

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«МУРМАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

АПАТИТСКИЙ ФИЛИАЛ

Методические указания к выполнению практических работ

По дисциплине: Б1.В.03.ДВ.02.01 Радиологическая безопасность химических технологий
указывается цикл (раздел) ОП, к которому относится дисциплина, название дисциплины

для направления подготовки (специальности) 04.03.01 Химия
код и наименование направления подготовки (специальности)

Неорганическая химия и химия координационных соединений
наименование профиля /специализаций/образовательной программы

Квалификация выпускника, уровень подготовки бакалавр
(указывается квалификация (степень) выпускника в соответствии с ФГОС ВО)

Кафедра - разработчик: ГЕОЭКОЛОГИИ
название кафедры - разработчика рабочей программы

Разработчик(и) Н.А. Мельник, доцент, к.т.н.
(ФИО, должность, ученая степень, (звание))

Пояснительная записка

1. **Методические указания** составлены на основе ФГОС ВО по направлению подготовки 04.03.01 Химия, утвержденного приказом Минобрнауки РФ от 17 июля 2017 года, № 671, учебного плана в составе ОП по направлению подготовки 04.03.01 Химия, профилю «Неорганическая химия и химия координационных соединений».

2. **Цель дисциплины (модуля) «Радиационная безопасность химических технологий»** – сформировать основы системных знаний по обеспечению радиационной безопасности химических технологий, связанных с радиоактивными материалами естественного и техногенного происхождения.

Задачи дисциплины (модуля) «Радиационная безопасность химических технологий» – заложить основные принципы обеспечения радиационной безопасности при работе с источниками ионизирующего излучения и минеральным сырьем с повышенным содержанием природных радионуклидов.

3. **Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю) «Радиационная безопасность химических технологий».**

Процесс изучения дисциплины (модуля) «Радиационная безопасность химических технологий» направлен на формирование элементов следующих компетенций в соответствии с ФГОС ВО по направлению подготовки 04.03.01 «Химия» (уровень бакалавриата):

ПК-1-т Способность выбирать технические средства и методы испытаний для решения технологических задач, поставленных специалистом более высокой квалификации.

ПК-2-т. Способность осуществлять контроль качества сырья, компонентов и выпускаемой продукции химического назначения, проводить паспортизацию товарной продукции.

Результаты формирования компетенций и обучения представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Планируемые результаты обучения

№ п/п	Код компетенции	Компоненты компетенции, степень их реализации	Результаты обучения
1	ПК-1-т Способен выбирать технические средства и методы испытаний для решения технологических задач, поставленных специалистом более высокой квалификации	Компоненты компетенции соотносятся с содержанием дисциплины и компетенция реализуется полностью	Знать: - основные базовые понятия различных разделов радиационной безопасности; - методы безопасного обращения с радиоактивными веществами с учетом их ядерно-физических и радиологических характеристик; - способы защиты от ионизирующих излучений в соответствии с нормами радиационной безопасности. Уметь: - анализировать и систематизировать общепрофессиональные знания; - применять общепрофессиональные знания по нормированию на практике; - правильно применять методы и способы защиты от ионизирующего излучения.

