

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ЯДЕРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ «МИФИ»

Т.В. Мельникова, А.А. Удалова, Л.П. Полякова

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ

по курсу

«Инструментальные методы анализа
радиоэкологии
и радиационной безопасности»

ЧАСТЬ I

Учебно-методическое пособие

Москва 2021

УДК 53.06, 543.4, 543.5
ББК 24.46
М 48

Мельникова Т.В., Удалова А.А., Полякова, Л.П. Лабораторный практикум по курсу «Инструментальные методы анализа радиоэкологии и радиационной безопасности». Часть I.: *Учебно-методическое пособие* [Электронный ресурс]. – М.: НИЯУ МИФИ, 2021. – 32 с.

Составлено для магистров направления «Радиационная безопасность», профиля «Радиационная безопасность и радиоэкология» в соответствии с программой учебной дисциплины «Инструментальные методы анализа радиоэкологии и радиационной безопасности». Отдельные лабораторные работы могут быть использованы в лабораторном практикуме для бакалавров направления «Биология» профиля «Радиобиология» в курсе «Инструментальные методы анализа радиационного и химического загрязнения».

Первая часть практикума состоит из четырех лабораторных работ, закрепляющих лекционный материал по методам радиационной очистки сточных вод, предпосевного радиационного облучения, контроля поглощенной дозы облучения и измерения плотности потока β - и α -частиц в почве.

Рецензент: канд. биол. наук С.В. Белкина,
и.о. заведующего биофизической лабораторией
МРНЦ им. А.Ф. Цыба – филиал ФГБУ НМИРЦ Минздрава России

ISBN 978-5-7262-2763-4

© Национальный исследовательский
ядерный университет «МИФИ», 2021

Редактор *Т.В. Волвенкова*
Оригинал-макет подготовлен *С.В. Тялиной*

Подписано в печать 16.12.2021. Формат 60×84 1/16.
Уч.-изд.л. 2,0. Печ.л. 2,0. Изд. № 020-1.

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ».
Типография НИЯУ МИФИ.
115409, Москва, Каширское ш., 31.

Содержание

Лабораторная работа 1.	
Радиационная очистка сточных вод от органических веществ.....	4
Лабораторная работа 2.	
Изучение действия ионизирующего излучения на рост и развитие растения при предпосевном облучении его семян.....	12
Лабораторная работа 3.	
Определение поглощенной дозы от электронных пучков ускорителя УЭЛР-10-10-40 на основе полимерных плёнок СО ПД (Ф) Р-5/50 и СО ПД (Э)-1/10.....	17
Лабораторная работа 4.	
Измерение плотности потока β - и α -частиц в почве.....	22
Список рекомендованной литературы	32

Лабораторная работа 1.

Радиационная очистка сточных вод от органических веществ

Радиационная технология изучает, разрабатывает и совершенствует методы, приемы и устройства, в которых используются ионизирующие излучения. Ионизирующее излучение разлагает загрязняющие вещества во многих жидких системах (природной и питьевой воде, бытовой и промышленной сточных водах, смешанных жидких радиоактивных отходах, трансформаторном и гидравлическом маслах, осадках сточных вод и т.д.) (рис. 1.1). Одновременно происходит обеззараживание облучаемой системы.

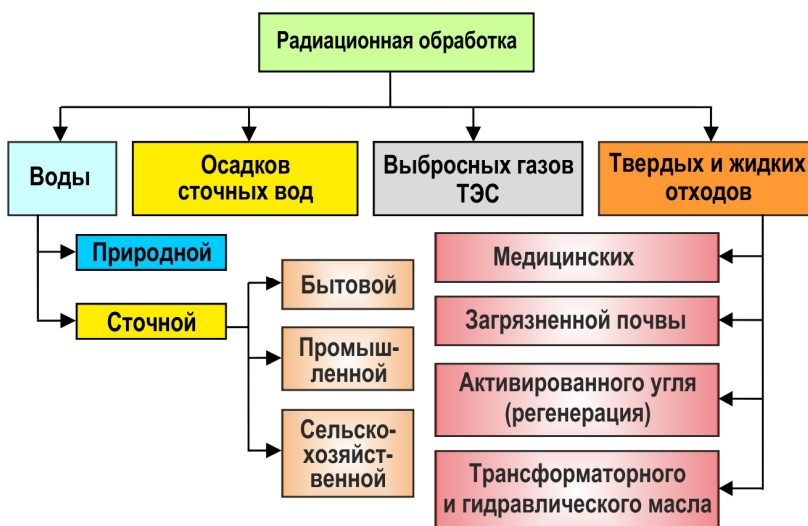


Рис. 1.1. Использование радиационных технологий для очистки различных жидких систем

Для радиационной обработки различных объектов применяют установки, со следующими видами ионизирующего излучения:

- 1) электронное излучение с энергией не более 10 МэВ;
- 2) γ -излучение искусственно произведенного радиоизотопа ^{60}Co ($T_{1/2} = 5,27$ года, $E = 1,25$ МэВ). ^{60}Co получают в ядерном реакторе по реакции $^{59}\text{Co} + n \rightarrow ^{60}\text{Co} + \gamma$;

3) γ -излучение радиоизотопа ^{137}Cs ($T_{1/2} = 30,17$ года, $E = 0,66$ МэВ), который выделяют из продуктов реакций деления, осуществляемых в ядерном реакторе;

4) тормозное рентгеновское излучение, генерируемое электронными ускорителями с энергией не более 5 МэВ.

Выбор верхнего энергетического предела для электронов и рентгеновских лучей связан с тем, что при указанных энергиях не проявляется наведенная радиоактивность. Энергия γ -излучения не может быть выше 5 МэВ, поскольку это излучение возникает при возвращении возбужденного ядра в более низкое энергетическое состояние.

Все виды излучения имеют определенные преимущества и недостатки. Тормозное рентгеновское излучение имеет хорошее проникновение, но имеет низкий КПД (до 20 %) и жесткие требования к защите от облучения обслуживающего установку персонала, а также высокую стоимость по отношению к ускоренным электронам.

