Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования
Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова
факультет Почвоведения

УТВЕРЖДАЮ

и.о. декана П.В.Красильников /_____ /

«___» _____20__ г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Наименование дисциплины:

ГЕОХИМИЯ ПРИРОДНЫХ РАДИОНУКЛИДОВ

Уровень высшего образования:

Бакалавриат

Направление подготовки (специальность):

05.03.06 Экология и природопользование

Направленность (профиль) ОПОП:

РАДИОЭКОЛОГИЯ

Форма обучения: очная

Рабочая программа рассмотрена и одобрена учебно-методической комиссией факультета почвоведения (протокол №_____, дата _____)

Москва 2021

Рабочая программа дисциплины разработана в соответствии с самостоятельно установленным МГУ образовательным стандартом (ОС МГУ) для реализуемых основных профессиональных образовательных программ высшего образования по направлению подготовки 05.03.06 Экология и природопользование программы бакалавриата ОС МГУ утвержден решением Ученого совета МГУ имени М.В. Ломоносова от 30 декабря 2020 года № 1368.

1. **Место дисциплины в структуре ОПОП:** относится к вариативной части ОПОП, является обязательной для освоения

2. **Входные требования для освоения дисциплины, предварительные условия** (*перечень освоенных дисциплин)*:
Правоведение
Химия
Физика
Биология
Общее землеведение
Геоморфология
Климатология с основами метеорологии,
Гидрология,
Почвоведение
Ландшафтоведение
Геология

3. Планируемые результаты обучения в результате освоения дисциплины, соотнесенные с требуемыми компетенциями выпускников:

Компетенции выпускников (коды)	**Индикаторы (показатели) достижения компетенций**	**Планируемые результаты обучения по дисциплине, сопряженные с компетенциями**
Б-СПК-3. Владеет знаниями о составе, распространенности и формах нахождения в геосферах естественных радионуклидов; понимает закономерности механической, физико-химической и биологической миграции природных радионуклидов в окружающей среде.	**Б-СПК-3.1.** Применяет на практике систему знаний о геохимии природных радионуклидов при планировании и проведении радиоэкологических исследований, включая радиационный мониторинг.	**Знает:** перечень, характерные величины кларков, формы нахождения и миграционные характеристики основных природных радионуклидов в геосферах Земли; принципы использования естественных радионуклидов в качестве трассеров глобальных природных процессов. **Умеет:** использовать методологию геохимических исследований для оценки поведения природных радионуклидов в окружающей среде и анализе проблем, связанных с накоплением естественных радионуклидов в атмосферном воздухе, природных водах, почвах, объектах растительного и животного мира.

4. **Объем дисциплины:** 2 з.е.**,** в том числе 24 академических часа на контактную работу обучающихся с преподавателем, 48 академических часов на самостоятельную работу обучающихся.

5. **Формат обучения:** очный.

6. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины / форма текущей аттестации	**Всего (часы)**	**В том числе**					
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем)			**Самостоятельная работа обучающегося**		
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	**Всего**	Тестирова- ние, ответы на вопросы	Подготовка докладов, рефератов	**Всего**
Раздел 1. Предмет и задачи геохимии радионуклидов. Краткая история и основные этапы развития геохимии радиоактивных элементов.	6	2	0	2	2	2	4
Тема 1. Предмет и задачи геохимии радионуклидов.	3	1	0	1	1	1	2
Тема 2. Краткая история и основные этапы развития геохимии радиоактивных элементов.	3	1	0	1	1	1	2
Форма текущей аттестации по разделу.	Задания для самостоятельной работы: подготовка ответов на вопросы для поведения текущей аттестации, тестирование, подготовка докладов и рефератов по теме						
Раздел 2. Распространенность естественных радионуклидов в геосферах Земли.	13	2	2	4	3	6	9
Тема 3. Кларки естественных радионуклидов в геосферах Земли.	5	1	1	2	1	2	3
Тема 4. Место природных радионуклидов в геохимических классификациях элементов.	4	0	1	1	1	2	3
Тема 5. Происхождение и нормы содержания радионуклидов в природных системах.	4	1	0	1	1	2	3
Форма текущей аттестации по разделу.	Задания для самостоятельной работы: подготовка ответов на вопросы для поведения текущей аттестации, тестирование,						

