участках, лишенных травянистой растительности;

– место отбора должно быть ровным, однородным, открытым.

Расстояние от окружающих его строений и деревьев должно составлять не менее двух их высот.

При отборе проб в населенных пунктах участки контроля должны располагаться равномерно, в пределах населенного пункта. Количество отбираемых проб должно составлять не менее 5 проб на населенный пункт. Проба отбирается на участке, удаленном от ближайшего строения не менее двух его высот. Точки отбора проб наносятся на карту-схему населенного пункта.

Почвенные пробы на пахотных землях (т.е. сельскохозяйственных угодьях, ежегодно обрабатываемых и используемых под посев

сельскохозяйственных культур и многолетних трав) отбирают до начала весенних полевых работ или непосредственно перед уборкой урожая.

Исследуемый участок должен отвечать следующим требованиям:

– это должен быть отдельно обрабатываемый участок, занятый одной культурой (пшеница, рожь, картофель и т.д.);

– он должен являться наиболее типичным, по основным признакам, для данного района: по типу почв, элементам рельефа, сельскохозяйственному использованию.

Различают *точечную и объединенную* пробы почвы. *Точечная проба* отбирается в одной точке местности на заданной глубине (в заданном интервале глубин) из одного места горизонта или одного слоя почвенного профиля. Точечная проба должна содержать почву, типичную для данного горизонта или слоя. *Объединенная проба* состоит из заданного (не менее двух) количества точечных проб.

5.2.2. Отбор объединенной пробы методом конверта

Отбор почвенных (и растительных) проб можно производить по разным схемам и на различных глубинах, в зависимости от задач исследования, а также с использованием различных пробоотборных устройств (лопаты, металлические кольца и др.)

– Для оценки загрязненности почвы искусственными радионуклидами пахотных и целинных угодий отбор проб почвы (почвенные керны) производят металлическим кольцом из верхнего слоя (глубиной до 5-10см), в котором сосредоточено почти 100% активности, обусловленной выпадениями из атмосферы. Металлическое кольцо забивают в почву молотком до верхней кромки, затем подкапывают лопатой и аккуратно подрезают по нижней кромке. Допускается отбор проб при помощи специального отборника (диаметр рабочей части 70мм, высота рабочей части 100мм). Отбор проб почвы на пахотных участках производят до глубины пахотного слоя.

Расстояние между местами отбора проб (по методу “конверта”) должно составлять 10-20м (рис. 1) , а взятие кернов в месте отбора проб, необходимо производить на расстоянии 50см, между отдельными кернами.

В отдельных случаях, когда необходимо провести исследование распределения радионуклидов по глубине в почве (затопаемые пойменные участки и т.д.) производится отбор проб методом шурфа. На месте отмеченного отбора проб откапывают шурф глубиной до 50-60 см, (глубина шурфа зависит от ожидаемого распределения радионуклидов и обычно составляет не более 50см). Пробоотборным совком (или саперной лопатой), послойно, по 5см (или слоями 1-2, 2-3, 3-5, 5-10, 10-15, 15-25, 25-35, 35-45 см), отбирают пробы по высоте одной из стенок шурфа. На противоположной стенке шурфа, аналогичным методом отбирают параллельные пробы почвы.

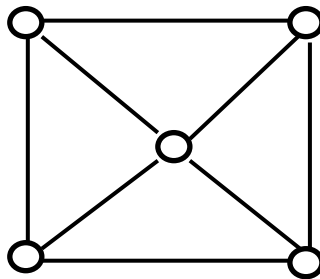


Рис. 1. Схема метода конверта

5.2.3. Подготовка проб почвы к анализу

Подготовка проб почвы к анализу включает несколько этапов:

- 1) смешивание точечных проб, отбор и измельчение проб почвы;
- 2) подсушивание объединенной пробы до воздушно-сухого и абсолютно сухого состояния;
- 3) просеивание и упаковка пробы.

Для начала пробы переносят из упаковочных мешков в эмалированную кювету (поддон) слоем высотой около 2 см, смешивают, отбирают и отбрасывают камни, корни и части растений, почвенных насекомых и червей, инородные включения. Масса одной объединенной пробы должна составлять примерно 1 кг. При необходимости почву измельчают в агатовой либо яшмовой ступке до отдельностей размером не более 1–2 мм.