Ускоренные электроны, имея недостатки – малую глубину проникновения (до 0,5 см) и нежелательное повышение температуры в облучаемых объектах, вместе с тем имеют преимущества перед источниками γ -излучения, такие как: малое время экспонирования (секунды против часов для источников γ -излучения); более высокий КПД (от 40 до 80 % в зависимости от облучаемого материала против 25 % для установок, заряженных радиоизотопами); меньшую стоимость; большую безопасность (электронный пучок может быть в любой момент включен или выключен); менее жесткие требования к защите от облучения обслуживающего установку персонала.

В настоящее время широкое распространение получили установки с радионуклидными источниками излучения и ускорителями электронов. Они наиболее полно отвечают перечисленным условиям радиационной безопасности при их эксплуатации.

Нерадиационные методы обезвреживания сточных вод от растворенных органических веществ, такие как хлорирование, озонирование, УФ-облучение и термическая обработка вод, обладают рядом достоинств и недостатков. Перечислим основные недостатки этих методов.

– При хлорировании хлор взаимодействует с содержащимися в воде органическими веществами с образованием токсичных хлорорганических соединений, например диоксинов. Хлорирование приводит к засаливанию водоёмов. Крупные хранилища с запасами хлора и его транспортировка представляют потенциальную угрозу для живых организмов, человека и окружающей среды.

– Озонирование требует значительного расхода электроэнергии (до 26 кВт на 2 кг озона), связанного с предварительной подготовкой воздуха: очисткой, охлаждением, осушкой. Часто выходят из строя электроды. Обычно усваиваемость озона в воде не превышает 95–98 %, таким образом в тропосферу попадает 2–5 % озона, который очень токсичен для живых организмов.

– При ультрафиолетовой обработке предъявляются высокие требования к прозрачности вод. Лампы требуют частой замены, а их утилизация выливается в серьёзную проблему, так как лампы содержат ртуть.

– Для термической обработки воды требуется очень высокий расход энергии (сотни кДж на кг воды).

Сточная вода обычно содержит большое количество разнообразных примесей, и для ее очистки требуются сравнительно большие дозы. Поэтому рекомендовано применять комбинированные методы, сочетающие, например, гамма-облучение с флотацией, электронно-лучевую обработку с биологической очисткой, озонированием или коагуляцией и т.п. В этих методах радиационная обработка является дополнительным и увеличивающим эффективность очистки инструментом.

В настоящее время установлены основные закономерности радиационной обработки природных и сточных вод различных производств, изучена кинетика разложения загрязняющих веществ и разработана технология радиационной очистки воды в применении к очистным сооружениям отдельных не крупных городов или производств.

В результате радиационной обработки воды могут происходить следующие процессы:

- радиационное окисление;
- образование осадков органических веществ;
- коагуляция коллоидных растворов;

- обеззараживание;
- дегельминтизация;
- дезодорация и др.

Радиационная технология обладает рядом достоинств:

- низкий уровень затрат кДж/кг;
- высокие скорости процесса обработки;
- небольшие производственные площади;
- возможность полной автоматизации процесса;
- лёгкость её включения в технологическую цепочку обычных очистных сооружений.

Цель настоящей работы состоит в изучении эффективности удаления органических загрязняющих веществ из сточных вод после их радиационной обработки, на примере модельных растворов бензола.

О стабильности бензола при воздействии на него γ -излучением можно судить по величине таких показателей, как степень разложения (P) и радиационно-химический выход (G) вещества:

$$P = 100 \% - \frac{C_{\text{после}}}{C_{\text{до}}} 100 \%, \quad (1.1)$$

где P – степень разложения бензола, %; $C_{\text{после}}$ – концентрация бензола после облучения, мг/л или моль/л; $C_{\text{до}}$ – концентрация бензола до облучения, мг/л или моль/л.

$$G(-\text{бензол}) = \frac{\Delta C}{D}, \quad (1.2)$$

где $G(-\text{бензол})$ – радиационно-химический выход разложения, (молек)/100эВ, в дальнейшем обозначаемый G ; ΔC – изменение концентрации исходного продукта; D – доза гамма-излучения, эВ.

Если концентрация вещества выражена в моль/л, а доза – в Гр, то формула для расчета G имеет следующий вид:

$$G = \frac{C \cdot N_o \cdot 100}{D \cdot f \cdot \rho \cdot 1000}, \quad (1.3)$$

где N_o – число Авогадро ($6,022 \cdot 10^{23}$ молек/моль); ρ – плотность облучаемой системы, г/см³; f – коэффициент перехода от грэя к электрон-вольтам ($f = 6,241 \cdot 10^{15}$ эВ/(г · Гр)).

В очень разбавленных растворах, когда доля (E_i) растворенного вещества (1.4) мала по сравнению с долей растворителя, можно считать, что основная часть дозы поглощается растворителем. В этом случае при расчете $G(-\text{бензол})$, как показателя эффективности разложения бензола, с применением формулы (1.3), следует учитывать долевой компонент дозы, поглощенной непосредственно бензолом. Для этого по (1.4) рассчитывается электронная доля бензола в растворе.

$$E_i = \frac{M_i \cdot n_i}{\sum_{i=1}^{i=K} M_i \cdot n_i}, \quad (1.4)$$

где E_i – электронная доля растворенного i -го вещества (бензола или растворителя – вода); M_i – мольная доля i -го компонента; n_i – число электронов в молекуле i -го компонента; K – число i -х компонентов.

Но по мере увеличения доли E_i растворенного вещества i , возрастает доза D_i , поглощаемая этим веществом:

$$D_i = D \cdot E_i \quad (1.5)$$

с учетом выражений (1.4) и (1.5) формула (1.3) принимает следующий вид:

$$G(-\text{бензол}) = \frac{\Delta C \cdot N_o \cdot 100}{(D \cdot E_i) \cdot f \cdot \rho \cdot 1000}. \quad (1.6)$$

Приборы, посуда, реактивы

Установка «Исследователь» (γ -излучение, ^{60}Co);

Спектрофотометр UV-mini1240 для работы в УФ, видимом и инфракрасном диапазонах (190–1100 нм);

Лабораторный шейкер Orbital Shaker OS-20;

Кюветы кварцевые на 10 мл с крышкой, 2 шт.;

Мерные колбы (с крышками) на 50 мл, 15 шт.;

Пипетка Мора на 25 мл, 1 шт.;

Пипетка на 5 мл с делениями, 1 шт.;
Автоматическая микропипетка 2–10 мкл, 1 шт.;
Бензол ($\rho = 0,8787 \text{ г/см}^3$).

