

Министерство образования Республики Беларусь
Белорусский государственный университет
Факультет географии и геоинформатики
Кафедра почвоведения и геоинформационных систем

СОГЛАСОВАНО

Заведующий кафедрой

_____ Червань А. Н.

«21» февраля 2022 г.

СОГЛАСОВАНО

Декан факультета

_____ Курлович Д. М.

«24» февраля 2022 г.

СОГЛАСОВАНО

Председатель

учебно-методической комиссии факультета

_____ Кольмакова Е. Г.

«24» февраля 2022 г.

Геохимия

Электронный учебно-методический комплекс для специальностей:

1-31 02 01 «География (по направлениям)»

направление специальности:

1-31 02 01-02 «География (научно-педагогическая деятельность)»;

1-31 02 02 «Гидрометеорология»;

1-31 02 03 «Космоаэрокартография»;

1-31 02 04 «Геотехнологии туризма и экскурсионная деятельность»;

1-33 01 02 «Геоэкология»;

1-56 02 02 «Геоинформационные системы (по направлениям)»

направления специальности:

1-56 02 02-01 «Геоинформационные системы (земельно-кадастровые)»;

1-56 02 02-02 «Геоинформационные системы (специальные)»

Регистрационный № 2.4.2-20/274

Автор:

Карпиченко А. А., кандидат географических наук, доцент.

Рассмотрено и утверждено на заседании Научно-методического совета БГУ
28.07.2022 г., протокол № 7.

Минск 2022

УДК 550.4(075.8)
К 264

Утверждено на заседании Научно-методического совета БГУ.
Протокол № 7 от 28.07.2022 г.

Решение о депонировании вынес:
Совет факультета географии и геоинформатики
Протокол № 7 от 24.02.2022 г.

Автор:

Карпиченко Александр Александрович, кандидат географических наук, доцент, доцент кафедры почвоведения и геоинформационных систем БГУ.

Рецензенты:

кафедра географии и методики преподавания географии УО «Белорусский государственный педагогический университет им. Максима Танка» (зав. кафедрой Таранчук А. В., кандидат географических наук, доцент);

Хомич В. С., главный научный сотрудник лаборатории оптимизации геосистем Института природопользования НАН Беларуси, доктор географических наук, доцент.

Карпиченко, А. А. Геохимия : электронный учебно-методический комплекс для специальностей: 1-31 02 01 «География (по направлениям)», направления специальности: 1-31 02 01-02 «География (научно-педагогическая деятельность)», 1-31 02 02 «Гидрометеорология», 1-31 02 03 «Космоаэрокартография», 1-31 02 04 «Геотехнологии туризма и экскурсионная деятельность», 1-33 01 02 «Геоэкология», 1-56 02 02 «Геоинформационные системы (по направлениям)», направления специальности 1-56 02 02-01 «Геоинформационные системы (земельно-кадастровые)», 1-56 02 02-02 «Геоинформационные системы (специальные)» / А. А. Карпиченко ; БГУ, Фак. географии и геоинформатики, Каф. почвоведения и геоинформационных систем. – Минск : БГУ, 2022. – 36 с. : табл. – Библиогр.: с. 33–34.

Электронный учебно-методический комплекс (ЭУМК) предназначен для студентов, обучающихся по географическим специальностям. Содержание ЭУМК предполагает повышение эффективности управления образовательным процессом и самостоятельной работой студентов по освоению учебной дисциплины «Геохимия» с помощью внедрения в образовательный процесс инновационных образовательных технологий, обеспечение качественной подготовки высококвалифицированных специалистов-географов.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ОГЛАВЛЕНИЕ	3
ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА.....	4
1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ.....	6
1.1. История развития. Прикладные аспекты геохимии. Основные законы химической природы.....	6
1.2. Происхождение химических элементов. Химический состав Вселенной..	9
1.3. Факторы и условия миграции элементов	10
1.4. Неорганические соединения в природе (минералы).....	11
1.5. Органические соединения в природе	12
1.6. Химические элементы <i>s</i> -блока	13
1.7. Химические элементы <i>d</i> -блока.....	14
1.8. Химические элементы <i>p</i> - и <i>f</i> -блока	15
1.9. Геохимические процессы и барьеры	16
1.10. Водная миграция элементов	19
1.11. Биогенная миграция элементов.....	19
1.12. Атмосферная миграция элементов	20
1.13. Техногенная миграция элементов.....	22
1.14. Геохимические особенности Беларуси.....	24
2. ПРАКТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ.....	26
Тема 1. Кларки горных пород.....	26
Тема 2. Кларки почв	26
Тема 3. Показатели водной миграции	26
Тема 4. Показатели биогенной миграции.....	27
Тема 5. Показатели техногенной миграции	28
Тема 6. Ландшафтно-геохимическая структура территории	28
Тема 7. Геохимические методы исследований	29
3. РАЗДЕЛ КОНТРОЛЯ ЗНАНИЙ.....	30
3.1. Вопросы к экзамену по дисциплине	30
3.2. Организация самостоятельной работы.....	31
4. ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЙ РАЗДЕЛ.....	33
4.1. Рекомендуемая литература	33
4.2. Электронные ресурсы	34
4.3. Учебно-методическая карта по учебной дисциплине.....	35

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Электронный учебно-методический комплекс по учебной дисциплине «Геохимия» предназначен для реализации требований образовательных программ, образовательного стандарта и учебного плана специальностей 1-31 02 01 «География (по направлениям)», направления специальности 1-31 02 01-02 «География (научно-педагогическая деятельность)», 1-31 02 02 «Гидрометеорология», 1-31 02 03 «Космоаэрокартография», 1-31 02 04 «Геотехнологии туризма и экскурсионная деятельность», 1-33 01 02 «Геоэкология», 1-56 02 02 «Геоинформационные системы (по направлениям)», направления специальности 1-56 02 02-01 «Геоинформационные системы (земельно-кадастровые)», 1-56 02 02-02 «Геоинформационные системы (специальные)». Его наличие обеспечивает стабильность качества образовательного процесса и является методической основой для обеспечения эффективной самостоятельной работы студентов.