Далее пробу доводят до воздушно-сухого состояния, выдерживая ее при температуре и влажности помещения в эмалированной кювете. Если температура и влажность в помещении в пределах комнатных условий, а сама почва не переувлажнена, для этого достаточно оставить пробу подсыхать на ночь. Почвенную пробу можно считать воздушно-сухой, если она сухая на ощупь и легко рассыпается при прикосновении.

Взятие вещества для анализа из объединенной пробы производится следующим образом: проба просеивается через сито с отверстиями 1–2 мм и высушивается до воздушно-сухого или абсолютно сухого состояния. Пробу почвы в количестве 1 кг равномерно распределяют на бумаге слоем толщиной около 5 мм. Затем почву делят на квадраты со стороной 3–4 см, проводя шпателем вертикальные и горизонтальные линии. Из каждого квадрата на всю глубину слоя берут небольшое количество почвы и помещают ее в пакет из кальки. Вес пробы почвы должен быть не меньше 10–15 г. Если вес окажется меньшим, то всю почву объединяют на бумаге, вновь перемешивают, делят на квадраты и отбирают почву в соответственно увеличенном количестве, помещая ее в пакетик.

5.2.4. Порядок выполнения работы по отбору проб почвы:

1. Завести **Полевой журнал**, в который вносится:

1. Дата отбора пробы

2. Название участка контроля: это может быть простой порядковый номер (например: КУ-1, КУ-17..) или название по населенному пункту (КУ Александровка).

3. Основные характеристики участка контроля, «макрохарактеристики» – это название области (республики), района, в котором проводятся исследования, близлежащий населенный пункт (если таковой имеется).

4. Описание участка контроля, основные привязки: координаты и высоту над уровнем моря (если есть GPS), тип участка – степь, пашня, луг... Наличие «ярких» признаков (дубовая роща, река, ручей, озеро...) и расстояние до них (в метрах), с учетом направления. Желательно кратко охарактеризовать растительность (разнотравный луг, полынно-типчачковая степь, преобладают злаковые травы...).

5. Составить карту-схему контрольного участка, на котором отметить расположение точек отбора проб, отдельно стоящие деревья, кустарники и прочее. Всё должно быть сориентировано по сторонам света (в полдень солнце в зените и указывает на юг, восход всегда на востоке, а закат, соответственно, на западе).

6. Отобрать на выбранном участке объединенную пробу, используя метод конверта. Почвенные пробы упаковывать в полиэтиленовые или полотняные мешки (из химически нейтрального материала) и приложить к каждому из них заполненный **Паспорт на пробу**, в котором, в общем случае, необходимо указать:

ПАСПОРТ НА ПРОБУ _____

1.Дата отбора _____

2.Область,район _____

3.Нас.пункт _____

4.Основной ориентир _____

5.Глубина отбора, см _____

6.Поверхность почвы: травяной покров, оголенная поверхность (подчеркнуть)

7.Возможность затопления во время паводка:
затопляется, не затопляется (подчеркнуть)

8.Проявление эрозии: водная, ветровая (подчеркнуть)

9.Радиометр _____

10.Мощность дозы, мкЗв/час:

на высоте 2-3 см _____

на высоте 1м _____

11.Номер пробы, нанесенный на карту _____

12.Отбор проб проводил – _____

Подпись _____

5.3. Контрольные вопросы к лабораторной работе №1

1. Основные задачи отбора проб воды.
2. Разовые, периодические и регулярные, смешанные пробы воды.
3. Посуда для отбора проб воды: выбор и подготовка.
4. Требования к местам отбора проб воды.
5. Общие правила выбора места отбора проб почвы.
6. Точечная и объединенная пробы почвы.
7. Отбор объединенной пробы методом конверта.

6. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2 – ПРОВЕДЕНИЕ ГАММА-СЪЕМКИ ТЕРРИТОРИИ

Цель работы: освоение методики оценки мощности дозы гамма-излучения на земельном участке.

Задачи: определить с помощью дозиметра-радиометра мощность AMBIENTНОЙ эквивалентной дозы (МЭкД) фотонного излучения на обследуемом участке..

Материалы, оборудование: дозиметр-радиометр ДРГБ-01 «ЭКО-1».

6. 1. Устройство и принцип действия дозиметра-радиометра.

Прибор состоит из двух основных функциональных узлов - детектора ионизирующего излучения на основе газоразрядного счетчика СБТ-10А или его аналогов и электронно-счетного устройства с узлами питания, звукового сопровождения и жидко-кристаллическим дисплеем. Весь прибор конструктивно размещен в одном пластмассовом корпусе из ударопрочного полистирола со съемным экраном бета-излучения.