Выполнение определения. Модельные водные растворы бензола перед проведением лабораторной работы облучают на установке «Исследователь» (γ - излучение, ^{60}Co) в дозах 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 кГр с мощностью дозы 1,35 Гр/с или на радиационно-технологической установке с ускорителем УЭЛР-10-10С электронами с энергией 10 МэВ в тех же дозах.

Перед началом работы студенты знакомятся с устройством и органами управления спектрофотометра, готовят его к работе, включают в сеть и прогревают 30–40 мин.

Приготовление стандартных растворов бензола. Для приготовления водных растворов бензола используем метод последовательного двукратного разбавления дистиллированной водой. Для этого каждый студент готовит одну серию водных растворов бензола, состоящую из 5 растворов сравнения каждая. В мерную колбу вместимостью 50 мл вносят небольшое количество дистиллированной воды, микропипеткой помещают 10 мкл бензола и доводят до метки дистиллированной водой. На лабораторном шейкере перемешиваем раствор в течение 15 мин, со скоростью 230–240 об/мин. Отбираем пипеткой 25 мл полученного раствора, переносим в следующую мерную колбу и разбавляем до метки дистиллированной водой. Последовательное разбавление повторяем еще трижды. Рассчитываем концентрации полученных растворов (мг/л и моль/л).

Измерение спектра бензола в конденсированной фазе. Пять миллилитров раствора с наибольшей концентрацией бензола помещают в кювету с длиной оптического пути 1 см и помещают кювету в кюветное отделение спектрофотометра. Для измерения спектра бензола выбираем режим «Spectrum», нажав клавишу «2» (рис. 1.2–1.3), и устанавливаем следующие параметры (после введения параметра обязательно нажимать кнопку «ENTER».

1. Meas. mode – ABS.
2. λ range – 400 – 190 nm.
3. Rec. Range – 0,00 A – 2,00 A.
4. Scan speed – Slow.
5. No. of scans – 1.
6. Display mode – Sequential.

Нажимаем кнопку «START/STOP». По окончании сканирования фотографируем экран и нажимаем кнопку «F2» [PEAK], и записываем в лабораторный журнал пики кривой поглощения (максимальная оптическая плотность (ABS) должна соответствовать $\lambda = 254 \text{ nm}$).

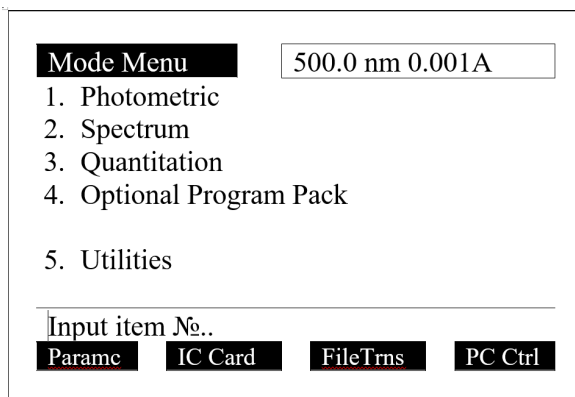


Рис. 1.2. Выбор режима экрана

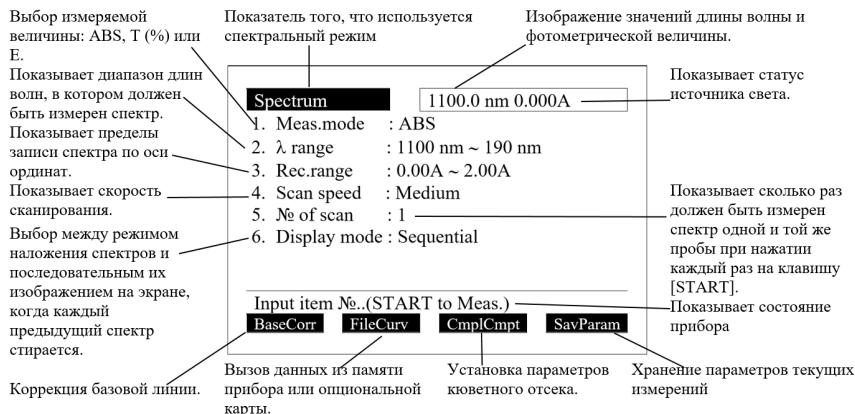


Рис. 1.3. Экран установки параметров спектрального режима измерения

Построение калибровочной кривой. Переходим в режим «Photometric», нажав клавишу «1» (рис. 1.2, 1.4). Устанавливаем длину волны, соответствующую максимуму пика поглощения бензола в воде. Для этого нажимаем кнопку «GOTO WL», вводим значение 254 и подтверждаем введение этого параметра кнопкой «ENTER». Измерение оптической плотности всех градуировочных растворов проводят на этой фиксированной длине волны, начиная с раствора с наименьшей концентрацией. Кювету тщательно промываем при смене растворов. Результаты измерений записывают в табл. 1.1.

Таблица 1.1

Оптическая плотность водных растворов бензола

C , мг/л	D_1	D_2	D_3	$\langle D \rangle$	ΔD
C_1					
C_2					
C_3					
C_4					
C_5					

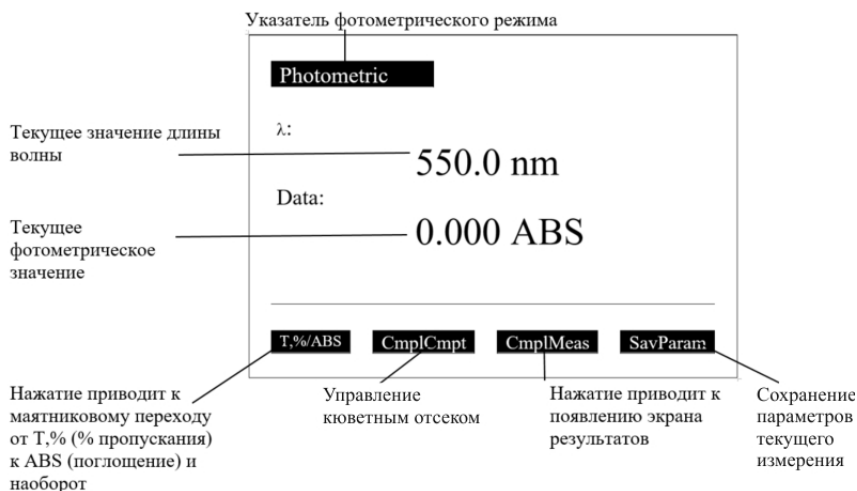


Рис. 1.4. Экран установки параметров фотометрического режима измерения

Каждый студент выполняет статистическую обработку полученных данных и по средним результатам измерений строит градуировочный график в координатах $D(C)$, рассчитывает коэффициент корреляции и уравнение прямой.