ЭУМК по учебной дисциплине «Геохимия» создан на научно-методическом и программно-техническом уровнях, соответствующих современным информационно-коммуникационным технологиям и призван обеспечить реализацию учебных целей и задач на всех этапах образовательного процесса по данной дисциплине.

Назначение – реализация требований образовательного стандарта и учебной программы, обеспечение непрерывности и полноты процесса обучения, систематизации и контроля знаний по учебной дисциплине «Геохимия».

Цель ЭУМК – повышение эффективности управления образовательным процессом и самостоятельной работой студентов по освоению учебной дисциплины «Геохимия» с помощью внедрения в образовательный процесс инновационных образовательных технологий и современного программного обеспечения для подготовки высококвалифицированных специалистов.

Область применения – на лабораторных занятиях по курсу «Геохимия», в ходе самостоятельной подготовки к аудиторным занятиям, текущему и итоговому контролю знаний по разделам дисциплины, ориентация в выполнении управляемой самостоятельной работы.

Функциональные возможности ЭУМК – средство ориентации в содержании дисциплины «Геохимия» и порядке изучения учебного материала, освоение теоретического и практического материала, подготовка к контролю знаний. Материал ЭУМК структурирован по разделам таким образом, чтобы обеспечить возможность самостоятельного овладения знаниями по учебной дисциплине. ЭУМК по учебной дисциплине «Геохимия» включает 4 основных раздела: теоретический, практический, контроля знаний и вспомогательный.

Теоретический раздел ЭУМК содержит конспект лекций для теоретического изучения учебной дисциплины на основе пособий:

Чертко, Н.К. Геохимия [Электронный ресурс] / Н.К. Чертко. – Минск: БГУ, 2016. – 295 с. – Режим доступа: <https://elib.bsu.by/handle/123456789/163179> – Дата доступа 17.02.2022.

Геохимия ландшафта: учеб. пособие [Электронный ресурс] / Н.К. Чертко, Н.В. Ковальчик, В.С. Хомич, А.А. Карпиченко, П.В. Жумарь, Т.А. Тимофеева;

под ред. Н.К. Чертко. – 2-е изд., перераб. и доп. – Минск: БГУ, 2011. – 303 с. – Режим доступа: <https://elib.bsu.by/handle/123456789/44211> – Дата доступа 17.02.2022.

Практический раздел ЭУМК включает методические рекомендации и варианты заданий для проведения лабораторных занятий на основе учебно-методического пособия

Ковальчик, Н.В. Распространенность и виды миграции химических элементов. Практикум по геохимии: учеб.-метод. пособие / Н.В. Ковальчик, Л.И. Смыкович, А.А. Карпиченко. – Минск: БГУ, 2017. – 111 с. – Режим доступа: <https://elib.bsu.by/handle/123456789/185861> – Дата доступа 17.02.2022.

Раздел контроля знаний ЭУМК содержит материалы к контролю знаний и к аттестации, позволяющие определить соответствие результатов учебной деятельности обучающихся требованиям образовательного стандарта и учебно-программной документации по специальности. Данный раздел включает: варианты контрольных заданий и вопросы к экзамену.

Вспомогательный раздел ЭУМК содержит ссылки на учебную программу по учебной дисциплине «Геохимия».

ЭУМК по учебной дисциплине «Геохимия» предназначен для студентов, магистрантов и аспирантов, занимающихся исследованиями в области геохимии и охраны окружающей среды.

В рамках учебной дисциплины «Геохимия» изучаются основные законы химии и геохимии, происхождение химических элементов и их классификация, химическая связь, номенклатура неорганических и органических соединений, их свойства, геохимическая, биологическая и экологическая функции элементов в природе, методы определения элементов. В дальнейшем рассматриваются геохимические процессы и барьеры, виды миграции элементов, закономерности распространения химических элементов на Земле по природным зонам, трансформация токсических соединений в природе, геохимические особенности ландшафтов Беларуси.

1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ

1.1. История развития. Прикладные аспекты геохимии. Основные законы химической природы

Геохимия – наука, которая изучает миграцию, концентрацию и рассеяние химических элементов под влиянием природных условий (внешних факторов миграции) и процессов при различных термодинамических физико-химических условиях.

Геохимия является фундаментальной геологической и географической дисциплиной о химическом составе Земли и планет, состоянии и динамике процессов миграции атомов в космосе, на Земле и в живых организмах.

Как наука геохимия возникла на стыке химии, геологии и географии. Окончательно сформировалась в XX в., имеет свой предмет и задачи, методы и методики исследования, самостоятельное научное направление в цикле геолого-географических наук.

Геохимия имеет тесные связи с землеведением, геологией, почвоведением, физической географией, океанологией, метеорологией, геоэкологией и даже с социально-экономической географией (приуроченность промышленности к месторождениям полезных ископаемых).

Геохимические данные используются при проведении географических, гидрохимических, аэрокосмических и экологических исследований.

Достижения геохимии позволяют устанавливать химическое состояние природной и техногенной сред, давать оценку и разрабатывать способы геохимической оптимизации на глобальном и региональном уровнях. Решение этих задач требует знаний о геохимической, биологической и экологической функциях химических элементов, особенностях их миграции, концентрации в зависимости от природных условий и процессов.

Составная часть геохимии – *геохимия ландшафта* – выявляет географические закономерности распространения и миграции химических элементов в ландшафтной оболочке Земли.

Взаимодействие геохимии и биологии привело к возникновению *биогеохимии*, устанавливающей распределение химических элементов в живых организмах и среде их обитания.

Объектом геохимических исследований и предметом изучения геохимии являются химические элементы Земли и космоса, их образование и распределение. Химические элементы в космосе более детально изучает космохимия.

В геохимии методологически выделяют геохимию элементов, систем и процессов. Это три аспекта фундаментальных проблем данной науки.