Принцип действия прибора основан на преобразовании детектором ионизирующего излучения плотности потока фотонов или бета-частиц в импульсную последовательность электрических сигналов, частота следования которых пропорциональна мощности AMBIENTНОЙ дозы или плотности потока бета-частиц от загрязненных поверхностей и объемных проб, составленных из продуктов питания и т.п.

Сигналы формируются по длительности и амплитуде и подаются на устройство регистрации информации об измеряемой величине, выполненное в виде цифрового табло прибора. Конструктивно все узлы дозиметра-радиометра ЭКО-1 размещены в корпусе из ударопрочного полистирола, на который надевается корректирующий фильтр (рис. 2). Периодичность смены показаний значения измеряемой величины на цифровом табло определяется выбранным режимом работы.

Прибор имеет три режима работы, устанавливаемых нажатием кнопки «РЕЖИМ РАБОТЫ»:

- режим F - служит для обнаружения и оценки уровня радиационной безопасности по результатам измерений МЭкД;
- режим А - служит для оценки уровня загрязненности проб воды, почвы, продуктов питания, растениеводства, животноводства и т.д., содержащих радионуклидные источники Cs-137 по результатам измерения удельной активности.
- режим В - служит для оценки и определения уровня загрязненности поверхности бета-излучающими нуклидами (Sr-90) по результатам

– измерений плотности потока бета-частиц ($1/c \cdot cm^2$);

В режиме А используется схема измерения «фон-запоминание фона-измерение с одновременным вычитанием фона-результат измерения». Прибор обеспечивает сигнализацию о недопустимом разряде аккумуляторов посредством прерывистой индикации показаний, а также звуковую сигнализацию об окончании времени измерения в каждом из режимов работы. Выключение прибора осуществляется нажатием кнопки ВКЛ/ВЫКЛ, на табло появится POFO далее POFF после этого кнопку отпустить и табло гаснет, прибор выключен.



Рис. 2. Внешний вид дозиметра-радиометра ДРГБ-01 «ЭКО-1».

Управление дозиметром-радиометром «ЭКО-1» осуществляется при помощи кнопки «РЕЖИМ». Каждое нажатие этой кнопки сопровождается звуковым сигналом, меняет режим работы прибора в следующей последовательности:

1-е нажатие - E0.00 - измерение МЭкД(однократное).

2-е нажатие - A0.00 - измерение фона при измерении удельной активности ^{137}Cs .

3-е нажатие - A0.00 - измерение пробы при измерении удельной активности ^{137}Cs .

4-е нажатие - b0.00 - измерение фона при измерении плотности потока.

5-е нажатие - b0.00 - измерение плотности потока объекта.

6-е нажатие - F0.00 - измерение МЭкД (циклическое).

7-е нажатие - E0.00 - измерение МЭкД (однократное) и т.д.

6.2. Работа дозиметра-радиометра в режиме измерения МЭкД

6.2.1. Подготовка к работе

После включения прибора нажатием кнопки «ВКЛ/ ОТКЛ», в течении 1 секунды на дисплее выводится графическое отображение состояния заряда аккумуляторной батареи в виде прямоугольников. По мере уменьшения заряда уменьшается и количество прямоугольников на дисплее. При полной зарядке их количество равно четырем. При полностью разряженной аккумуляторной батарее отображается один мигающий прямоугольник с левой стороны дисплея. Сигнализация о необходимости заряда аккумуляторной батареи производится мигающим красным светодиодом в правой части дисплея.

Включить прибор двумя последовательными кратковременными нажатиями кнопки ВКЛ\ВЫКЛ. На индикаторе в течении 10 секунд должно последовательно отобразиться идентификационное наименование программного обеспечения d 01 и номер версии (идентификационный номер) программного обеспечения 3,5.

6.2.2. Измерение МЭкД фотонного излучения

Измерение МЭкД фотонного излучения выполняется после завершения подготовительных работ по п.6.2.1. Нажать клавишу «Режим». На индикаторе должно отобразиться сведение о цифровом идентификаторе программного обеспечения 4FF3. После чего дозиметр автоматически должен переходить в режим измерения и на индикаторе должно появиться F0.00. После появления F0.00 убедиться в правильности работы режимов, последовательно нажимая кнопку «Режим». На индикаторе должно последовательно появляться A.00.0, A00.0, A00.0, b 80. Через 20 с появится результат измерения МЭкД, например, «F0.15» – значение естественного фона излучения. Отсутствие показаний прибора об естественном фоне излучения более чем 20 с свидетельствует о его неисправности.