		<p>Владеть:</p> <ul style="list-style-type: none"> - умением реализовать знания по технике безопасности с учетом нормируемых значений в лабораторных и технологических условиях; - навыками использования методов радиационной защиты при решении производственных задач; - методами безопасного обращения с радиоактивными веществами и обеспечения радиационной безопасности персонала и населения. <p>Индикаторы сформированности компетенций в реализуемой части:</p> <p>ПК-1-т-1. Планирует отдельные стадии исследования при наличии общего плана НИОКР в части изучения поведения радионуклидов в технологическом процессе и обеспечения безопасного обращения с радиоактивными веществами, способов защиты от ионизирующих излучений в соответствии с нормами радиационной безопасности.</p> <p>ПК-1-т-2 Готовит элементы документации, проекты планов и программ отдельных этапов НИОКР в части применения методов и способов защиты от ионизирующего излучения.</p> <p>ПК-1-т-3. Выбирает технические средства и методы испытаний (из набора имеющихся) для решения поставленных задач НИОКР в части безопасного обращения с радиоактивными веществами и обеспечения радиационной безопасности персонала и населения.</p>
2	<p>ПК-2-т. Способен осуществлять контроль качества сырья, компонентов и выпускаемой продукции химического назначения, проводить паспортизацию товарной продукции</p>	<p>Знать:</p> <ul style="list-style-type: none"> - методы радиационного контроля. <p>Уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> - определять ядерно-физические и радиационные характеристики радионуклидов. <p>Владеть:</p> <ul style="list-style-type: none"> - методами радиационно-гигиенической оценки природного и техногенного сырья, и продуктов, полученных из них. <p>Индикаторы сформированности компетенций в реализуемой части:</p> <p>ПК-2-т-1. Выполняет стандартные операции на высокотехнологическом оборудовании для характеристики сырья, промежуточной и</p>

			<p>конечной продукции химического производства в части исследования и переработки природного и техногенного сырья, содержащего природные радионуклиды.</p> <p>ПК-2-т-2. Составляет протоколы испытаний, паспорта химической продукции, отчеты о выполненной работе по заданной форме в части радиационной оценки технологических процессов, промежуточных и конечных продуктов.</p>
--	--	--	--

Таблица 2 -Перечень практических работ

№ п/п	Наименование практических работ	Количество часов	Наименование темы по табл. 4 РП
1	Физические основы радиоактивности: Определение типа радиоактивного распада природных и искусственных радионуклидов, составление схем α - и β -распада.	2	2, 3, 4, 5
2	Определение ядерно-физических и радиологических характеристик природных и техногенных радионуклидов (работа со справочной литературой).	3	2-4
3	Методы и принципы регистрации ионизирующих излучений (ИИ). Физические принципы регистрации ИИ. Типы счетчиков и принцип их действия.	4	2, 3
4	Радиационная оценка минерального и техногенного сырья, технологических продуктов (практика применения норм радиационной безопасности).	4	5, 6
<i>Итого часов</i>		13	

РЕКОМЕНДАЦИИ К ВЫПОЛНЕНИЮ ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ

Для правильного выполнения практических заданий в каждом разделе приводится необходимый теоретический материал, примеры выполнения и оформления задания.

Введение: «Правила поведения и работы на радиационном объекте. Радиационная гигиена и санитария. Методы и средства индивидуальной защиты и дезактивации. Инструктаж».

Изучение правил поведения и радиационно-безопасной работы на радиационном объекте. Радиационная гигиена и санитария. Инструктаж по электробезопасности, пожаробезопасности, радиационной безопасности. Допуск к работе.

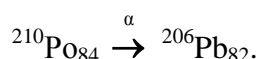
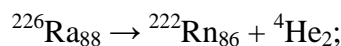
Изучение методов и средств индивидуальной защиты и дезактивации.

Практическое задание № 1.

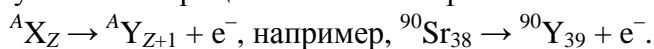
Тема: «Физические основы радиоактивности: Определение типа радиоактивного распада природных и искусственных радионуклидов, составление схем α - и β -распада».

При изучении явления радиоактивности были открыты различные виды ионизирующих излучений, которые характерны определенным типам распадов радиоактивных веществ, связанных с превращением атомных ядер. Основными типами распадов природных и искусственных радионуклидов являются α - и β -распад, сопровождающиеся в большинстве случаев γ -излучением.