	подготовка докладов и рефератов по теме						
Раздел 3. Формы нахождения радионуклидов в природных средах.	13	2	3	5	4	4	8
Тема 6. Основные формы нахождения химических элементов в геосферах. Радионуклиды в составе минеральной и рассеянной форм.	6	1	1	2	2	2	4
Тема 7. Эндогенные и экзогенные процессы минералообразования с участием основных естественных радионуклидов.	7	1	2	3	2	2	4
Форма текущей аттестации по разделу.	Задания для самостоятельной работы: подготовка ответов на вопросы для поведения текущей аттестации, тестирование, подготовка докладов и рефератов по теме						
Раздел 4. Миграция естественных радионуклидов в природных системах.	38	4	9	13	11	14	25
Тема 8. Общие понятия о геохимической миграции и закономерности миграции природных радионуклидов. Геохимические барьеры, специфичные для урана и тория в зоне гипергенеза.	4	0	1	1	1	2	3
Тема 9. Механическая миграция природных радионуклидов.	6	1	1	2	2	2	4
Тема 10. Общая характеристика физико-химической миграции природных радионуклидов.	5	0	2	2	1	2	3
Тема 11. Радиоактивный распад как разновидность физико-химической миграции радионуклидов.	5	0	2	2	1	2	3
Тема 12. Физико-химическая миграция природных радионуклидов в воздушной среде.	6	1	1	2	2	2	4
Тема 13. Физико-химическая миграция природных радионуклидов в водной среде.	6	1	1	2	2	2	4
Тема 14. Биогенная миграция природных радионуклидов.	6	1	1	2	2	2	4

Форма текущей аттестации по разделу.	Задания для самостоятельной работы: подготовка ответов на вопросы для поведения текущей аттестации, тестирование, подготовка докладов и рефератов по теме		
Промежуточная аттестация	*зачет*		2
Итого:	72	24	48

Подробное содержание разделов и тем дисциплины:

Раздел 1. Предмет и задачи геохимии радионуклидов. Краткая история и основные этапы развития геохимии радиоактивных элементов.

Тема 1. ПРЕДМЕТ И ЗАДАЧИ ГЕОХИМИИ РАДИОНУКЛИДОВ.

Содержание темы: Предмет и задачи геохимии и геохимии окружающей среды (экологической геохимии). Влияние внешних факторов на поведение химических элементов в окружающей среде. Методологические аспекты геохимии. Вклад В.И.Вернадского, Ф.У.Кларка, А.Е.Ферсмана, В.М.Гольдшмидта, Б.Б.Полынова, А.П.Виноградова, А.И.Перельмана и др. в становление и развитие геохимии.

Тема 2. КРАТКАЯ ИСТОРИЯ И ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ РАЗВИТИЯ ГЕОХИМИИ РАДИОАКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ.

Содержание темы: Понятие о радионуклидах и предмет геохимии радионуклидов. Открытие явления радиоактивности: работы А.Беккереля, супругов П. и М.Кюри. Интерес В.И. Вернадского к явлениям радиоактивности, организация Радиевого института, поиск, добыча и переработка радиоактивных полезных ископаемых в СССР. Работы В.М.Клечковского, Н.В.Тимофеева-Ресовского, Ф.И.Павлоцкой, Р.М.Алексахина, Ф.А.Тихомирова, Н.А.Титаевой, Ю.А.Израэля и др. в области радиоэкологии и геохимии радиоактивных элементов.

Раздел 2. Распространенность естественных радионуклидов в геосферах Земли.

Тема 3. КЛАРКИ ЕСТЕСТВЕННЫХ РАДИОАКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ГЕОСФЕРАХ ЗЕМЛИ.

Содержание темы: Базовые геосферы Земли: атмосфера, гидросфера, твердые оболочки Земли, биосфера. Вторичные геосферы. Распространенность химических элементов в земной коре. Современные оценки кларков радиоактивных элементов. Распространенность изотопов химических элементов в природе. Гипотеза космогенного образования и нуклеосинтеза радиоактивных элементов. Кларки естественных радионуклидов в геосферах Земли.