По окончании выполнения работы студенты обмениваются полученными данными по калибровке, и каждый строит усредненную калибровочную кривую (по n сериям) и проводит ее статобработку.

Определение концентрации бензола после облучения его водных растворов. Каждый студент измеряет оптическую плотность облученных растворов и, используя рассчитанное уравнение калибровочной кривой, определяет концентрацию бензола ($C_{\text{после}}$, мг/л), рассчитывает степень разложения бензола (P , %), радиационно-химический выход (G , мг/кГр; молек/100эВ). Студенты обмениваются данными, полученными на этом этапе работы, и строят кинетическую кривую $C(t)$ и зависимость $\ln(C_{\text{до}}/C_{\text{после}})(t)$, рассчитывают уравнения полученных зависимостей и определяют порядок реакции разложения бензола.

Лабораторная работа 2.

Изучение действия ионизирующего излучения на рост и развитие растения при предпосевном облучении его семян

Радиационно-биологическая технология предпосевого облучения семян позволяет повысить экономическую эффективность возделывания различных культур за счёт ускорения роста растений, сокращения периода вегетации, увеличения урожая, а в некоторых случаях и улучшения его качества.

Цель настоящей работы состоит в изучении действия гамма-излучения (стимулирующее или подавляющее) на рост и развитие растения при предпосевном облучении его семян.

Для облучения используют семена ячменя обыкновенного (*Hordeum vulgare*).

Перед проведением лабораторной работы семена облучают на установке «Луч» (γ -излучение, ^{60}Co) в дозах (D) 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50 Гр с мощностью дозы 0,035 Гр/с.

Приборы, посуда

климатическая камера SANYO MLR -352;
технические весы AR 520 OHAUS;
линейка 300 мм (Россия), изготовленная из инструментальной легированной стали, метрическая шкала выполнена методом травления, цена деления – 1 мм;
стеклянная палочка;
контейнеры для почвы;
пинцет;
распылитель (100 мл) для равномерного увлажнения почвы;
фильтровальная бумага;
универсальный грунт «Живая земля» для выращивания любых растений.

Порядок выполнения работы

При проведении биотестирования образец почвы «Живая земля» массой 250 г помещают в специальный контейнер для проращивания тест-объектов. Почву увлажняют, следя за тем, чтобы количество добавленной воды было не менее 60% от полной влагоемкости почвы. В подготовленную почву сажают семена ячменя (не менее 40–50 шт). Контейнер с образцом почвы помещают в климатическую камеру с программируемыми параметрами (освещенность – 16 ч – день и 8 ч – ночь, температура днем 21 °С, ночью 16 °С). Период экспозиции должен составлять 14 дней (рис. 2.1). В конце этого периода растения осторожно извлекают из почвы, отмывают проточной водой и измеряют длину корня и ростка.

На каждую дозу облучения семян ставят по три контейнера с почвой. В контрольном образце высаживают необлученные семена. Каждый студент ставит по одному контрольному образцу, таким образом получаются несколько повторностей (должно быть не менее трех).

На протяжении всего эксперимента студенты каждый день должны контролировать увлажненность почвы, помня, что она должна быть не менее 60 % от полной влагоемкости почвы. Величину полной влагоемкости почвы определяет перед лабораторной работой и выдает студентам сотрудник лаборатории.



a



б

Рис. 2.1. Проращивание семян ячменя в климатической камере (*a* – начало эксперимента (2-й день), *б* – окончание эксперимента (14-й день)

На 14-й день эксперимента аккуратно вынуть проростки ячменя из почвы, промыть корни и измерить самый большой корень и проросток каждого выращенного ячменя. Данные внести в табл. 2.1–2.2.

Таблица 2.1

Результаты измерения длины проростков ячменя (*l* проростка, мм)

№	Доза, Гр									Контроль		
	5	10	15	20	25	30	40	45	50	1	2	3
1												
2												
3												
...												
$\langle l \rangle \pm \Delta l$												

Таблица 2.2

Результаты измерения длины корня ячменя (l корня, мм)

№	Доза, Гр									Контроль		
	5	10	15	20	25	30	40	45	50	1	2	3
1												
2												
3												
...												
$\langle l \rangle \pm \Delta l$												

Методика оценки биологического эффекта при предпосевном облучении семян

Оценку уровня биологического эффекта (БЭ) по отношению к контролю проводят по формуле:

$$\text{БЭ} = \frac{\text{ТФ}_{\text{опыт}} - \text{ТФ}_{\text{контроль}}}{\text{ТФ}_{\text{контроль}}} \cdot 100 \%, \quad (2.1)$$

где БЭ – биологический эффект; $\text{ТФ}_{\text{опыт, контроль}}$ – тест-функция биологических показателей: длина корня ($l_{\text{корня}}$, мм), длина проростка ($l_{\text{проростка}}$, мм), всхожесть семян на 14-й день эксперимента, опытных и контрольных образцов соответственно.

Уровень биологического эффекта (БЭ) оценивается по шкале:

- гамма-излучение не оказывает воздействие на семена – БЭ < 10 %;
- гамма-излучение оказывает слабый стимулирующий эффект – БЭ = 10–30 %;
- гамма-излучение оказывает средний стимулирующий эффект – БЭ = 30–50 %;
- гамма-излучение оказывает высокий стимулирующий эффект – БЭ > 50 %.