Геохимия элементов изучает и описывает поведение отдельных химических элементов в различных природных и техногенных системах, процессах на основе влияния внутренних факторов миграции (атомные и ионные радиусы, валентность, электроотрицательность, тип химической связи и др.).

Геохимия систем описывает поведение сочетания химических элементов в конкретных системах (коре выветривания, ландшафтах, гидросфере, атмосфере) с учетом физико-химического анализа, который основан на законах и положениях равновесной термодинамики, саморазвития целостных систем.

Геохимия процессов рассматривает факторы и механизмы миграции химических элементов в пространстве при изменении температуры, давления, плотности, концентрации и других параметров среды.

В одном и том же процессе химические элементы ведут себя по-разному, подчиняясь законам кинетики и динамики. Индикаторами условий геохимических процессов, которые сохраняют информацию, могут быть изменение состояния вещества, образование минералов переменного состава, валентность элемента, изотопные отношения элементов.

Задачи геохимии:

- изучение свойств химических элементов, их функций, закономерностей распределения в минералах, породах, почвах, живых организмах, в твердых, жидких и газообразных средах;

- выявление закономерностей сочетания химических элементов в различных условиях Земли и космоса;

- изучение специфики участия химических элементов в построении космоса, Земли, ландшафтов, живого вещества;

- изучение региональной геохимии, оценка геохимической ситуации, использование геохимических методов при поиске полезных ископаемых;

- исследование использования химических элементов человеком (техногенез);

- разработка геохимических способов оптимизации окружающей среды.

Прогресс геохимии способствует развитию географии. Химический подход к географическим явлениям становится неизбежным при изучении процессов выветривания (гипергенеза), явлений окраски ландшафтов и почв, формирования ландшафтных зон суши и моря.

Геохимия устанавливает более глубокую взаимосвязь между компонентами ландшафта прошлого и настоящего, исследует вещественный обмен между геосферами и живым веществом суши и моря.

В решении вопросов теории и практики географии незаменимо изучение круговорота химических элементов с участием живых организмов. Живое и косное вещества взаимно дополняют друг друга в процессе круговорота веществ. Все теснее с геохимией связывается учение о полезных ископаемых, привлекаются методы геохимии изотопов для выяснения генезиса, возраста и этапов формирования различных месторождений.

Геохимия и космохимия утверждают единство мира во всем его многообразии с помощью теории атома и изотопных соотношений. Вещество Земли отражает далекие по времени космические процессы, количественный набор разновидностей атомов и разнообразие химического состава Земли и космоса.

В 1842 г. в работе швейцарского химика Кристиана Фридриха Шёнбейна впервые появился термин «геохимия».

В 1869 г. Дмитрий Иванович Менделеев открыл периодический закон химических элементов.

Во второй половине XIX в. накапливается аналитический материал по химическому составу минералов и горных пород, вод суши и Мирового океана. На основании собственных и уже опубликованных другими учеными данных по химическому составу пород и минералов американский химик Франк Кларк в 1889 г. дает первую сводную таблицу среднего химического состава земной коры.

В 1924 г. Виктор Мориц Гольдшмидт предложил геохимическую классификацию элементов. Ему принадлежит формулировка целей и задач геохимии.

В создании современной геохимии первой половины XX в. ведущая роль принадлежит ученым Гольдшмидту, Вернадскому, Ферсману, которые вместе с Кларком считаются классиками геохимии.

Широко известна белорусская школа геохимии, представлена такими учеными, как К.И. Лукашёв, В.К. Лукашёв, В.Е. Бордон, М.П. Оношко, В.А. Кузнецов, Н.К. Чертко, В.С. Хомич, Т.И. Кухарчик и др.

Геохимические методы поисков полезных ископаемых. Для поисков месторождений полезных ископаемых успешно применяется комплекс геохимических методов: литогеохимический, атмогеохимический, гидрогеохимический, биогеохимический.

В области здравоохранения геохимические методы позволяют выявить заболевания геохимического генезиса, которые развиваются при избытке или недостатке химических элементов в природной среде и местных продуктах питания. В настоящее время известны заболевания, вызванные избытком или недостатком фтора, бора, кальция, йода, железа, избытком стронция, недостатком кобальта в природных или техногенных ландшафтах.

В практике сельского хозяйства геохимия имеет свою область исследования. Оптимизация агроландшафтов и их охрана требуют рассмотрения природных процессов в динамике и статике.

В природе – при кажущейся хаотичности распределения химических элементов, живых организмов – существуют определенные закономерности и законы, которым подчинены структуры, системы, процессы и явления. Строение природных минералов представляет собой последовательное соединение и взаимное расположение атомов в молекуле с учетом длины отдельных связей, величины валентных углов, распределения электронной плоскости в молекуле или веществе, минерале.

Различают физические и химические свойства веществ, которые зависят от их химического состава и строения. Вещества бывают простые и сложные, органические и неорганические. Они постоянно изменяются под воздействием воды, температуры, давления, концентрации. Эти изменения (явления) могут быть физической и химической природы.

Состояние и трансформация вещества в природе подчиняются определенным «законам», среди которых основополагающими являются закон сохранения энергии, закон постоянства состава, закон эквивалентов, закон Авогадро, периодический закон Менделеева, закон Гольдшмидта.

1.2. Происхождение химических элементов. Химический состав Вселенной

Вселенная включает в себя все пространство, заполненное галактиками, туманностями, межгалактической и межзвездной средой. Составной частью Вселенной является наша Земля. Существует ряд теорий происхождения Вселенной.

Многообразие явлений окружающего мира обусловлено взаимодействием элементарных частиц, которое бывает сильным, электромагнитным, слабым и гравитационным.

Радиоактивность (радиоактивный распад) – это самопроизвольное превращение одних ядер в другие, сопровождаемое испусканием элементарных частиц. Каждый радиоактивный изотоп характеризуется периодом полураспада, то есть временем, за которое распадается половина ядер образца.

В момент Большого взрыва при формировании Вселенной образовывались только легкие элементы, а более тяжелые возникли в процессах нуклеосинтеза массивных звезд массой в десятки раз большей, чем Солнце.