Прерывистая индикация показаний прибора свидетельствует о разряде аккумуляторов и необходимости их подзарядки. Дальнейшая эксплуатация прибора без подзарядки приведет к автоматическому выключению прибора. Непосредственно после включения питания устанавливается режим-измерение МЭкД (циклическое). В этом режиме результат измерения обновляется каждые 20 с. Однократное нажатие кнопки «РЕЖИМ» переведет прибор в режим-измерение МЭкД (однократное). В этом режиме через 20 с после его установки на ЖК-дисплей будет выведен единственный результат измерения МЭкД. Окончание измерения сопровождается звуковым сигналом. В режимах измерения МЭкД процесс измерения сопровождается характерным звуком (щелчками), частота следования которых пропорциональна измеряемой МЭкД. Превышение измеряемой МЭкД значения 0.60

мкЗв/ч сопровождается тревожной сигнализацией. Звуковая сигнализация отключается нажатием кнопки «ЗВУКОВАЯ СИГНАЛИЗАЦИЯ».

6.2.3. Общие рекомендации по проведению измерений.

Избегайте прикосновения прибором к поверхностям, имеющим загрязненность радионуклидными источниками, т.к. это может привести к частичному его загрязнению и возрастанию в последующем значений фоновых показаний прибора. Для того чтобы избежать загрязненности корпуса прибора при работе, рекомендуем Вам поместить его в полиэтиленовый пакет. При необходимости следует провести дезактивацию корпуса прибора.

Процессы, лежащие в основе существования и формирования полей ионизирующих излучений, в т.ч. и от радионуклидных источников, носят случайный характер. Поэтому за результат измерений параметров поля ионизирующего излучения принимается величина, колеблющаяся относительно некоторого среднего арифметического значения результатов многократных измерений (не менее 10). В этом причина того, что результаты последовательных измерений отличаются друг от друга.

В качестве рекомендаций можно предложить:

1) при беглом контроле достаточно выполнить 3-5 последовательных измерений и определить среднее арифметическое значение.

2) для более точной оценки выполнить 10-15 измерений при неизменных внешних условиях (неподвижность прибора относительно исследуемого объекта и т.д.) и определить среднее арифметическое значение.

6.3. Определение мощности дозы гамма-излучения

Контроль мощности дозы гамма-излучения на земельных участках, отводимых под строительство жилых, общественных и производственных зданий и сооружений, следует проводить в два этапа. *На первом этапе* проводится гамма-съемка территории с целью выявления и локализации возможных радиационных аномалий и определения объема дозиметрического контроля при измерениях мощности дозы гамма-излучения. Перед началом измерений проводится рекогносцировка участка с целью оценки его доступности и готовности для разбивки сети контрольных точек. На плане участка в масштабе 1:2000 или менее (в зависимости от площади участка) с привязкой к местности наносят контуры проектируемых зданий (сооружений).

Поисковая гамма-съемка на участке проводится по прямолинейным профилям, расстояние между которыми не должно превышать 1 м в пределах контура проектируемых зданий, 2,5 м - при площади участка

до 1,0 га, 5 м - при площади от 1,0 до 5,0 га и 10 м - при площади участка свыше 5,0 га.

Проходя выбранные профили со скоростью не более 2 км/ч, непрерывно наблюдают за показаниями поискового радиометра с постоянным прослушиванием скорости счета импульсов в головной телефон. При этом блок детектирования радиометра должен совершать зигзагообразные движения перпендикулярно направлению прохождения выбранного профиля и находиться на расстоянии около 0,1-0,3 м от земли и не ближе 0,5-1,0 м от оператора.

Если по результатам гамма-съемки на участке не выявлено зон, в которых показания радиометра в 2 раза или более превышают среднее значение, характерное для остальной части земельного участка, 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.

В точках с максимальными значениями мощности дозы, а также при наличии информации о возможном загрязнении территории техногенными радионуклидами обязательным является отбор проб грунта и анализ его радионуклидного состава.

Если по результатам гамма-съемки выявлены зоны, в которых показания радиометра 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 в большинстве случаев наличие таких зон обусловлено подсыпкой отдельных участков гранитным щебнем, расположением 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. Признаком наличия локализованного источника гамма-излучения вблизи поверхности почвы является заметное снижение мощности дозы при увеличении высоты расположения дозиметра над поверхностью земли в пределах аномалии или возрастание мощности дозы по глубине от поверхности почвы на аномальном участке.