Тема 4. МЕСТО ПРИРОДНЫХ РАДИОНУКЛИДОВ В ГЕОХИМИЧЕСКИХ КЛАССИФИКАЦИЯХ ЭЛЕМЕНТОВ.

Содержание темы: Космохимическая теория образования Земли и геохимическая классификация химических элементов Гольдшмидта. Геохимические ассоциации элементов по А.Е.Ферсману. Геохимическая классификация элементов по А.Н.Заварицкому. Геохимическая классификация элементов по А.И.Перельману. Место природных радионуклидов в этих классификациях.

Тема 5. ПРОИСХОЖДЕНИЕ И НОРМЫ СОДЕРЖАНИЯ РАДИОНУКЛИДОВ В ПРИРОДНЫХ СИСТЕМАХ.

Содержание темы: Радиационный фон Земли. Первичное и вторичное космическое излучение; радиационные пояса Земли. Распределение плотности потока космического излучения в геомагнитном поле Земли. Особенности дополнительного облучения человека при авиаперевозках. Космогенные радионуклиды и их распределение в стратосфере и тропосфере Земли; поступление космогенных радионуклидов в наземные экосистемы. Бразильская магнитная аномалия. Свойства основных космогенных радионуклидов (скорость образования, период полураспада, конечный продукт распада и др.). Применение космогенных радионуклидов в качестве трассеров природных процессов. Терригенные радионуклиды. Радиационный фон и тепловой поток Земли. Основные дозообразующие терригенные природные радионуклиды, входящие и не входящие в естественные ряды радиоактивного распада. Особенности концентрации терригенных радионуклидов в горных породах, геохимические аномалии радиоактивных элементов. Местные (региональные) кларки радионуклидов. Районы Земли с повышенным радиационным фоном.

Раздел 3. Формы нахождения радионуклидов в природных средах.

Тема 6. ОСНОВНЫЕ ФОРМЫ НАХОЖДЕНИЯ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В ГЕОСФЕРАХ. РАДИОНУКЛИДЫ В СОСТАВЕ МИНЕРАЛЬНОЙ И РАССЕЯННОЙ ФОРМ.

Содержание темы: Понятие о формах нахождения химических элементов в природных системах. Основные формы нахождения естественных радиоактивных элементов в природных средах. Радионуклиды в магматических расплавах, в составе минералов и горных пород, рассеянная форма нахождения радиоактивных элементов. Радионуклиды в составе минеральной и рассеянной форм.

Тема 7. ЭНДОГЕННЫЕ И ЭКЗОГЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ МИНЕРАЛООБРАЗОВАНИЯ С УЧАСТИЕМ ОСНОВНЫХ ЕСТЕСТВЕННЫХ РАДИОНУКЛИДОВ.

Содержание темы: Эндогенные процессы минералообразования с участием урана и тория: магматические, пегматитовые, пневматолитовые (метасоматические), гидротермальные. Экзогенные процессы минералообразования с участием урана и тория: выветривание, седиментация, импактный процесс. Формы нахождения природных радионуклидов при минералообразовании. Месторождения радиоактивных элементов в мире и РФ.

Раздел 4. Миграция естественных радионуклидов в природных системах.

Тема 8. ОБЩИЕ ПОНЯТИЯ О ГЕОХИМИЧЕСКОЙ МИГРАЦИИ И ЗАКОНОМЕРНОСТИ МИГРАЦИИ ПРИРОДНЫХ РАДИОНУКЛИДОВ. ГЕОХИМИЧЕСКИЕ БАРЬЕРЫ, СПЕЦИФИЧНЫЕ ДЛЯ УРАНА И ТОРИЯ В ЗОНЕ ГИПЕРГЕНЕЗА.