Важное значение имеет восстановление картины прошлой жизни горных пород, их генезиса, условий, в которых они образовались, времени формирования. Для этой цели используются изотопы. Изотопы одного элемента имеют различные энергии химической связи и активации в химических реакциях. Это влияет на скорость химических реакций, в которых участвуют молекулы с разными изотопами, и определяет их подвижность, что является причиной их разделения в процессе миграции. Такое разделение называется изотопным фракционированием и несет важную информацию о геохимических процессах. Фракционирование может быть результатом испарения, физической абсорбции, растворения, плавления, кристаллизации, различных химических реакций, включая биохимические и катализируемые ферментами. Наибольшее фракционирование присуще легким элементам, так как у них более заметна разница между массами изотопов.

В основе любой геохимической классификации элементов лежит Периодическая система Д. И. Менделеева. Положение элемента в таблице указывает на его геохимические свойства, т. е. способность мигрировать, рассеиваться или концентрироваться в определенных условиях ландшафта.

В настоящее время в геохимии известны классификации элементов В.М. Гольдшмидта, А.Е. Ферсмана, В.И. Вернадского, А.Н. Заварицкого, а в геохимии ландшафта – А.И. Перельмана, Е.В. Складярова и др.

Кларк – среднее содержание химического элемента в земной коре или в какой-либо оболочке Земли или других объектов.

Региональный кларк – средняя величина содержания химического элемента для какого-либо региона (Беларуси, Сибири, Средней Азии и т. д.).

Фоновое содержание – среднее содержание элементов в более мелких объектах, например в торфяных почвах, растениях или воде озер.

Величина кларка определяет геохимию элемента в земной коре по закону Гольдшмидта и связана с его химическими свойствами. В современных научных исследованиях кларк используется для классификации химических элементов и оценки их концентрации или рассеяния.

Многие основные, редкие и некоторые рассеянные элементы могут образовывать промышленные концентрации (месторождения), другие элементы встречаются только как примеси.

Химический состав космических объектов: Вселенной, Солнца, планет, метеоритов, пыли, космических лучей. Общие закономерности космической распространённости химических элементов.

Базовые положения геохимии:

- повсеместное распространение химических элементов во всех геосферах Земли и космоса;
- непрерывная миграция химических элементов в пространстве и времени;
- многообразие форм и видов существующих элементов;
- преобладание рассеянного состояния элементов над концентрированным.

Химический состав Земли. Химический состав магматических, изверженных, метаморфических и осадочных пород.

1.3. Факторы и условия миграции элементов

Периодическая система химических элементов Д. И. Менделеева является графическим выражением периодического закона. Периоды в системе последовательно отражают ряды химических элементов, расположенных в порядке возрастания зарядов ядер их атомов на единицу.

Периодичность изменения свойств атомов и их соединений объясняется периодической повторяемостью строения энергетических уровней и подуровней, содержащих валентные электроны.

Периодическая зависимость свойств атомов и их соединений зависит от заряда ядра. Периодически от заряда ядра изменяются следующие свойства свободных или химически связанных атомов: радиус атома или иона, энергия ионизации, энергия сродства к электрону, металлические и неметаллические свойства, электроотрицательность, высшая валентность и высшая степень окисления.

Радиус атома или иона, энергия ионизации и другие показатели влияют на миграцию химических элементов, усиливая или ослабляя их.

Атом электронейтрален. Получив или отдав один или несколько электронов, он превращается в ион. В ионном состоянии атомы обладают активной способностью вступать в химическую связь с другими ионами. Величины атомных и ионных радиусов определяют миграционные способности элементов.

Для элементов с переменной валентностью (Fe, Mn и др.) характерна зависимость интенсивности растворения данного соединения от валентности элемента в соединении.

Под металлическими свойствами атомов элементов понимают их способность отдавать электрон. Чем легче атом отдает электрон, тем сильнее выражены у него металлические свойства элемента. Атомы с неметаллическими свойствами способны присоединять электроны. Критерием неметаллических свойств

элементов и атомов может быть сродство к электрону. Чем оно больше, тем сильнее выражены неметаллические свойства. Критерием металличности или неметалличности элемента может служить электроотрицательность.

Характеристики структур минералов являются функцией взаимодействия между атомами, т. е. функцией химической связи между ними.

Химическая связь – это взаимодействие атомов химических элементов, при котором происходит перестройка электронных оболочек связывающихся атомов с одновременным образованием единого электронного облака и понижением энергии системы.

Химическая связь поляризуется, когда связываются два атома с разной электроотрицательностью. На атоме с большей электроотрицательностью возникает отрицательный заряд, а с наименьшей – избыточный положительный заряд.

Принято выделять следующие типы химической связи между атомами: металлическая, ионная, ковалентная, водородная, ван-дер-ваальсова.

Твердые минералы имеют определенную пространственную кристаллическую решетку, которая может быть различной степени прочности к воздействию растворов и воды.

Реакции (процессы) окисления-восстановления постоянно протекают в живой и неживой природе. Горение (окисление), гниение и тление (восстановление), дыхание и обмен веществ (окисление-восстановление), другие геохимические и биологические процессы представляют собой реакции окисления-восстановления.

Образование или разрушение минерала и органического соединения, растворение веществ и выпадение их в осадок, образование твердых, жидких и газовых фаз подчиняются термодинамическим законам. В ходе химических превращений происходит поглощение (эндотермические реакции) или выделение (экзотермические реакции) энергии, связанное с термодинамическими свойствами различных соединений и термодинамическими условиями среды. Термодинамические условия среды определяются температурой, давлением и концентрацией вещества, т. е. внешними факторами миграции.

Многие химические реакции на Земле имеют определенную направленность, так как любая природная система стремится перейти в состояние максимальной устойчивости с минимальным запасом свободной энергии.