1. **Альфа-распад.** Данное явление заключается в том, что ядро испускает α -частицу – ядро атома гелия (${}^4\text{He}_2$), при этом массовое число (A) оставшегося ядра уменьшается на четыре единицы, а порядковый номер (Z) – на две. Обозначив исходное и конечное ядра символами X и Y , схему распада можно представить как ${}^A\text{X}_Z \rightarrow {}^{A-4}\text{Y}_{Z-2} + {}^4\text{He}_2$. Из схемы α -распада видно, что радиоактивное атомное ядро ${}^A\text{X}_Z$ распадается, испуская ядро атома гелия (α -частицу), с образованием ядра нового элемента, имеющего заряд на две, а массу на четыре единицы меньше исходного. Согласно **правилу сдвига (Фаянс и Содди, 1913), элемент, образовавшийся в результате α -распада, занимает в Периодической системе Д. И. Менделеева место, лежащее на две клетки левее исходного элемента**, например:



2. **Бета-распад.** β^- -распад связан с превращением в ядре одного нейтрона в один протон ($n \rightarrow p + e^-$) с испусканием отрицательного электрона:



β^+ -распад наблюдается в том случае, если в ядре происходит превращение одного протона в нейтрон ($p \rightarrow n + e^+$) с испусканием позитрона (положительного электрона):



Превращение в ядре протона в нейтрон может происходить также при поглощении электрона (одного из орбитальных электронов атома). Такой вид превращения называется электронным захватом ($p + e^- \rightarrow n$):



При β^- - и β^+ -распаде, а также при электронном захвате массовое число (A) не меняется, увеличивается порядковый номер на одну единицу в первом случае, в последних двух случаях – уменьшается на одну единицу, т. е. в обоих случаях образуется ядро нового элемента. Этот элемент является изобаром радиоактивного элемента, так как масса ядер при β -распаде практически не меняется, а заряд ядра либо увеличивается (β^- -распад), либо уменьшается на одну единицу (β^+ -распад). В соответствии с этим **правило сдвига гласит**,

что при β -распаде новый элемент занимает в таблице Д. И. Менделеева место, лежащее либо на одну клетку правее, либо на одну клетку левее исходного элемента.

Практическое задание 1. Определение типа радиоактивного распада природных и искусственных радионуклидов

Задание. Определить тип распада, используя правила сдвига Фаянса – Содди; написать краткую и полную схемы распада (индивидуальные задания).

Цель работы – научиться определять типы радиоактивных распадов, используя теоретические знания и справочные материалы.

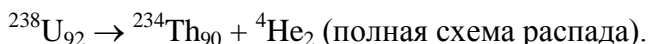
Примеры выполнения задания и записи ответа

1. Определить тип распада радионуклидов

Определить тип радиоактивного распада нуклидов ^{40}K , ^{238}U .

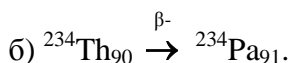
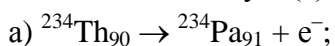
Ответ 1. При радиоактивном распаде ^{40}K образуется ^{40}Ca , при этом атомная масса не меняется, а заряд увеличивается на единицу, в соответствии с правилом сдвига Фаянса – Содди это бета-распад (β^-): $^{40}\text{K}_{19} \rightarrow ^{40}\text{Ca}_{20}$.

Ответ 2. При радиоактивном распаде $^{238}\text{U}_{92} \rightarrow ^{234}\text{Th}_{90}$ атомная масса уменьшается на 4 единицы, а заряд – на 2, согласно правилу сдвига Фаянса – Содди, это – альфа-распад (α):

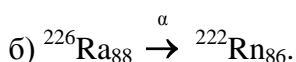
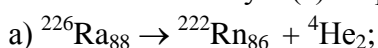


2. Написать полную и краткую схемы распада радионуклидов, используя справочные материалы.

1. Написать полную (а) и краткую (б) схемы бета-распада $^{234}\text{Th}_{90}$:



2. Написать полную (а) и краткую (б) схемы α -распада $^{226}\text{Ra}_{88}$:



На практическом занятии на этих примерах отрабатывается принцип применения правила Фаянса-Содди в соответствии с индивидуальным заданием.

Практическое задание № 2.

Тема: «Определение ядерно-физических и радиационно-гигиенических характеристик природных и техногенных радионуклидов (работа со справочной литературой).