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.

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. За результат измерений мощности дозы гамма-излучения в каждой контрольной точке принимается среднее арифметическое по данным всех выполненных в ней измерений, а погрешность измерения рассчитывают в соответствии с описанием дозиметра или методикой выполнения измерений.

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

$$\bar{H} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \bar{H}_i,$$

где N - количество контрольных точек на участке;

\bar{H}_i - среднее значение мощности дозы гамма-излучения в i -й точке.

Если по результатам обследования земельного участка на нем не обнаружено радиационных аномалий, подлежащих ликвидации, а для среднего значения мощности дозы выполняется условие:

$$\bar{H} + \Delta \leq 0,3 \text{ мкЗв/ч},$$

в котором Δ - стандартная неопределенность значения \bar{H} , обусловленная вариацией мощности дозы на контролируемом участке, то земельный участок соответствует требованиям санитарных правил и гигиенических нормативов по мощности дозы гамма-излучения для строительства любых объектов без ограничений.

Стандартная неопределенность значения \bar{H} рассчитывается по формуле:

$$\Delta = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^M (\bar{H} - H_i)^2}{M(M-1)}}$$

где M - общее число точек измерений на участке, на котором не выявлено зон с повышенными показаниями поискового радиометра.

Если на земельном участке не обнаружено радиационных аномалий, подлежащих ликвидации, и одновременно не выполняется условие:

$$\bar{H} + \Delta \leq 0,3 \text{ мкЗв/ч,}$$

то для уточнения значения данного показателя участка необходимо выполнить дополнительные измерения мощности дозы гамма-излучения с применением дозиметров, имеющих меньшую погрешность, или увеличить число точек измерений.

Если по результатам обследования земельного участка под строительство производственных зданий и сооружений радиационных аномалий, подлежащих ликвидации, не обнаружено, а для среднего значения мощности дозы гамма-излучения на обследованной территории выполняется условие:

$$\bar{H} + \Delta \leq 0,6 \text{ мкЗв/ч,}$$

то участок соответствует требованиям санитарных правил и гигиенических нормативов по мощности дозы гамма-излучения для строительства производственных зданий и сооружений.

Если на участке под строительство производственных зданий и сооружений отсутствуют радиационные аномалии, подлежащие ликвидации, и при этом вышеуказанное условие не выполняется, то следует уточнить значения данного показателя.

По результатам определения мощности дозы гамма-излучения на земельных участках под строительство оформляют протокол испытаний, в который включают информацию, приведенную в приложении 3.

6.4. Порядок выполнения работы:

1. Получить дозиметр-радиометр, изучить его устройство и принцип работы, проверить работоспособность прибора.
2. Выбрать участок для проведения гамма-съемки территории, составить его план.
3. Провести измерения мощности дозы гамма-излучения в выбранных точках, выполнив не менее 10-15 измерений в каждой точке.
4. Обработать полученные результаты, определив среднее значение мощности дозы гамма-излучения в i -й точке, среднее значение мощности дозы гамма-излучения территории, стандартную неопределенность среднего значения мощности дозы гамма-излучения территории.
5. Определить, выполняются ли на обследованном участке условия, обуславливающие возможность строительства на нем любых или только производственных зданий и сооружений (в соответствии с санитарно-гигиеническими требованиями).

6. Заполнить протокол испытаний (Приложение 3) и оформить отчет.

6.5. Контрольные вопросы к лабораторной работе №2

1. Устройство и принцип действия дозиметра-радиометра.
2. Что такое экспозиционная доза излучения?
3. Что такое поглощённая доза излучения?
4. Что такое эквивалентная доза излучения?
5. Что такое эффективная доза излучения?
6. Порядок работы на дозиметре-радиометре при измерении мощности эквивалентной дозы (МЭкД).
7. Особенности гамма-съёмки территории.

7. ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ №3 и №4

ОЦЕНКА УРОВНЯ ЗАГРЯЗНЕННОСТИ ПРОБ ВОДЫ И ПОЧВЫ РАДИОНУКЛИДАМИ (Cs-137 и Sr-90) ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИЗМЕРЕНИЯ УДЕЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ И ПЛОТНОСТИ ПОТОКА БЕТА-ЧАСТИЦ.