Переход системы из одного равновесного состояния в другое называется смещением химического равновесия. Направление смещения химического равновесия в результате изменения внешних условий нарушает равновесие и приводит к новым превращениям в системе. Эти превращения совершаются согласно принципу Ле-Шателье: если на систему, находящуюся в состоянии равновесия, оказывать какое-либо воздействие, то оно вызовет процесс, который будет стремиться ослабить это воздействие.

1.4. Неорганические соединения в природе (минералы)

Вселенная и Земля состоят преимущественно из неорганических соединений в трех фазах: твердой, жидкой и газообразной. Неорганические соединения – это классы оксидов, оснований, кислот и солей. Они образуют минералы.

Наиболее распространены в природе оксиды, так как основу Земли составляет кислород – распространенный и сильный окислитель (второй после фтора). Почти все элементы образуют соединения с кислородом. Многие оксиды способны присоединять к себе воду, образуя основания или кислоты.

Основаниями называются гидраты основных оксидов. Большинство оснований нерастворимы в воде, за исключением гидроксидов щелочных и щелочноземельных металлов и гидроксида аммония (их еще называют щелочами). При взаимодействии оснований с кислотами или кислотными оксидами образуются соли.

Кислотами называются соединения, которые при электролитической диссоциации образуют катионы только водорода. В водных растворах они диссоциируют на ионы водорода и кислотный остаток.

Соли — сложные вещества, состоящие из катионов металлов и анионов кислотных остатков или химические соединения, состоящие из катионов и анионов. Растворимые в воде соли диссоциируют на катион металла и анион – кислотный остаток.

1.5. Органические соединения в природе

Природа органических соединений. К органическим веществам принадлежат соединения углерода с другими элементами – это углеводороды и их производные. Изучением строения и свойств углеводов занимается органическая химия. Русский химик Александр Михайлович Бутлеров разработал теорию строения органических соединений, которую можно сравнить по значению с Периодической системой элементов Д. И. Менделеева для неорганической химии.

В природе представлены органические соединения растительного и животного происхождения. В настоящее время синтезировано множество искусственных органических соединений, которые аналогичны природным, но не свойственны природе. Если природные органические соединения утилизируются с участием биохимических процессов, т. е. деятельности микроорганизмов, которые приспособились в ходе эволюции для переработки природных соединений, то искусственные органические соединения, не свойственные природе (пластмассы и др.), сохраняются долгое время и накапливаются в окружающей среде.

Способность атомов углерода соединяться между собой и с другими элементами в различном порядке называют изомерией. Органические соединения, которые имеют одинаковый качественный и количественный состав, молекулярную массу, но различное строение и свойства, называют изомерами.

Классификация органических соединений. Классификацию органических соединений проводят по разным признакам: величине молекулярной массы –

низкомолекулярные и высокомолекулярные; в зависимости от строения углеродной цепи – ациклические (алифатические) и циклические; по характеру связи между атомами углерода – насыщенные (предельные) и ненасыщенные (непредельные); по наличию или отсутствию функциональных групп.

Органические соединения по строению делят на две группы: ациклические и циклические (карбоциклические и гетероциклические).

Ациклические углеводороды подразделяются на предельные (насыщенные) и непредельные (ненасыщенные) соединения.

Непредельные углеводороды имеют кратные (двойные, тройные) углерод-углеродные связи. Их образуют алкены (олефины, этиленовые углеводороды), алкины (ацетиленовые углеводороды), алкадиены (диолефины, диеновые углеводороды), алкенины, полиены.

Циклические соединения представлены двумя подгруппами. Подгруппа карбоциклических, или изоциклических, соединений подразделяется на алициклические и ароматические. Их молекулы состоят из замкнутых в кольца углеродных цепей. Сюда входят бензол и его производные, которые называются ароматическими соединениями. Алициклические углеводороды представлены циклоалканами (циклопарафины, полиметилены, цикланы), циклоалкенами (циклоолефины, циклены), циклоалкадиенами.

Ароматические соединения (арены) представлены группой карбоциклов, характеризующейся наличием ароматической системы с бензольным ядром или лишенной шестичленных ароматических колец и отвечающей требованиям ароматичности.

В подгруппу гетероциклических соединений кольчатых молекул входят вместе с атомами углерода атомы других элементов (O, S, N и др.).

Каждая из перечисленных групп органических соединений делится на классы. Каждый класс характеризуется определенной группой атомов, называемых функциональной группой, – это атом или группа атомов, определяющих характерные химические свойства вещества и принадлежность к определенному классу органических соединений.

Природные органические соединения делятся на три группы: углеводороды, кислородсодержащие и азотсодержащие.

Химия органического синтеза – одна из важнейших отраслей современной промышленности. Ежегодно в мире производится сотни миллионов тонн продукции органического синтеза.

1.6. Химические элементы *s*-блока

В состав *s*-блока входят элементы 1 группы (Li, Na, K, Rb, Cs, Fr) и 2 группы (Be, Mg, Ca, Sr, Ba, Ra) и H, He. Из-за специфики свойств H и He обычно рассматриваются отдельно от этих групп.

Химические элементы 1 группы имеют на внешнем энергетическом уровне по одному *s*-электрону, а 2 группы – по два электрона. Эти электроны являются валентными, слабо связаны с ядром, так как удалены от него, и легко отдают

валентные s -электроны, т. е. являются сильными восстановителями и относятся к металлам.

Металлические и восстановительные свойства элементов усиливаются в группах с ростом порядкового номера и ослабевают в периоде слева направо. Такие элементы химически весьма активны. У электронов большие ионные радиусы, поэтому малые значения энергии ионизации, они легко отдают электрон и образуют катионы со связью по ионному типу.

Большинство природных соединений Na, K, Ca, Sr растворимы в воде и слабых кислотах, поэтому активно мигрируют в водных растворах и активно поступают в живые организмы. Эти элементы образуют много минералов. Наиболее распространены каменная соль, сильвинит, карбонаты, доломиты.

В рассматриваемых группах наиболее распространены в природе и жизненно необходимы Na, K, Mg, Ca. Остальные элементы в этих группах относятся к редким или рассеянным.