Практическое задание 2. Определить ядерно-физические характеристики радионуклидов

При работе с радиоактивными веществами и источниками ионизирующих излучений необходимо знать характеристики и свойства используемых радионуклидов, чтобы обеспечить радиационную безопасность персонала, радиационного объекта, населения и

окружающей среды, а также для правильной организации исследований с использованием источников ионизирующих излучений, в том числе, природных, и выбора метода измерения активности.

В настоящее время информация о ядерно-физических характеристиках радионуклидов, изученных и определенных различными учеными мира в течение всего периода развития науки о радиоактивности, опубликованы в различных справочниках.

Основными ядерно-физическими характеристиками радионуклидов, от которых будет зависеть планирование работы с источниками ионизирующих излучений (организация рабочего места, методы защиты от воздействия ионизирующих излучений, выбор инструмента (прибора) для регистрации излучений и др.), являются следующие характеристики:

1. Вид излучения (α -, β -, γ -, нейтронное).

2. Коэффициент качества излучения (КК) – учитывает биологическое действие излучения, в соответствии с нормативными документами (НРБ–99/2009) коэффициенты качества равны: для γ -, β - и рентгеновского излучения – 1; протонов, тепловых нейтронов, медленных и быстрых нейтронов – 3–10; α -частиц, многозарядных ионов и ядер отдачи – 20.

3. Энергия излучения радионуклида – E_α , E_β , E_γ (единицы измерения – эВ, кэВ, МэВ).

4. Период полураспада $T_{1/2}$ (единицы измерения – мкс, с, мин, час, сутки, год, млрд лет) радионуклида – величина строго постоянная для каждого радионуклида и практически не зависит от внешних условий (температура, давление), а также магнитных и электрических полей, химического состояния вещества и т. д.

Численные значения $T_{1/2}$ приведены в справочной литературе и НРБ–99/2009; периоды полураспада для различных радионуклидов могут иметь самые различные значения, причем у одного и того же химического элемента могут быть радионуклиды с различными периодами полураспада.

5. Активность радионуклида A ($A = dN_0/dt$) – это отношение dN_0 спонтанных ядерных переходов из определенного ядерно-энергетического состояния радионуклида, происходящих в данном его количестве – количество распадов в единицу времени dt (Бк/кг, Бк/л, Бк/м³). Через десять периодов полураспада активность снизится в тысячу раз.

6. Слой половинного ослабления (г/см^2) зависит от вида и энергии излучения радионуклида, плотности вещества, с которым взаимодействует излучение.

7. Максимальный пробег частиц – толщина слоя поглотителя (г/см^2), требующаяся для полного поглощения частиц, зависит от вида и энергии излучения радионуклида и от плотности вещества, с которым взаимодействует излучение.

8. Гамма-постоянная радионуклида – K_γ , ($\text{Р}\cdot\text{см}^2/(\text{ч}\cdot\text{мКи})$) – мощность физической дозы (Р/ч), создаваемая точечным источником активностью 1 мКири (мКи) на расстоянии 1 см от него; применяется для расчета защиты от ионизирующего излучения (в 1999 г. в связи с переходом на новые единицы измерений в системе СИ заменена на величину керма-постоянная радионуклида ($\text{Гр}\cdot\text{м}^2/\text{с}\cdot\text{Бк}$)).

Ядерно-физические характеристики распространенных в практике исследований радионуклидов приведены в приложениях 2, 3.

Практическое задание 3. Определить радиационно-гигиенические характеристики радионуклидов

Радиационно-гигиенические характеристики радионуклидов – это радиационные параметры и характеристики, определяющие радиационную обстановку и ее развитие, совокупность которых требует осуществления мероприятий по защите персонала и населения в соответствии с дозовыми критериями для принятия решения об их проведении. Числовые значения радиационно-гигиенических характеристик (пп 1-3) приведены в нормативных документах НРБ-99/2009 [21], ОСПОРБ-99/2010 [22], СП 2.6.1.2800–10 [2] и др. Характеристики радионуклидов, имеющие наибольшее практическое значение приведены в приложениях 4, 5.