Содержание темы: Источники энергии миграционных процессов. Внутренние и внешние факторы миграции элементов. Основной геохимический закон Гольдшмидта. Ведущие (типоморфные) элементы миграции. Принцип подвижных компонентов. Фазы процессов миграции. Геохимические барьеры. Образование гидротермальных жильных месторождений урана как результат действия геохимических барьеров. Миграция и аккумуляция урана при континентальном и морском седиментогенезе. Миграция и аккумуляция тория в зоне гипергенеза. Феномен природного «ядерного реактора» Окло как пример наличия в покровных отложениях геохимического барьера с формированием эпигенетического месторождения урана. Виды миграции химических элементов.

Тема 9. МЕХАНИЧЕСКАЯ МИГРАЦИЯ ПРИРОДНЫХ РАДИОНУКЛИДОВ.

Содержание темы: Сущность и виды механогенеза. Склоновые процессы, криогенный массоперенос, механическая денудация, эоловый перенос. Сепарация радионуклид-содержащего материала при механогенезе. Механические геохимические барьеры при миграции радионуклидов.

Тема 10. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКОЙ МИГРАЦИИ ПРИРОДНЫХ РАДИОНУКЛИДОВ.

Содержание темы: Общие закономерности и механизмы воздушной и водной физико-химической миграции элементов. Понятие о миграционных потоках и ореолах рассеяния.

Тема 11. РАДИОАКТИВНЫЙ РАСПАД КАК РАЗНОВИДНОСТЬ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКОЙ МИГРАЦИИ РАДИОНУКЛИДОВ.

Содержание темы: Радиоактивный распад как разновидность физико-химической миграции. Радиационно-химические явления. Равновесие материнских и дочерних радионуклидов в рядах радиоактивного распада. Использование равновесного метода при геохимических датировках природных и техногенных процессов. Неравновесные радиоизотопные методы исследования природных и техногенных процессов миграции.

Тема 12. ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКАЯ МИГРАЦИЯ ПРИРОДНЫХ РАДИОНУКЛИДОВ В ВОЗДУШНОЙ СРЕДЕ.

Содержание темы: Геохимические особенности надземной атмосферы: постоянные компоненты и примеси, особенности переноса в тропосфере и стратосфере. Геохимические особенности подземной атмосферы. Эманации радиоактивного радона.

Космогенный тритий как маркер атмогидрохимических потоков миграции. Гелиевая атмогеохимическая съёмка. Радионуклид-содержащие атмосферные аэрозоли. Миграция радионуклидов с воздушными потоками и поступление атмосферных примесей в наземные экосистемы. Геохимические барьеры при физико-химической миграции радионуклидов в воздушной среде.

Тема 13. ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКАЯ МИГРАЦИЯ ПРИРОДНЫХ РАДИОНУКЛИДОВ В ВОДНОЙ СРЕДЕ.

Содержание темы: Формы нахождения химических элементов в водной фазе. Радионуклиды в природных растворах. Осаждение радионуклидов из природных растворов. Коэффициенты водной миграции природных радионуклидов в пресноводных экосистемах. Поведение U-238, Th-232, Ra-226, Po-210, Pb-210 в зоне соприкосновения литосферы и гидросферы. Геохимические барьеры при физико-химической миграции радионуклидов в водной среде.

Тема 14. БИОГЕННАЯ МИГРАЦИЯ ПРИРОДНЫХ РАДИОНУКЛИДОВ.

Содержание темы: Геохимические функции компонентов живого вещества: вирусов, бактерий, грибов, растений, животных. Показатели интенсивности биогенной миграции элементов. Биологическое поглощение радионуклидов. Биогеохимические особенности U-238, Th-232, Ra-226 и их поступление в растения. Радиоуглеродный геохронологический метод. Особенности накопления радионуклидов на биологических и биогеохимических барьерах.

7. **Фонд оценочных средств для оценивания результатов обучения по дисциплине**:

7.1. **Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения текущего контроля:**

Рекомендуемые темы:

1. Ознакомление и критический анализ современной публикации в российском/ зарубежном научном журнале по теме использования космогенных радионуклидов в качестве трассеров природных процессов.
2. Ознакомление и критический анализ современной публикации в российском/ зарубежном научном журнале по теме использования равновесных и неравновесных радиоизотопных методов исследования природных и техногенных процессов миграции.
3. Ознакомление и критический анализ современной публикации в российском/ зарубежном научном журнале по теме использования аэрогенного Pb-210 как трассера процессов эрозии и седиментогенеза.