Литий накапливается в бытовых отходах благодаря использованию литиевых зарядных устройств. Натрий концентрируется в отходах калийного производства и может подщелачивать природную среду.

Щелочные металлы активно взаимодействуют с галогенами и серой. С водой они образуют гидроксиды (щелочи), а с многоосновными кислотами (серной, фосфорной, углекислой) – как средние, так и кислые соли.

В природе s -элементы встречаются в связанном состоянии. Наиболее распространены из них Na, K, Ca, Mg, поэтому они относятся к основным элементам.

Атомы элементов второй группы имеют по два валентных электрона на s -подуровне внешнего энергетического уровня. Свойства магния и бериллия заметно отличаются от свойств щелочноземельных элементов из-за различия их атомов и ионов.

1.7. Химические элементы d -блока

Химические элементы d -блока представляют собой металлы и формируют наиболее распространенную группу. Для этих химических элементов характерно непропорционально медленное возрастание атомного радиуса с увеличением числа электронов. Это явление называется лантаноидным сжатием.

Элементы d -блока имеют переменные валентность и степень окисления. В низших степенях окисления d -элементы проявляют свойства металлов, а с увеличением атомного номера металлические свойства уменьшаются.

В растворах кислородсодержащие анионы d -элементов с высшей степенью окисления проявляют кислотные и окислительные свойства. Катионные формы низших степеней окисления характеризуются основными и восстановительными свойствами.

Химические элементы d -блока в промежуточной степени окисления проявляют амфотерные свойства.

В периоде с увеличением заряда ядра происходит понижение устойчивости соединений элементов с высшей степенью окисления. Одновременно возрастают

окислительно-восстановительные потенциалы соединений. При увеличении относительной электроотрицательности усиливаются кислотные и неметаллические свойства.

Заметную часть микроэлементов для живых организмов составляют *d*-элементы, которые существуют в виде комплексных соединений или гидратированных ионов. В биохимических реакциях они выступают в роли металлов-комплексобразователей.

1.8. Химические элементы *p*- и *f*-блока

К *p*-блоку относятся 30 химических элементов 13-18 (IIIА–VIIIА) групп Периодической системы. Элементы способны проявлять отрицательные степени окисления. В группах с ростом атомного номера менее характерными становятся высшие степени окисления, более характерными – низшие. Для большинства элементов степени окисления подчиняются сформулированному Д. И. Менделеевым правилу четности: для элементов четных групп наиболее характерны четные степени окисления, а для элементов нечетных групп – нечетные степени окисления. Исключением являются фтор и кислород, не подчиняющиеся правилу четности.

С увеличением порядкового номера *p*-элемента в группе неметаллические свойства ослабевают, а металлические усиливаются.

Элементы второго периода (В, С, N, О, F), как и последующих периодов *p*-элементов, резко различаются по свойствам. Вдоль периода у *p*-элементов снижается способность к образованию положительно заряженных ионов с зарядом, отвечающим номеру группы, а отрицательно заряженных ионов – возрастает.

Химические *p*-элементы второго периода образуют наиболее устойчивые двухатомные молекулы (N₂, О₂, F₂). В группах при движении вниз прочность связи двухатомных молекул уменьшается. Азот, кислород и фтор участвуют в образовании водородных связей.

Вниз по группам *p*-элементов снижается устойчивость максимальной положительной степени окисления и возрастает устойчивость низших степеней окисления.

У *p*-элементов различия в свойствах соседних элементов внутри группы и по периоду выражены значительно сильнее, чем у *s*-элементов. Все элементы образуют многочисленные соединения как между собой, так и с элементами других групп. Поэтому они образуют большинство соединений в природе. Часть этих элементов выполняют существенную биологическую функцию.

Родоначальники групп *p*-элементов (В, С, N, О, F), по сравнению со своими групповыми аналогами, имеют ряд свойств, отличающих их от элементов в своей группе.

Химические элементы *f*-блока образуют две группы: лантаноиды и актиноиды.

Существует несколько классификаций лантаноидов по их электронному строению и свойствам. Целесообразно лантаноиды разделить на две подгруппы: цериевая – а) La, Ce, Pr, Nd; б) Pm, Sm, Eu (Gd); иттриевая – а) Tb, Dy, Ho, Er; б)

Tm, Yb, Lu. Все лантаноиды – серебристо-белые металлы, относительно тугоплавки. Сложным является процесс разделения лантаноидов из-за близости их свойств. Сложность систематики лантаноидов связана с их незначительными химическими различиями в земной коре.

Распространенность лантаноидов в земной коре убывает с увеличением атомного номера, содержание четных лантаноидов выше, чем нечетных. В одном и том же минерале в различных условиях залегания могут присутствовать разные лантаноиды.

Лантаноиды относятся к числу редких рассеянных элементов, но сопутствуют друг другу. Наиболее важными минералами у лантаноидов являются монацит, церит и гадолинит.

Актиноиды. К актиноидам относятся 14 элементов, следующих за актинием и принадлежащих седьмому периоду. Проявляемые актиноидами степени окисления разнообразны. Лучше изучены U, Np, Pu, Am, Cm. Все актиноиды радиоактивны. В природе наиболее часто встречаются U и Th, большая часть актиноидов получена искусственным путем.

Наибольшее различие лантаноидов и актиноидов заключается в устойчивости их ядер – радиоактивности и токсичности. Все актиноиды сильно радиоактивны и являются супертотоксичными. Под действием ионизирующих излучений происходят физические, химические и биологические превращения.

1.9. Геохимические процессы и барьеры

Важнейшими геохимическими особенностями среды являются кислотнo-щелочные и окислительно-восстановительные условия.

Кислотно-щелочные условия характеризуются концентрацией (активностью) ионов водорода в растворах через водородный показатель pH.

Кислые условия (реакция с $pH < 7$) формируются в гумидном климате (лесные зоны, тундра), где много органических кислот. Органические кислоты выделяются корневой системой, образуются в процессе почвообразования (гуминовые и фульвокислоты) и приносят ион водорода. Кислые условия также создаются в отдельных зонах мантии и земной коры.