Для радиационно безопасной работы с источниками ионизирующих излучений перед началом любой работы необходимо изучать характеристики используемых радионуклидов, основные из них:

1. Минимально значимая удельная активность (МЗУА, Бк/г) – удельная активность открытого источника ионизирующего излучения в помещении или на рабочем месте, при превышении которой требуется разрешение органов Госсанэпиднадзора на использование этого источника, если при этом также превышено значение минимально значимой активности.

2. Минимально значимая активность (МЗА, Бк) – активность открытого источника ионизирующего излучения в помещении или на рабочем месте, при превышении которой требуется разрешение органов Госсанэпиднадзора на использование этих источников, если при этом также превышено значение минимально значимой удельной активности.

3. Уровень вмешательства (УВ, Бк/кг) – уровни вмешательства по содержанию радионуклидов в питьевой воде. Нормируемые значения УВ для водных объектов (для населения - $УВ_{\text{нас./вода}}$) приведены в НРБ-99/2009 [21, П2А].

4. Удельная радиоактивность, Бк/кг - отношение активности A радионуклида в веществе к массе m вещества, $A_m = A/m$.

5. Объемная радиоактивность, Бк/л (Бк/м³) - отношение активности A радионуклида в веществе к объему V вещества, $A_v = A/V$.

6. Эффективная удельная активность, $A_{\text{эфф}}$, Бк/кг – суммарная активность естественных радионуклидов (ЕРН), которая вычисляется как сумма удельной активности ЕРН в материале, определяемая с учетом биологического воздействия их излучений на организм человека:

$$A_{\text{эфф}} = A_{\text{Ra226}} + 1.3 A_{\text{Th232}} + 0.09 A_{\text{K40}}, \quad (1)$$

где A_{Ra226} и A_{Th232} – удельная активность радия-226 и тория-232 соответственно, находящихся в состоянии радиоактивного равновесия с остальными членами уранового и ториевого рядов, Бк/кг; A_{K40} – удельная активность калия-40, Бк/кг.

Радиационно-гигиенические характеристики по пп.4-6 определяются экспериментальным путем и используются для радиационной оценки технологических продуктов, объектов окружающей среды, атмосферы, радиоактивных отходов и других объектов.

ПРИМЕРЫ ВЫПОЛНЕНИЯ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАДАНИЙ

Определить по справочным материалам [3–7, 9–11, 13, 20, 21, 25, 26] ядерно-физические (приложения 2, 3) и радиационно-гигиенические характеристики (приложения. 3, 4) радионуклидов, имеющих наибольшее практическое значение, и типы их распадов.

Цель работы – научиться определять ядерно-физические и радиационно-гигиенические характеристики радионуклидов, используя теоретические знания и справочные материалы.

Примеры выполнения заданий для разных типов распада и излучений приведены в виде алгоритмов, которые отрабатываются на практических занятиях.

Алгоритм выполнения задания и записи ответа

Задание 1. Определить ядерно-физические и радиационно-гигиенические характеристики ^{45}Ca .

Ответ. ^{45}Ca – искусственный радионуклид, может быть получен при облучении в ядерном реакторе стабильного нуклида кальция, реакция получения ^{45}Ca : $^{44}\text{Ca} (n\gamma) ^{45}\text{Ca}$.

1) **Ядерно-физические характеристики $^{45}\text{Ca}_{20}$** [9, 10, 11, 20, 25, 26]:

- искусственный радионуклид, атомная масса – 45, атомный номер – 20;
- β -излучение, КК = 1 [21];
- $T_{1/2} = 164$ сут. [3, 5, 21, 25, 26];
- $E_{\beta} = 0.254$ МэВ (100 %) [3, 5–7, 9–11, 13, 20, 21, 25, 26];
- слой половинного ослабления – 0.0055 г/см² [4, 6];
- максимальный пробег частиц – 0.06 г/см² [4, 6].

2) **Радиационно-гигиенические характеристики $^{45}\text{Ca}_{20}$**

- Минимально значимая удельная активность (МЗУА) – $1\text{E}+04$ Бк/г [21, П4*].
- Минимально значимая активность (МЗА) – $1\text{E}+07$ Бк [21, П4].
- Уровень вмешательства (УВ) – 190 Бк/кг [21, П2а].