Если полученный БЭ $< 0 \%$, то это будет свидетельствовать, что данная доза гамма-излучения, с которой были облучены семена, оказывает негативное влияние на дальнейший рост и развитие ячменя.

На рис. 2.2 представлена схема описанного выше эксперимента.



Рис. 2.2. Схема эксперимента

По измеренным данным каждый студент строит следующие диаграммы:

1. l корня (D);
2. l проростка (D);
3. БЭ корня (D);
4. БЭ проростка (D);

Достоверность различия данных проводят с использованием критерия Стьюдента.

Лабораторная работа 3.

Определение поглощенной дозы от электронных пучков ускорителя УЭЛР-10-10-40 на основе полимерных плёнок СО ПД (Ф) Р-5/50 и СО ПД (Э)-1/10

Дозиметрия ионизирующих излучений рассматривает свойства ионизирующих излучений, физические величины, характеризующие поле излучения или взаимодействие излучения с веществом, а также принципы и методы их определения. Обнаружение и измерение ионизирующих излучений возможно в основном с помощью различных детекторных приборов, регистрирующих эффект действия излучений на физические, химические, биологические и другие свойства, на которых основаны методы измерения. В зависимости от регистрируемого эффекта выделяют следующие методы дозиметрии излучения: физические, химические, ионизационный, люминесцентный.

Все вышеуказанные методы имеют достоинства и недостатки. В данной работе будет изучен вопрос контроля поглощённой дозы на основе химического метода с помощью детектора СО ПД (Ф) Р-5/50 и СО ПД(Э)-1/10 на радиационно-технологической установке УЭЛР-10-10-40.

Цель настоящей работы состоит в определении поглощенной дозы в контрольных образцах пленок СО ПД (Ф) Р-5/50 и СО ПД(Э)-1/10, полученной на ускорителе электронов УЭЛР-10-10-40.

Оборудование, приборы

Радиационно-технологическая установка (РТУ) УЭЛР-10-10-40.
СО ПД(Ф)Р-5/50 (Стандартный образец поглощенной дозы фотонного и электронного излучений), облученный в дозах 10; 12; 15; 18; 20 кГр.

СО ПД(Э)-1/10 (Стандартный образец поглощенной дозы фотонного и электронного излучений), облученный в дозах 2,5; 4; 5; 6; 7; 8 кГр.

Спектрофотометр UVmini-1240.

Пинцет пластиковый.

Кювета кварцевая, 10 мм.

РТУ с ускорителем электронов УЭЛР-10-10-40 предназначена для практической радиационной стерилизации. РТУ с ускорителем оснащена конвейером, позволяющим перемещать объекты на ленте конвейера со скоростью от 0,6 до 1,9 м/мин в горизонтальном развернутом пучке ускорителя. В табл. 3.1 представлены основные эксплуатационные параметры ускорителя электронов УЭЛР-10-10-40.

Таблица 3.1

Характеристики РТУ УЭЛР-10-10-40

Параметр	Величина
Максимальная средняя мощность пучка электронов, кВт	10
Диапазон регулирования энергии электронов, МэВ	8–10
Максимальная амплитуда импульса тока пучка, А	0,25
Частота следования импульсов электронного тока, 1/с	25–300
Размер поля облучения продукции, см	40×2
Равномерность поля облучения в развертке, %	±5
Частота сканирования электронного пучка, Гц	1–10
Стабильность тока пучка, %	±2,5
Стабильность энергии электронов, %	±2,5



а



б

Рис. 3.1. Стандартные образцы СО ПД(Ф)Р-5/50 (а) и СО ПД(Э)-1/10 (б)

В табл. 3.2 представлены основные технические характеристики СО ПД (Ф) Р-5/50 и СО ПД(Э)-1/10.

Таблица 3.2

Технические характеристики стандартных образцов,
используемых в работе

№	Техническая характеристика	Значение	
		СО ПД (Ф)Р-5/50	СО ПД(Э)-1/10
1	Диапазон поглощенных доз, кГр	от 5 до 50	от 1 до 10
2	Диапазон мощностей поглощенных доз, Гр/с	от 10^{-2} до 10^5	от 10^{-1} до 10^5
3	Диапазон энергии излучения, МэВ для фотонного излучения для электронного излучения	0,66 и 1,25 от 0,3 до 10	0,66 и 1,25 от 0,3 до 10
4	Границы допускаемых значений относительной погрешности аттестации при $P = 0,95$, %	7	7
5	Относительная погрешность измерения поглощенной дозы с помощью СО при $P = 0,95$, не более, %	12	15
6	Температура при облучении, °С	от 15 до 40	от 15 до 40
7	Регистрация оптической плотности после облучения	от 30 минут до 4 суток	от 30 минут до 4 суток

Порядок выполнения работы

Перед выполнением лабораторной работы для численного определения поглощённой дозы полимерные плёнки однократного использования СО ПД(Ф) Р-5/50 и СО ПД(Э)-1/10 облучают на РТУ УЭЛР-10-10-40 в дозах 10; 12; 15; 18; 20 кГр и в дозах 2,5; 4; 5; 6; 7; 8 кГр соответственно. Облученные пленки должны быть измерены на спектрофотометре UVmini-1240 в течение 4 суток.

Предварительно снимают спектр необлученных стандартных образцов СО ПД(Ф) Р-5/50 и СО ПД(Э)-1/10 для определения длин волн, на которых будут проводиться измерения. Для этого в режиме Spectrum, нажав клавишу «2» (см. рис. 1.2 лабораторная работа 1), проводят измерения оптической плотности в диапазоне длин волн 190-1100 нм, установив следующие параметры:

Meas. mode – ABS

λ range – 1100 – 190 nm

Rec. Range – 0,00 A – 2,00 A

Scan speed – Slow

No. of scans – 1

Display mode – Sequential

Нажимаем кнопку «START/STOP». По окончании сканирования, фотографируем экран и нажимаем кнопку «F2» [PEAK] и записываем в лабораторный журнал пики кривой поглощения.

По результатам измерения кривой поглощения выбираем для каждого типа образца длину волны, на которых будем измерять оптическую плотность облученных пленок в известной дозе в режиме «Photometric» (см. лабораторную работу 1). Измеренные данные заносим в табл. 3.3–3.4.