Щелочные условия (реакция с $pH > 7$) с концентрацией OH^- формируются в аридном климате, где мало органических кислот и много щелочей. Отдельные очаги мантии и земной коры имеют щелочную реакцию.

Нейтральные условия (реакция с $pH = 7$) создаются в зоне степей и саванн, где складывается равновесие между кислыми и щелочными продуктами реакций при непромывном водном режиме (количество испаряющейся воды равно количеству выпадающих осадков).

В зависимости от величины pH некоторые гидроксиды химических элементов осаждаются из разбавленных растворов, т. е. имеют свой интервал осаждения.

Большинство катионогенных элементов образуют наиболее растворимые соединения в кислых, а анионогенные (Cr, Se, Mo, V, Ag, Si и др.) – в щелочных водах. Для Na, K, Cu, Rb, Cs, Sr значение pH влияет не на осаждение, а на их

сорбцию и растворимость солей.

В условиях гумидного климата (зоны тундры и лесные) кислая среда активизирует растворение минеральных соединений, а химические элементы (прежде всего щелочные, щелочноземельные и галогены) выносятся за пределы нижней границы ландшафта.

Щелочная реакция в зонах с аридным климатом создает условия для концентрации химических элементов.

Кислотно-щелочные условия участвуют в формировании не только геохимической зональности, но и геохимических барьеров (кислый, нейтральный, щелочной).

Окислительно-восстановительные процессы протекают с участием электрической энергии. Окислительно-восстановительные потенциалы щелочных (Li, Na, K и др.) и щелочноземельных (Ca, Sr, Ba) металлов имеют наименьшие значения, поэтому они являются наиболее сильными восстановителями, а их ионы не проявляют окислительных свойств в растворах.

Окислительно-восстановительные условия (Eh). Окисление происходит, когда атом отдает электрон, поэтому такие химические элементы называются восстановителями (например, Fe^{2+}). Присоединение атомом электрона характеризует восстановление, а химический элемент является окислителем (Fe^{3+}). Один и тот же химический элемент с переменной валентностью может быть как окислителем (Fe^{3+}), так и восстановителем (Fe^{2+}). Окисление и восстановление приводят к изменению величины заряда иона и изменению его способности к миграции или концентрации. Окисление приводит к концентрации солей тяжелых металлов и легколетучих элементов (H, N, S).

Важнейшими окислителями в природе являются O, F, SO_4^{2-} , NO_3^- , Fe^{3+} , Mn^{4+} , важнейшими восстановителями – H_2 , H_2S , Fe^{2+} , Mn^{2+} , органические соединения. Реакции окисления и восстановления протекают одновременно, однако в геохимии отдельно выделяют окислительную и восстановительную обстановки. Их определяют количественно по величине Eh (окислительно-восстановительный потенциал).

Морфологическим индикатором окислительной обстановки является красный цвет породы и его оттенки до бурого. Этот цвет образуют соединения окисленного железа (III). Восстановительную обстановку характеризует сизый (зелено-голубой) цвет породы, который образуют соединения восстановленного железа (II) из-за недостатка кислорода. Окисление приводит к осаждению химических элементов с переменной валентностью, а восстановление – к их миграции. Исключение из правила составляют V, Cr, Mo, которые, наоборот, мигрируют при окислении. Во влажных природных зонах преобладает восстановление, в сухих – окисление.

А. И. Перельманом выделены окислительно-восстановительные условия, которые влияют на формирование геохимических обстановок: окислительной, восстановительно-глеевой и восстановительно-глеевой сероводородной. В основу их положено поведение кислорода, железа и сероводорода. Геохимические обстановки могут чередоваться по вертикальному профилю. Они формируют соответствующие геохимические барьеры по осаждению химических элементов:

окислительный, восстановительно-глеевый и восстановительно-глеевый сероводородный.

По сочетанию кислотно-щелочных и окислительно-восстановительных условий и наличию типоморфных элементов (геохимических диктаторов) А. И. Перельман выделил классы водной миграции элементов.

Водородный показатель воды и растворов. Кислотно-щелочные условия (рН) и их влияние на миграцию элементов. Закономерности изменения кислотно-щелочных условий по природным зонам и связь их с миграцией элементов.

Основы электрохимических процессов. Равновесный электродный потенциал металла. Ряд напряжений металлов. Реакции окисления-восстановления. Окислительно-восстановительный потенциал. Эквивалент вещества в реакциях окисления-восстановления. Формирование окислительно-восстановительных условий и их виды. Миграционная способность соединений в зависимости от величины E_h и по природным зонам.

По классу водной миграции можно устанавливать миграцию, концентрацию или рассеяние других элементов в зависимости от их внутренних свойств и действующих внешних факторов в различных геосферах и природных зонах.

Кислотно-щелочные и окислительно-восстановительные условия примечательны в геохимии и геологии тем что их сочетания устанавливают поля устойчивости минералов, т. е. влияют на образование тех или иных минералов.

Геохимический процесс – это физико-химические природные реакции, в результате которых распределяются атомы и соединения в пространстве и во времени ради достижения равновесия, характерного для данных гидротермических условий земной среды.

Геохимические процессы протекают в определенных кислотно-щелочных и окислительно-восстановительных условиях.

Одни процессы характерны для гипогенных условий, другие – для зоны гипергенеза (ландшафтных условий), третьи протекают во всех геосферах.

Зону поверхностных изменений в земной коре – биосферу – А. Е. Ферсман назвал зоной гипергенеза. В зоне гипергенеза выделяют геохимические процессы, воздействующие в целом на определенную систему.

Научное понятие «геохимический барьер» ввели В. Крумбайн и Р. Гаррельс в 1952 г. Учение о геохимических барьерах в дальнейшем разрабатывал А. И. Перельман. Формирование барьеров связано с изменениями физико-химических условий, в которых многие элементы теряют свою подвижность за счет образования труднорастворимых соединений. Формирующиеся новообразования влияют на ландшафтно-геохимическую среду и протекающие в ней процессы, в значительной мере определяя ее эволюцию.