Задание 2. Определить ядерно-физические и радиационно-гигиенические характеристики радионуклида ^{60}Co

Ответ. Реакция получения: $^{59}\text{Co} (n, \gamma) ^{60}\text{Co}$ [3–6, 21, 25, 26].

1) **Ядерно-физические характеристики $^{60}\text{Co}_{27}$:**

- искусственный радионуклид, атомная масса – 60, атомный номер – 27;
- β -излучение, КК = 1 [21];
- $E_{\beta} = 0.306$ (100 %), 1.48 (0.15 %) [3, 5–7, 9–11, 13, 20, 21, 25, 26];
- β -распад сопровождается γ -излучением, $E_{\gamma} = 1.17$ (100 %), 1.33 (100 %) [3, 5–7, 9–11, 13, 20, 21, 25, 26];
- $T_{1/2} = 5.27$ года [3, 5, 21, 25, 26];
- слой половинного ослабления – 0.095 г/см² [4, 6];
- максимальный пробег частиц – 0.66 г/см² [4, 6];
- γ -постоянная – 13.20 Р·см²/(ч·мКи) [4, 6].

2) **Радиационно-гигиенические характеристики $^{60}\text{Co}_{27}$**

- Минимально значимая удельная активность (МЗУА) – 10 Бк/г [21, П4].
- Минимально значимая активность (МЗА) – $1E+05$ Бк [21, П4].
- Уровень вмешательства (УВ) – 40 Бк/кг [21, П2а].

Задание 3. Определить ядерно-физические характеристики ^{226}Ra .

Ответ. Реакция получения: ^{226}Ra – продукт распада радиоактивного ряда ^{238}U .

1) Ядерно-физические характеристики $^{226}\text{Ra}_{88}$ [5–7, 13, 20, 21, 25, 26]:

- природный радионуклид, атомная масса – 226, атомный номер – 88;
- α -излучение, КК = 20;
- E_{α} (кэВ) = 4591, 4779 [3, 9–11, 13, 20, 21, 25, 26];
- α -распад сопровождается γ -излучением, E_{γ} = 186 кэВ [3, 5, 9–11, 13, 20, 21, 25, 26];
- $T_{1/2}$ = 1600 лет [3, 9–11, 13, 20, 21, 25, 26];
- γ -постоянная – $9.36 \text{ Р} \cdot \text{см}^2 / (\text{ч} \cdot \text{мКи})$ [4, 6].

2) Радиационно-гигиенические характеристики $^{226}\text{Ra}_{88}$

- Минимально значимая удельная активность (МЗУА) – 10 Бк/г [21, П4].
- Минимально значимая активность (МЗА) – 10000 Бк [21, П4].
- Уровень вмешательства (УВ_{вода}) – 0.49 Бк/кг [21, П2а].

На практическом занятии необходимо определить по справочным материалам ядерно-физические и радиационно-гигиенические характеристики радионуклидов, например: ^{40}K , ^{90}Sr , ^{131}I , ^{137}Cs , ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{238}Pu , ^{238}U и др. (индивидуальные задания).

Практическое задание № 3.

Тема: «Основные Методики измерений ионизирующих излучений. Ки. Формы представления результатов. Оформление и сдача протокола измерений».

Изучение основных Методик измерений радиационных показателей и радиационной оценки объектов, которые изложены в следующих документах:

1. ГОСТ 30108-94. Материалы и изделия строительные. Определение удельной эффективной активности естественных радионуклидов. – М.: Изд-во стандартов. 1995. 14 с.
2. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009). СанПиН 2.6.1.2523-09 - М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора. 2009. - 100 с.
3. Методика определения радиационно-гигиенических характеристик строительных материалов и минерального сырья (М ЛРК ИХ 2.6.1.-02-2006-08. утв. 27.09.2006 г.). / Мельник Н.А. // Свидетельство об аттестации МВИ № 40090.8A094-1 от 14.01.2008 г. Апатиты: ИХТРЭМС КНЦ РАН. 2008. - 17 с.
4. Методика измерения гамма-фона в городах и населенных пунктах, на территориях застройки (пешеходным методом (М ЛРК ИХ 2.6.1.-04-2006-08), утверждена директором

института 10.01.08г. / Мельник Н.А. // Свидетельство об аттестации МВИ № 40090.8A090 от 14.01.2008 г. Апатиты: ИХТРЭМС КНЦ РАН. 2008. - 13 с.