Цель работ: оценить уровень загрязненности проб воды и почвы радионуклидами (Cs-137 и Sr-90)

Задачи: измерить удельную активность и плотность потока бета-частиц

Материалы, оборудование: дозиметр-радиометр ДРГБ-01 «ЭКО-1».

7.1. Измерение удельной активности радионуклидных источников Cs-137 в пробах.

В отобранных в ходе выполнения лабораторной работы №1 пробах воды и почвы необходимо произвести измерение удельной активности радионуклидных источников Cs-137 с помощью дозиметра-радиометра. При этом в ходе выполнения лабораторной работы №3 производится оценка уровня загрязненности проб воды, а при выполнении работы №4 – проб почвы. Перед началом работы необходимо проверить и подготовить прибор в соответствии с рекомендациями, данными в лабораторной работе №2 (п. 6.1 и п.п. 6.2.1).

До начала измерений необходимо приготовить пробы продукта. Для этого продукт залейте (пробу воды) или засыпьте (пробу почвы), предварительно измельчив ровным слоем в чистую стеклянную банку вместимостью 0.5 л и площадью горловины не менее 40 см таким образом, чтобы его поверхность не доходила до края банки 3-5 мм. Отнесите или передвиньте приготовленную пробу на 1-1.5 м от места расположения прибора.

Не снимая экран с прибора, включите его. После появления индикации на цифровом табло прибора, выполните два последовательных нажатия кнопки «РЕЖИМ РАБОТЫ». На цифровом табло прибора должна появиться информация о режиме фоновых измерений –А. 00.0 (индикация точки перед старшим разрядом), далее появляется последовательность чисел, начиная с 99.9, уменьшающихся во времени.

По истечении времени фонового измерения (не более 520 с) подается кратковременный (не более 20 с) звуковой сигнал. На цифровом табло фиксируется трехзначное число, находящееся в области значений от 60.0 до 99.9.

Верните приготовленную пробу на местоположение прибора и установите его на горловину стеклянной банки. Дополнительно выполните одно нажатие кнопки «РЕЖИМ РАБОТЫ» и на цифровом

табло должна появиться информация о режиме измерения удельной активности, (исчезает точка перед старшим разрядом).

По истечении времени измерения (не более 520 с), подается кратковременный (не более 20с) звуковой сигнал. На цифровом табло прибора сохраняется, до выполнения следующего измерения, значение удельной активности радионуклидного источника Cs-137 в приготовленной пробе, выраженное в единицах – килобеккерелях на килограмм (кБк/кг).

Пример. Показание на цифровом табло прибора, установленного на горловину стеклянной банки 0.5 л, заполненной крупой, -A04.5 означает, что значение удельной активности в объемной мере, состоящей из крупы (плотностью 1г/см³), составляет 4.5 Кбк/кг.

Для повторного включения прибора в режиме измерения удельной активности нажать кнопку «РЕЖИМ», до появления надписи «РЕС» на дисплее.

7.2. Измерение плотности потока бета-частиц от загрязненных поверхностей.

В отобранных в ходе выполнения лабораторной работы №1 пробах воды и почвы необходимо произвести измерение удельной активности радионуклидных источников Sr-90 с помощью дозиметра-радиометра. При этом в ходе выполнения лабораторной работы №3 производится оценка уровня загрязненности проб воды, а при выполнении работы №4 – проб почвы. Перед началом работы необходимо проверить и подготовить прибор в соответствии с рекомендациями, данными в лабораторной работе №2 (п. 6.1 и п.п. 6.2.1).

Для выполнения измерений плотности потока бета-частиц прибором необходимо использовать строго выделенную из общего объема исследуемого продукта или грунта плоскую пробу с площадью излучающей поверхности 20-40 см. Примером такой пробы может служить бытовая полиэтиленовая крышка диаметром 52-82 мм, залитая (проба воды) или засыпанная (проба земли) предварительно измельченным продуктом ровным слоем, отстоящим от края крышки на 2-3 мм. Поместите прибор на приготовленную пробу.

Для определения плотности потока бета-частиц **обязательно** снимите экран с прибора. После появления индикации на цифровом табло, выполните последовательное нажатие кнопки «РЕЖИМ» до появления индикации **b80**. По истечении времени измерения – не более 80с подается кратковременный (не более 20с) звуковой сигнал. До выполнения следующего измерения на цифровом табло сохраняется значение плотности потока бета-частиц, испускаемых с поверхности пробы, выраженное в единицах- бета-частицах в секунду с квадратного сантиметра поверхности- 1/с·см².