Примеры тестов, темы рефератов, презентаций, докладов по темам:

1. Исследования В.И.Вернадского и В.Гольдшмидта в области геохимии, включая геохимию радионуклидов.
2. Большой Взрыв: образование и свойства естественных радиоактивных элементов.
3. Основные естественные радионуклиды в геохимической классификации элементов Гольдшмидта.
4. Использование космогенных и терригенных радионуклидов (^{210}Pb, ^{210}Po, ^{7}Be, ^{10}Be) в качестве трассеров природных процессов.
5. «Горячие точки» Земли с естественными геохимическими аномалиями радиоактивных элементов.
6. Основные минералы и руды, содержащие естественные радионуклиды (на основе материалов сети Интернет и посещения коллекции Музея Землеведения МГУ).
7. Использования равновесных и неравновесных радиоизотопных методов исследования процессов миграции.
8. Региональные особенности содержания радона в атмосфере на территории РФ и зарубежных стран.

9. Водно-миграционная активность основных естественных радионуклидов и применения уран-гелиевого и тритий-гелиевого метода для датирования возраста подземных вод.
10. Биологическая миграция природных радионуклидов: анализ публикаций в ведущих международных журналах.

7.2. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения промежуточной аттестации:

1. Понятие о кларках. Кларки радионуклидов в геосферах Земли.
2. Гипотеза космогенного образования элементов, нуклеосинтез радиоактивных элементов.
3. Место радиоактивных элементов в геохимических классификациях элементов.
4. Компоненты радиационного фона Земли. Районы Земли с повышенным радиационным фоном.
5. Применение космогенных радионуклидов в качестве трассеров природных процессов.
6. Основные формы нахождения радионуклидов в природных средах.
7. Радионуклиды в составе минеральной и рассеянной форм.
8. Геохимия урана и тория в эндогенных процессах минералообразования.
9. Радиационно-химические явления.
10. Геохимия урана и тория в экзогенных процессах минералообразования.
11. Образование гидротермальных жильных месторождений урана на геохимических барьерах.
12. Геохимические барьеры, специфичные для миграционных форм урана и тория в зоне гипергенеза.
13. Дифференциация состава отложений и сепарация радионуклид-содержащего материала при склоновом механогенезе.
14. Формирование аллювиальных россыпей радионуклид-содержащего материала при механической денудации.
15. Механические геохимические барьеры при миграции радионуклидов.
16. Радиоактивный распад как разновидность физико-химической миграции.
17. Использование равновесного метода при геохимических датировках природных и техногенных процессов миграции.
18. Неравновесные радиоизотопные методы исследования природных и техногенных процессов миграции.
19. Физико-химическая миграция радионуклидов в воздушной среде.
20. Физико-химическая миграция радионуклидов в водной среде.
21. Поведение урана, тория, радия, полония, свинца-210 в зоне соприкосновения литосферы и гидросферы.
22. Основные геохимические барьеры наземных ландшафтов при физико-химической миграции радионуклидов.
23. Геохимические функции компонентов живого вещества.
24. Биогеохимические особенности поступление в растения радиоизотопов урана, тория, радия, цезия и стронция.
25. Особенности накопления радионуклидов на биогеохимических барьерах почв.

8. **Шкала и критерии оценивания результатов обучения по дисциплине:**

В таблице представлена шкала оценивания результатов обучения по дисциплине. Уровень знаний обучающегося оценивается на "отлично", "хорошо", "удовлетворительно", "неудовлетворительно".

Оценка "отлично" выставляется, если обучающийся демонстрирует сформированные систематические знания, умения и навыки их практического использования. Оценка "хорошо" ставится, если при демонстрации знаний, умений и навыков студент допускает отдельные

неточности (пробелы, ошибочные действия) непринципиального характера. При несистематических знаниях, демонстрации отдельных (но принципиально значимых навыков) и затруднениях в демонстрации других навыков выставляется оценка «удовлетворительно». Оценка "неудовлетворительно" ставится, если знания и умения фрагментарны, а навыки отсутствуют.