Изучение характеристик контрольных источников (КИ), используемых в работе, форм представления результатов, оформления и сдача протокола измерений.

Практическое задание № 4.

Тема: «Радиационная оценка минерального и техногенного сырья, технологических продуктов (практика применения норм радиационной безопасности).

Для радиоэкологической или радиационно-гигиенической оценки материалов, объектов, состояния окружающей среды необходимо уметь правильно оценить содержание нормируемых радионуклидов. Для этого необходимо определить по справочной литературе ядерно-физические характеристики этих радионуклидов, радиологическими методами измерить их удельные активности и оценить вклад их в суммарную или эффективную удельную активность.

В заключении необходимо дать радиационную оценку и рекомендации по использованию исследуемого материала в соответствии с нормативными документами [1, 2, 21, 22].

Практическое задание 4. Радиационная оценка исследуемых объектов.

Радиационная безопасность химических технологий, гидрометаллургической переработки минерального радиоактивного сырья обеспечивается определением содержания радионуклидов в объектах окружающей среды, в том числе концентраций природных и техногенных радионуклидов в технологических продуктах и отходах, радиационной оценки продуктов производства, с целью изучения обстановки в учреждении или на производстве. В связи с этим необходимо знать принципы обеспечения радиационной безопасности и иметь навыки радиационной оценки различных технологических продуктов и объектов окружающей среды.

Задание. Выполнить расчет эффективной удельной активности и дать радиационную оценку исследуемого материала; изучить метод и принцип радиационной оценки в соответствии с нормативными документами (задания индивидуальные, интерактивная форма занятия).

Цель работы – научиться применять нормативные документы для обеспечения радиационной безопасности различных объектов.

Пример выполнения задания

В качестве примера приведена *радиационная оценка минерального, техногенного сырья, строительных материалов и изделий.*

Согласно НРБ–99/2009 (п. 5.3.4), радиационная оценка выполняется по значению эффективной удельной активности $A_{эфф}$ естественных радионуклидов (ЕРН), которая вычисляется как сумма удельной активности ЕРН в материале, определяемая с учетом биологического воздействия их излучений на организм человека:

$$A_{эфф} = A_{Ra226} + 1.3 A_{Th232} + 0.09 A_{K40}, \quad (1)$$

где A_{Ra226} и A_{Th232} – удельная активность радия-226 и тория-232 соответственно, находящихся в состоянии радиоактивного равновесия с остальными членами уранового и ториевого рядов, Бк/кг;

A_{K40} – удельная активность калия-40, Бк/кг.

Пример записи

Удельные активности природных радионуклидов, содержащихся в горной породе, определены γ -спектрометрическим методом, они равны:

$$A_{\text{Ra226}} = 45 \pm 10 \text{ Бк/кг},$$

$$A_{\text{Th232}} = 150 \pm 22 \text{ Бк/кг},$$

$$A_{\text{K-40}} = 1250 \pm 138 \text{ Бк/кг}.$$

Порядок действий

1. Рассчитать $A_{\text{эфф}}$ по формуле (1):

$$A_{\text{эфф}} = 45 + 1.3 \cdot 150 + 0.09 \cdot 1250 = 45 + 195 + 112.5 = 352.5 \text{ Бк/кг}.$$

2. Определить вклад активности каждого радионуклида (с учетом коэффициентов) в $A_{\text{эфф}}$:

$$A_{\text{Ra226}} - 12.8 \% \text{ отн.}, A_{\text{Th232}} - 55.3 \% \text{ отн.}, A_{\text{K40}} - 31.9 \% \text{ отн.}$$