Для повторного включения прибора в режиме измерения плотности потока бета-частиц, нажать кнопку «РЕЖИМ», до появления надписи «РЕС» на дисплее.

7.3. Порядок выполнения работ №3 и №4:

1. Подготовить пробу воды (работа № 3) или почвы (работа № 4) для измерения удельной активности радионуклидных источников Cs-137 в пробах в соответствии с п.7.1.

2. Произвести соответствующие измерения с помощью дозиметра-радиометра в соответствии с п.7.1.

3. Подготовить пробу воды (работа № 3) или почвы (работа № 4) для измерения плотности потока бета-частиц от загрязненных поверхностей в соответствии с п.7.2.

4. Произвести соответствующие измерения с помощью дозиметра-радиометра в соответствии с п.7.2.

5. Оформить отчет.

7.4. Контрольные вопросы к лабораторной работе №3 и №4.

1. Основные правила пробоподготовки (для воды и почвы).

2. Методика измерения удельной активности радионуклидных источников Cs-137 с помощью дозиметра-радиометра в пробах воды и почвы.

3. Методика измерения плотности потока бета-частиц от загрязненных поверхностей (водных и почвенных).

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Карташев, А. Г. Радиоэкология [Электронный ресурс] : учебное пособие / А. Г. Карташев. - Томск : Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2011. - 161 с.
2. Маврищев, В. В. Радиоэкология и радиационная безопасность [Электронный ресурс] : пособие для студентов вузов / В. В. Маврищев, А. Э. Высоцкий, Н. Г. Соловьёва. – Минск : ТетраСистемс, 2010. - 208 с.
3. Практические работы по курсу «Радиоэкология» [Электронный ресурс] : учебное пособие / А. А. Касьяненко [и др.]. – М. : Российский университет дружбы народов, 2011. - 212 с.
4. Санитарные правила и нормативы СП 2.6.1.2612-10. Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99/2010). утв. постановлением Главного государственного санитарного врача РФ от 26 апреля 2010 г. N 40. С изменениями и дополнениями от 16 сентября 2013 г.
5. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99) СП 2.6.1.758-99.
6. Санитарные правила «Гигиенические требования по ограничению облучения населения за счет природных источников ионизирующего излучения». СП 2.6.1.1292-03. утв. постановлением Главного государственного санитарного врача РФ от 18 апреля 2003 г. N 58.
7. Приборы и устройства для отбора первичной обработки и хранения проб природных вод. Общие технические условия Госстандарт СССР. 1982 г. С 01.01.1983 г.
8. Белокрылова, Е. А. Комментарий к Федеральному закону от 9 января 1996 г. № 3-ФЗ «О радиационной безопасности населения» [Электронный ресурс] : практическое пособие / Е. А. Белокрылова. - Саратов: Ай Пи Эр Медиа, 2009. - 287 с.
9. Воробьева, В. В. Введение в радиоэкологию [Электронный ресурс] : учебное пособие / В. В. Воробьева. – М. : Логос, 2009. - 355 с.
10. Муравьев А.Г., Каррыев Б.Б., Лянзберг А.Р. Оценка экологического состояния почвы: Практическое руководство / Под ред. А.Г. Муравьева. — Изд. 2-е, перераб. и доп. — СПб.: Крисмас+, 2008.

ОБРАЗЕЦ ТИТУЛЬНОГО ЛИСТА

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО СВЯЗИ
Федеральное государственное образовательное бюджетное учреждение
высшего образования
«Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций
им. проф. М.А. Бонч-Бруевича»

Институт военного образования

Кафедра экологии и безопасности жизнедеятельности

ОТЧЕТ О ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ №3
«ОЦЕНКА УРОВНЯ ЗАГРЯЗНЕННОСТИ ПРОБ ВОДЫ РАДИОНУКЛИДАМИ
(CS-137 и SR-90) ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИЗМЕРЕНИЯ УДЕЛЬНОЙ
АКТИВНОСТИ И ПЛОТНОСТИ ПОТОКА БЕТА-ЧАСТИЦ»

или

ОТЧЕТ О ПРАКТИЧЕСКОЙ РАБОТЕ №1
«ИЗУЧЕНИЕ И АНАЛИЗ ГОСУДАРСТВЕННЫХ ДОКЛАДОВ О
СОСТОЯНИИ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ КАК ИСТОЧНИКОВ
РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ»

Выполнил:

(Ф.И.О., № группы)

(подпись)

Принял:

(должность, ученая степень,
ученое звание, Ф.И.О.)