Таблица 3.3

Результаты измерения оптической плотности ($\lambda = \dots$ нм) пленок СО ПД (Ф)Р-5/50, облученных в дозах 10–20 кГр

D , кГр	ABS_1	ABS_2	ABS_3	$\langle ABS \rangle$	$\langle ABS \rangle \pm \Delta ABS$
10					
12					
15					
18					
20					

Таблица 3.4

Результаты измерения оптической плотности ($\lambda = \dots$ нм)
пленок СО ПД (Э)-1/10, облученных в дозах 2,5–8 кГр

D , кГр	ABS_1	ABS_2	ABS_3	$\langle ABS \rangle$	$\langle ABS \rangle \pm \Delta ABS$
2.5					
4					
5					
6					
7					
8					

По измерениям, представленным в табл. 3.3–3.4, проводится статистическая обработка результатов и строятся зависимости $ABS(D)$ для СО ПД(Ф) Р-5/50 и СО ПД(Э)-1/10. Для каждой зависимости определяем коэффициенты детерминации и корреляции, рассчитываем уравнение полученных калибровочных кривых.

После получения калибровочных кривых для определения поглощенной дозы облучения с помощью полимерных пленок каждый студент получает контрольные образцы пленок, облученных в неизвестной поглощенной дозе, и проводит измерение в режиме «Photometric», после чего определяет поглощенную дозу по своим зависимостям.

Получив истинные значения поглощенной дозы, рассчитывает абсолютную и относительную погрешность измерения по каждой выбранной длине волны и делает вывод по выполненной работе.

Лабораторная работа 4.

Измерение плотности потока β - и α -частиц в почве

Радиоактивность почв обусловлена содержанием в них радионуклидов. Различают естественную и искусственную радиоактивность. Естественная радиоактивность почв вызывается естественными радиоактивными изотопами, которые всегда в тех или иных количествах присутствуют в почвах и почвообразующих породах.

Естественные радионуклиды подразделяют на следующие группы.

1. Группа, включающая радиоактивные элементы, т.е. элементы, все изотопы которых радиоактивны: уран (^{238}U , ^{235}U), торий (^{232}Th), радий (^{226}Ra) и радон (^{222}Rn , ^{220}Rn);

2. Группа, в которую входят изотопы «обычных» элементов, обладающие радиоактивными свойствами: калий (^{40}K), рубидий (^{87}Rb), кальций (^{48}Ca), цирконий (^{96}Zr) и др.;

3. Группа, которую составляют радиоактивные изотопы, образующиеся в атмосфере под действием космических лучей: тритий (^3H), бериллий (^7Be , ^{10}Be) и углерод (^{14}C).

По способу и времени образования радионуклиды подразделяют на:

- первичные – образовавшиеся одновременно с образованием планеты (^{40}K , ^{48}Ca , ^{238}U);

- вторичные продукты распада первичных радионуклидов (всего 45 – ^{232}Th , ^{235}U , ^{220}Rn , ^{222}Rn , ^{226}Ra и др.);

- индуцированные – образовавшиеся под действием космических лучей и вторичных нейтронов (^{14}C , ^3H , ^{24}Na).

Всего насчитывают более 300 природных радионуклидов, которые являются альфа-, бета- и гамма-излучателями. Валовое содержание естественных радиоактивных изотопов в основном зависит от почвообразующих пород. Почвы, сформировавшиеся на продуктах выветривания кислых пород, содержат радиоактивных изотопов больше, чем образовавшиеся на основных и ультраосновных породах; тяжелые почвы содержат их больше, чем легкие. Естественные радиоактивные элементы распределяются по профилю почв обычно относительно равномерно, но в некоторых случаях

они аккумулируются в иллювиальных и глеевых горизонтах. В почвах и породах присутствуют преимущественно в прочно связанной форме.

Цель настоящей работы состоит в измерения плотности потоков α - и β -частиц в почве (почвенных «таблетках»), искусственно загрязненной изотопом калием-40.

В любой почве всегда присутствует калий, его валовое содержание колеблется от 0,5 до 4 % и зависит от гранулометрического состава почв. Природный калий состоит из трёх изотопов. ^{39}K (изотопная распространённость 93,258 %) и ^{41}K (6,730 %) являются стабильными изотопами, ^{40}K (0,0117 %) является бета-активным изотопом с периодом полураспада 1,251 миллиарда лет. Радионуклид калий-40 присутствует в природных биогеоценозах и как примесь вносится с удобрениями, поэтому при внесении их в почву может повыситься суммарный уровень данного радионуклида в почве. Ионизирующие излучения, исходящие от радионуклида, могут создавать дополнительные нагрузки на живые организмы

При выполнении данной работы должны быть выполнены следующие **задачи**.

1. Подготовить почвенные «таблетки» для измерения в них плотности потоков α - и β - излучения в трех повторностях для каждого вида почв, выданного преподавателем.

2. Освоить работу блоков детектирования БДЗА-96F и БДЗБ-96F в составе измерительного универсального комплекса ДКС-96 (рис. 4.1).



Рис. 4.1. Дозиметр-радиометр ДКС-96 (а) и блоки детектирования БДЗА-96F (б) и БДЗБ-96F (в)

3. Провести измерения плотности потоков α - и β -излучения в исследуемых почвах.

4. Измеренные значения внести в табл. 4.1 и провести их стат-обработку.

Таблица 4.1

Результаты измерения плотности потоков α - и β -излучения в почве

Вид излучения	Масса почвенной «таблетки», г/ Влажность, %		
	$m_1 = \text{___ г / ___ \%}$	$m_2 = \text{___ г / ___ \%}$	$m_3 = \text{___ г / ___ \%}$
	Плотность потока, $\text{см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$		
α_1			
α_2			
α_3			
$\langle \alpha \rangle$			
$\langle \alpha \rangle \pm \Delta \alpha$			
$(\beta + \gamma)_1$			
$(\beta + \gamma)_2$			
$(\beta + \gamma)_3$			
γ -фон			
β_1			
β_2			
β_3			
$\langle \beta \rangle$			
$\langle \beta \rangle \pm \Delta \beta$			

5. Рассчитать активность пробы (исходя из предположения, что источник излучения является точечным).