3. Определить неопределенность измерений (погрешность определения для доверительной вероятности 0.95) удельной активности нормируемых радионуклидов A , % отн. Соответственно равны:

$$A_{\text{Ra226}} - 22.2; A_{\text{Th232}} - 14.6 \text{ и } A_{\text{K40}} - 11.0$$

4. Определить неопределенность измерений $A_{\text{эфф}}$, в % отн. и абс. ед.: так как наибольший вклад в $A_{\text{эфф}}$ вносят ^{232}Th (55.3 %) и ^{40}K (31.9 %), то для определения неопределенности измерений $A_{\text{эфф}}$ следует учитывать только неопределенность измерений этих нуклидов. В данном случае она будет равна среднему их значению – 12.8 % или 45.1 Бк/кг.

5. Дать радиационную оценку материала в соответствии с НРБ–99/2009 (п. 5.3.4):

$$A_{\text{эфф}} = 352 \pm 45 \text{ Бк/кг}.$$

Основной вклад в $A_{\text{эфф}}$ вносят торий-232 и калий-40; следовательно, они определяют величину неопределенности измерений $A_{\text{эфф}}$ и характер радиоактивности горной породы – торий-калиевый.

Заключение. С учетом неопределенности измерений $A_{\text{эфф}} = 397 > 370$ Бк/кг, в соответствии с НРБ–99/2009 (п. 5.3.4) исследуемая горная порода относится ко II классу материалов по радиоактивности (см. приложение б). Горные породы нельзя использовать для строительства жилых и общественных зданий, но они могут быть использованы при возведении производственных сооружений или в дорожном строительстве в пределах территории населенных пунктов и зон перспективной застройки [2, 19, 21, 24].

В данном заключении $A_{\text{эфф}}$ незначительно превышает нормируемое значение для I класса (≤ 370 Бк/кг), поэтому оно может быть пересмотрено при уменьшении неопределенности измерения. Снижение неопределенности измерения достигается увеличением времени измерения счетного образца, повышением его массы, если она была менее 1000 г для твердых продуктов, или повышением степени концентрирования исследуемой пробы [15–19, 21–24] и т.п.

На основании полученных результатов оформляется Протокол испытаний по радиоактивности, в котором указываются характеристика объекта исследования, сведения о методах и аппаратуре радиационного контроля, условиях измерений, методах пробоподготовки, если они были использованы при подготовке счетного образца.

Аналогично рассматриваются радиационные показатели различных продуктов и их радиационная оценка на основе гигиенических и нормативных требований – пищевых, сельскохозяйственных, лекарственных, минеральных удобрений, питьевых источников и др. В каждом случае надо определить радиотоксичные нуклиды, установить требования к ним согласно гигиеническим нормативам [1, 2, 12–19, 21–24] и дать заключение в соответствии с критериями для принятия решения об использовании исследуемого материала.

Рекомендуемая литература

Основная:

1. Мельник, Н. А. Радиационная безопасность химических технологий: метод. указания к практической работе. / Н. А. Мельник– Мурманск: Изд-во МГТУ, 2016.
2. Мельник Н. А., Радиационная безопасность химических технологий: метод. указания к самостоятельной работе / Н. А. Мельник– Мурманск: Изд-во МГТУ, 2016.
3. Мельник, Н. А. Практикум по дозиметрии и радиометрии / Н. А. Мельник. – Мурманск : Изд-во МГТУ, 2014. – 212 с.

Дополнительная:

1. Архангельский, В. И. Радиационная гигиена : практикум / В. И. Архангельский, В. Ф. Кириллов, И. П. Коренков. – М. : ГЭОТАР-Медиа, 2009. – 352 с.
2. Маврищев В. В., Радиозэкология и радиационная безопасность. / В. В Маврищев, А. Э. Высоцкий – Минск: ТетраСистемс, 2010.
3. Маргулис У. Я., Радиационная безопасность. Принципы и средства ее обеспечения. / Маргулис У. Я., Ю. И. Брегадзе, К. Н. Нурлыбаев – М.: Доза, 2010.