(подпись)

Санкт-Петербург

20__

Паспорт на пробу воды

Территориальный орган (министерства, службы, агентства) _____

Протокол (акт) отбора проб воды № _____ от _____
Водоем (водоток) _____ Станция (пост) _____
Дата и время отбора пробы _____ Расход воды _____ м ³ /с
Уровень воды _____ м Скорость течения _____ м/с
Место отбора пробы _____ Глубина отбора пробы _____ м
створ, расстояние от левого берега в долях ширины реки
Тип пробы _____ Тип пробоотборника _____
точечная, составная
Общий объем пробы _____ дм ³
Пробу отобрал _____
подпись _____ инициалы, фамилия

ОБРАЗЕЦ ПРОТОКОЛА ИСПЫТАНИЙ

(Наименование организации и/или испытательной лаборатории)

Номер аттестата об аккредитации и срок его действия, дата регистрации в государственном реестре

Адрес организации или ЛРК:

Тел./факс:

Номер протокола, дата

Наименование объекта и его адрес:

Участок территории площадью ___ кв. м, отведенный под строительство объекта (наименование) по адресу: _____

Назначение объекта:

Территория, отведенная под строительство объекта (наименование)

Заказчик:

Название, адрес: _____

Цель обследования:

Радиационное обследование при землеотводе под строительство объекта (наименование)

Средства измерений

№ п/п	Тип прибора	Зав. номер	Номер свидетельства о госповерке	Срок действия свидетельства	Кем выдано свидетельство	Основная погрешность измерения
1						___%
2						___%
3						___%

Примечание. Поисковый радиометр использовался для проведения поисковой гамма-съемки территории под строительство объекта (наименование).

Нормативная и инструктивно-методическая документация, использованная при проведении измерений

1 Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99) СП 2.6.1.799-99.

2 Нормы радиационной безопасности (НРБ-99) СП 2.6.1.758-99.

3 Гигиенические требования по ограничению облучения населения за счет природных источников ионизирующего излучения. СП 2.6.1.1292-03.

4 Методика выполнения измерения мощности дозы гамма-излучения _____

(номер, дата утверждения, кем утверждена)

5 Методика измерения плотности потока радона с поверхности почвы _____

(номер, дата утверждения, кем утверждена)

Дата проведения обследования:

" ___ " _____ 200__ г.

Условия проведения обследования

Температура воздуха:

$t_{\text{в}}=15-18^{\circ}\text{C}$, ветер умеренный, без осадков

Атмосферное давление:

540 мм рт. ст.

Высота снежного покрова

(в холодный период):

Результаты измерений (пример)

1 Поиск и выявление радиационных аномалий

1.1 Гамма-съемка территории проведена по маршрутным профилям в масштабе 1:500 (с шагом сети 5 м) с последующим проходом по территории в режиме свободного поиска.

1.2 Показания поискового прибора: среднее значение - 15 мкР/ч, диапазон - 13-17 мкР/ч*.

* - Единицы измерений мощности дозы гамма-излучения указываются в соответствии с применяемыми дозиметрами, а показания поискового радиометра - в соответствии с его градуировкой.

1.3 Поверхностных радиационных аномалий на территории не обнаружено**.

** - При обнаружении радиационных аномалий их описание, включая и нанесение на план участка территории, производится в соответствии с указаниями разд. 5.

1.4 Максимальное значение мощности дозы гамма-излучения в точках с максимальными показаниями поискового прибора - (0,18+/-0,08) мкЗв/ч.

2 Мощность дозы гамма-излучения на территории

2.1 Количество точек измерений - 10.

2.2 Среднее значение мощности дозы гамма-излучения - (0,13+/-0,07) мкЗв/ч.

2.3 Минимальное значение мощности дозы гамма-излучения - (0,08+/-0,06) мкЗв/ч.

2.4 Максимальное значение мощности дозы гамма-излучения - (0,18+/-0,08) мкЗв/ч.

При необходимости следует привести схему расположения точек измерения ППР на плане участка в приложении к протоколу.

Примечание. Схема расположения точек измерения ППР приведена в приложении к протоколу _____ от "____" _____ 200__ г.

Ответственный за проведение обследования:

Инженер _____
(Ф.И.О.)

Заведующий _____
(Ф.И.О.)