ШКАЛА И КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ результатов обучения (РО) по дисциплине				
Оценка РО и соответствующие виды оценочных средств	**2**	**3**	**4**	**5**
Знания *(виды оценочных средств: устные и письменные опросы, самостоятель-ные и контрольные работы, тесты)*	Отсутствие знаний	Фрагментарные знания	Общие, но не структурированные знания	Сформированные систематические знания
Умения *(виды оценочных средств: контрольные работы, написание рефератов и докладов на заданную тему)*	Отсутствие умений	В целом успешное, но не систематическое умение	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение (допускает неточности непринципиального характера)	Успешное и систематическое умение
Навыки (владения, опыт деятельности)	Отсутствие навыков (владений, опыта)	Наличие отдельных навыков (наличие фрагментарного опыта)	В целом, сформированные навыки (владения), но используемые не в активной форме	Сформированные навыки (владения), применяемые при решении задач

9. Ресурсное обеспечение:

- Перечень основной и дополнительной учебной литературы:
  - Перельман А.И. Геохимия ландшафта: Учеб.пособие для студентов вузов. М.: Астрея-2000, 1999.
  - Титаева Н.А. Ядерная геохимия: Учеб.для студентов вузов. М. : Изд-во Моск.ун-та, 2000.
  - Титаева Н.А. Геохимия природных радиоактивных рядов распада. М.: ГЕОС, 2005.
  - Сапожников Ю.А., Алиев Р.А., Калмыков С.Н. Радиоактивность окружающей среды: Теория и практика:Учеб.и учеб.-метод.пособие для студентов вузов. М.: Бином.Лаб.знаний, 2006.
  - Алексеенко В.А. Геоэкология. Экологическая геохимия: учеб. пособие для студентов вузов. Ростов н/Д : Феникс, 2017.

Дополнительная литература:
    - База данных научной периодики ScienceDirect (https://www.sciencedirect.com).
    - Библиографическая и реферативная база данных Scopus (https://www.scopus.com).
    - Поисковая интернет-платформа Web of Science (https://access.clarivate.com).
- Перечень лицензионного программного обеспечения: MS Windows10.
- Перечень профессиональных баз данных и информационных справочных систем:
    - Радиоэкологический информационно-учебный ресурс «Экорадмод» (https://soil.msu.ru/kafedry/kaf-radioecologia/ecoradmod).
- Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»:
- Описание материально-технической базы
    - А. Помещения: 2 лекционные аудитории, оборудованные оргтехникой (проектор, компьютер, выход в Интернет);
    - Б. Оборудование: для семинарских и лекционных аудиторий: необходимая оргтехника, ЭВМ и др.;
    - В. Иные материалы.

10. **Язык преподавания:** русский

11. **Преподаватель (преподаватели):**
Парамонова Татьяна Александровна
Должность: старший преподаватель
Ученая степень (когда и где присуждена): кандидат биологических наук, 3 марта 2000 г.
Высший аттестационный комитет Российской Федерации

12. **Разработчики программы:**
Парамонова Татьяна Александровна
Должность: старший преподаватель
Ученая степень (когда и где присуждена): кандидат биологических наук, 3 марта 2000 г.
Высший аттестационный комитет Российской Федерации

13. **Краткая аннотация дисциплины:** В курсе изучаются закономерности распространенности естественных радиоактивных элементов в геосферах Земли; проблемы образования региональных радиоактивных аномалий урана и тория; формы нахождения природных радионуклидов в абиотических и биотических компонентах окружающей среды; процессы механической, физико-химической и биологической миграции основных естественных радионуклидов (U-238, U-235, Ra-226, Po-210, Pb-210 и др.). Рассматривается водно-миграционная и биологическая активность природных радионуклидов. Обсуждается использование ряда природных радионуклидов в качестве трассеров процессов эрозии, седиментогенеза, геохронологии и др. глобальных природных процессов. В итоге формируется понимание особенностей геохимического подхода к решению теоретических и прикладных проблем радиоэкологии и экотоксикологии.