6. Рассчитать мощность воздушной кермы K_a .

7. Определить эффективную и эквивалентную дозы и мощность эффективной дозы от исследуемого источника (исходя из предположения, что геометрия облучения изотропная и передне-задняя).

Оборудование, приборы и посуда

Фарфоровая чашка – 3 шт.

Фарфоровая ложка – 3 шт.

Весы технические.

Цилиндр, 50 мл – 3 шт.

Прибор для подготовки почвенной таблетки «Руслан-2» (пневматическая подготовка).

Линейка, железная – 3шт.

Компрессор DARI.

Дозиметр-радиометр ДКС-96.

Блоки детектирования БДЗА-96F и БДЗБ-96F в составе измерительного универсального комплекса ДКС-96.

Порядок выполнения работы

Приготовление почвенной «таблетки»

1. Взвесить на технических весах в фарфоровой чашке 150 г почвы.
2. Провести увлажнение почвы до 20–25 %.
3. Перенести увлажненную почву в прибор «Руслан-2» (рис. 4.2).



Рис. 4.2. Прибор «Руслан-2»

4. Подключить прибор к компрессору (давление 6 бар) и сделать почвенную таблетку (выполнив 5 пневматических ударов по почве) (рис. 4.3).

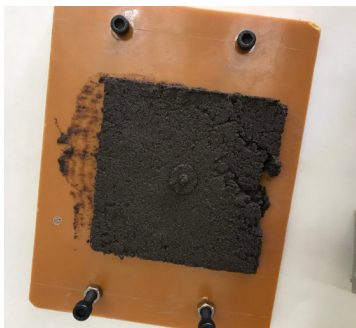
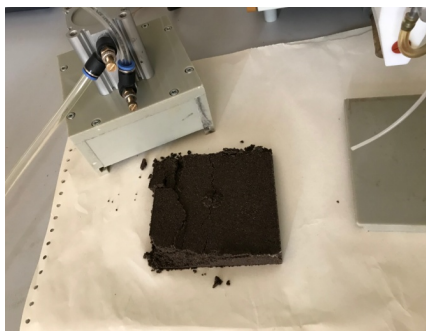


Рис. 4.3. Почвенные «таблетки» влажностью 20 % (150 г почвы), полученные с помощью прибора «Руслан-2»

5. С помощью железной линейки измерить высоту, ширину и длину «таблетки».

Измерение плотности потока α - и β -частиц в почве

В подготовленных почвенных «таблетках» (три повторности) с помощью блоков детектирования БДЗА-96F и БДЗБ-96F в составе измерительного универсального комплекса ДКС-96 измерить плотность потока α - и β -частиц в почве. Перед началом измерений внимательно прочитать инструкцию по эксплуатации данного прибора и детекторов (выдается преподавателем в лаборатории).

1. измерение плотности потоков α -излучения с помощью детектора БДЗА-96F:

- Измерить фоновое значение (*примечание: не открывать защитный колпачок*);
- измерение провести 3 раза;
- открыть защитный колпачок и положить детектор на поверхность «таблетки»;
- провести измерения 3 раза (выполняется в том же режиме измерения, что и при измерении фона).

Примечание: перед каждым разом измерения необходимо удалить предыдущее измеренное значение.

2. Измерение плотности потоков β -излучения с помощью детектора БДЗБ-96Г:

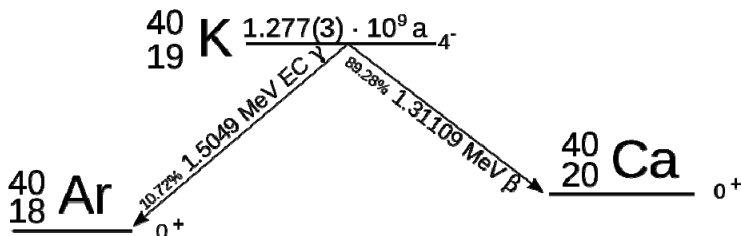
- измерить фоновое значение (*примечание:* не открывать защитный колпачок);
- измерение провести 3 раза;
- открыть защитный колпачок и положить детектор на поверхность «таблетки»;
- провести измерения 3 раза (выполняется в том же режиме измерения, что и при измерении фона).

Примечание: перед каждым разом измерения необходимо удалить предыдущее измеренное значение.

Измеренные значения записать в табл. 4.1, и провести статистическую обработку полученных данных. Уточнить у преподавателя массу добавленного хлорида калия в почву, рассчитать активность почвы, исходя из добавленного в него К-40 и сравнить с активностью, полученной при измерении. Также необходимо выполнить расчеты, указанные в задачах. При расчетах использовать справочный материал, представленный в приложении 4.1.

Справочный материал

1. Калий-40



2. Характеристики поля излучения

1. *Поток* частиц $F(t)$ – отношение числа частиц dN , пересекающих заданную поверхность за интервал времени dt , к величине этого интервала:

$$F = dN/dt. \quad (\text{П.4.1})$$

Размерность – $1/\text{с}$.

2. *Флюенс частиц* Φ – отношение числа частиц dN , проникающих в элементарную сферу, к площади поперечного сечения этой сферы dS :

$$\Phi = dN/dS. \quad (\text{П.4.2})$$

Размерность – $1/\text{м}^2$; $1/\text{см}^2$.

3. *Плотность потока частиц* – отношение изменения флюенса частиц $d\Phi$ за интервал времени dt , к величине этого временного интервала:

$$\varphi = \frac{d\Phi}{dt} = \frac{d^2N}{dS \cdot dt}. \quad (\text{П.4.3})$$

Размерность – $1/(\text{с} \cdot \text{м}^2)$; $1/(\text{с} \cdot \text{см}^2)$.

4. *Плотность потока частиц и активность точечного источника* связаны соотношением:

$$\varphi = A / 4\pi R^2, \quad (\text{П.4})$$

где R – расстояние до источника ионизирующего излучения.

3. Величины для оценки рисков развития эффектов излучения

1. *Мощность воздушной кермы* связана с плотностью потока φ при фиксированной энергии:

$$K_a = \varphi \cdot \delta_E. \quad (\text{П.4.5})$$

2. Коэффициенты δ_E , переводящие плотность потока в мощность кермы, можно назвать керма-коэффициентами, их численные значения представлены в табл. П.4.1.

4. Величины для демонстрации соответствия требованиям обеспечения радиационной безопасности

1. Мощность эффективной дозы

$$E = \varphi \cdot \delta_E. \quad (\text{П.4.6})$$

В табл. П.4.1 даны дозовые коэффициенты δ_E , представляющие собой значения эффективной дозы для различных энергий гамма-фотонов, рассчитанные для единичного флюенса ($\Phi = 1$ част./см²) и различных геометрий облучения.

2. Эффективная доза

$$H_T = \Phi \cdot \delta_E. \quad (\text{П.4.7})$$

Геометрия облучения называется изотропной (ИЗО) в том случае, если человек облучается со всех сторон равномерно, и переднезадней (ПЗ) – в случае, когда облучение производится параллельным пучком и попадает на человека спереди.

В табл. П.4.2 даны дозовые коэффициенты δ_H , представляющие собой эквивалентные дозы для различных энергий бета-частиц, рассчитанные для единичного флюенса Φ на кожу (бета-излучение). Тогда эквивалентная доза в ткани T находится по формуле:

$$H_T = \Phi \cdot \delta_H. \quad (\text{П.4.8})$$

Таблица П.4.1

Значения эффективной дозы δ_E и среднегодовые допустимые плотности потока ДПП_{перс} моноэнергетических фотонов для лиц из персонала при внешнем облучении всего тела

Энергия фотонов ϵ , МэВ	Эффективная доза на единичный флюенс δ_E , 10^{-12} Зв $\cdot$ см 2		Среднегодовая допустимая плотность потока, ДПП _{перс} , см $^{-2} \cdot$ с $^{-1}$		Керма в воздухе на единичный флюенс δ_K , 10^{-12} Гр $\cdot$ см 2
	ИЗО*	ПЗ*	ИЗО	ПЗ	
0,01	0,0201	0,0485	1,63+05	6,77+04	7,43
0,015	0,0384	0,125	8,73+04	2,62+04	3,12
0,02	0,0608	0,205	5,41+04	1,62+04	1,68
0,03	0,103	0,300	3,24+04	1,08+04	0,721
0,04	0,140	0,338	2,31+04	9,65+03	0,429
0,05	0,165	0,357	1,99+04	9,12+03	0,323
0,06	0,186	0,378	1,77+04	8,63+03	0,289
0,08	0,230	0,440	1,42+04	7,44+03	0,307
0,1	0,278	0,517	1,18+04	6,33+03	0,371
0,15	0,419	0,752	7,79+03	4,33+03	0,599
0,2	0,581	1,00	5,61+03	3,28+03	0,856
0,3	0,916	1,51	3,54+03	2,17+03	1,38
0,4	1,26	2,00	2,59+03	1,63+03	1,89
0,5	1,61	2,47	2,02+03	1,32+03	2,38
0,6	1,94	2,91	1,69+03	1,12+03	2,84
0,662	2,14	3,1642	1,56+03	1,04+03	3,10
0,8	2,59	3,73	1,26+03	8,73+02	3,69
1,0	3,21	4,48	1,01+03	7,33+02	4,47
1,25	3,87	5,23	898	659	5,24
2,0	5,84	7,49	563	438	7,55
4,0	9,97	12,0	328	273	12,1

*ИЗО – изотропное поле излучения, ПЗ – облучение параллельным пучком в передне-задней геометрии.

Таблица П.4.2

Значения эквивалентной дозы δ_H и среднегодовые допустимые плотности потока ДПП_{перс} бета-частиц для лиц из персонала при контактном облучении кожи

Средняя энергия бета-спектра $\bar{E}$, МэВ	Эквивалентная доза в кожу на единичный флюенс δ_H , 10^{-10} Зв · см ²	Среднегодовая допустимая плотность потока ДАА _{перс} , см ⁻² · с ⁻¹
0,05	1,0	820
0,07	1,8	450
0,10	2,6	310
0,15	3,4	240
0,2	3,8	215
0,3	4,3	190
0,4	4,5	180
0,5	4,6	180
0,7	4,8	170
1,0	5,0	165
1,5	5,2	160
2,0	5,3	155

Список рекомендованной литературы

1. Пикаев А.К. Современное состояние радиационной технологии // Успехи химии. – 1995. – № 64(6). – С. 609–640.
2. Пикаев А.К. Современная радиационная химия. Основные положения. Экспериментальная техника и методы. – М.: Наука, 1985. – 375 с.
3. Пикаев А.К. Современная радиационная химия. Радиоллиз газов и жидкостей. – М.: Наука, 1986. – 440 с.
4. Буданов В.В. Химическая кинетика: учебное пособие / В.В. Буданов, Т.Н. Ломова, В.В. Рыбкин. – С.-Петербург: Лань, 2014. – 288 с. – Текст электронный // Лань: электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/42196> (дата обращения: 31.03.2021). – Режим доступа: для авториз. пользователей.
5. Лебедев В.Н. Радиационно-стимулированные процессы: Учебное пособие / В.Н. Лебедев, Д.С. Маслобоев, А.А. Фатина. – С.-Петербург: БГТУ «Военмех» им. Д.Ф. Устинова, 2018. – 54 с. – Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/122072> (дата обращения: 31.03.2021). – Режим доступа: для авториз. пользователей.
6. Климанов В. А. Дозиметрия ионизирующих излучений: Учебное пособие / В.А. Климанов, Е.А. Крамер-Агеев, В.В. Смирнов, под ред. В.А. Климанова. – Москва: НИЯУ МИФИ, 2015. – 740 с. – Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/126644> (дата обращения: 31.03.2021). – Режим доступа: для авториз. пользователей.
7. Романцов В.П., Романцова И.В., Ткаченко В.В. Сборник задач по дозиметрии и защите от ионизирующих излучений. Учебное пособие. 2-е издание, дополненное и переработанное. Обнинск: ИАТЭ НИЯУ МИФИ, 2012. 160 с.