Развивающиеся во времени почвенно-геохимические барьеры занимают в ландшафте определенное пространство в соответствии с рельефом, пестротой почвообразующих пород и другими факторами почвообразования. Картографирование площадных проявлений барьеров, характеризующих тенденции разви-

тия аккумулятивно направленных процессов в ландшафтах, отражает эволюционные изменения их вещественного состояния.

1.10. Водная миграция элементов

Вода является универсальным растворителем и самой важной средой для миграции химических элементов.

Химический состав природной воды зависит от ее происхождения, а также растворимости и состава дренируемых пород.

Растворенное органическое вещество сильно влияет на геохимию вод.

Минерализация воды, агрессивность, химический состав, органическое вещество, температура, давление, рН и Eh, другие свойства воды – мощные геохимические факторы миграции химических элементов в ландшафте.

Вода является универсальным растворителем и самой важной средой для миграции химических элементов.

Химический состав природной воды зависит от ее происхождения, а также растворимости и состава дренируемых пород.

Растворенное органическое вещество сильно влияет на геохимию вод.

Минерализация воды, агрессивность, химический состав, органическое вещество, температура, давление, рН и Eh, другие свойства воды – мощные геохимические факторы миграции химических элементов в ландшафте.

Классификация вод по степени минерализации.

Ультрапресными (< 200 мг/л), как правило, бывают атмосферные осадки, поверхностные воды тундры, влажных тропических и экваториальных лесов, некоторых районов северной тайги.

Пресные воды (0,2-1 г/л) характерны для южной и средней тайги, широколиственных лесов, лесостепи, степей, высокотравных саванн.

Солоноватые, соленые воды и рассолы типичны для ландшафтов с аридным климатом, для вод морей и океанов.

По содержанию преобладающих анионов природные воды делятся на три класса: гидрокарбонатные, сульфатные, хлоридные. По преобладающему катиону каждый из указанных выше классов делится на три группы: кальциевые, магниевые, натриевые воды.

Жесткость воды определяется по сумме ионов кальция и магния.

Агрессивность воды – способность растворять породы, строительные материалы.

В природных водах химические элементы и их соединения мигрируют в ионной, коллоидной, взвешенной (суспензии органических, неорганических и органо-минеральных веществ), газообразной формах, а также с живыми организмами (растения, животные, бактерии, водоросли).

1.11. Биогенная миграция элементов

Биосфера представляет собой древнюю, сложную, многокомпонентную, общепланетарную, термодинамически открытую, саморегулирующуюся

систему живого вещества и неживой природы, которая накапливает и перераспределяет огромные ресурсы энергии, химических элементов и определяет состав и динамику земной поверхности, атмосферы и гидросферы.

Начало биогенной миграции связано с возникновением жизни на Земле. В биосферу входит живое, биогенное (отмершие организмы) и биокосное (продукты взаимодействия живых организмов и неживой природы) вещество.

Основная масса органического вещества растений создается путем фотосинтеза с участием хлорофилла и солнечного света.

Синтез органического вещества протекает также с участием бактерий, которые используют энергию, выделяемую при окислении некоторых неорганических веществ. Такой процесс создания органического вещества называют хемосинтезом.

Бактерии-хемосинтетики являются типичными автотрофами, т. е. самостоятельно синтезируют из неорганических веществ необходимые органические соединения.

Важнейшую группу хемосинтезирующих микроорганизмов составляют нитрифицирующие бактерии. Они окисляют аммиак, образующийся при гниении органических остатков, до азотной кислоты.

К хемосинтезирующим относятся нитрифицирующие, серо-, железо-, метанобактерии и др.

Биологический круговорот (сокращенно бик) – это два противоположных и взаимообусловленных процесса: образование (анаболизм) и разрушение (катаболизм) органического вещества.

Особенности миграции химических элементов с участием растительных организмов выявляются через количественные показатели. Различают емкость, скорость и интенсивность биологического круговорота.

Скорость биологического круговорота характеризуют два показателя: прирост и опад (вес на единицу площади).

Емкость определяется количеством биомассы, ее структурой, количеством ежегодно вовлекаемых в круговорот химических элементов. Следует различать биомассу – общий вес растительных и животных организмов на единицу площади – и фитомассу – общий вес растительных организмов на единицу площади.

От арктического пояса к экваториальному для ландшафтов с влажным климатом биомасса и емкость возрастают, а для ландшафтов с сухим климатом – уменьшаются.

Интенсивность биологического круговорота характеризуется отношением массы подстилки (полуразложившегося опада прошлых лет) к массе ежегодного опада (зеленая часть, ветки).

Чем выше величина этого показателя, тем слабее интенсивность биологического круговорота. Величина интенсивности бика в основном соответствует количеству лет, необходимых для минерализации ежегодного опада.

1.12. Атмосферная миграция элементов

Геохимическая роль газов определяется их высокой подвижностью и физико-химическим состоянием. Происхождение состава современной атмосферы в основном обязано биогенной миграции, частично вулканической деятельности.

В тропосфере ведущую роль играют физико-химические и механические процессы, круговорот воды и движение воздушных масс. В стратосфере и мезосфере существенная роль в диссоциации газов принадлежит космическим лучам, солнечной радиации и фотохимическим реакциям. В ионосфере протекают различные ядерные реакции, в том числе образование трития. На высоте 20 тыс. км установлены крайне разреженные ионизированные газы.

Атмосфера является транзитной системой для переноса влаги, примесей в атмосфере, микробов, вирусов, насекомых и птиц.

К числу основных элементов, которые являются газообразными или могут давать газообразные соединения, относятся Н, О, N, С, F, S, Р, Cl, В, а также Ne, Ar, Ne, Kr, Хе. Основная масса газообразных соединений сосредоточена в атмосфере. Газы, содержащиеся в водах, породах, почвах, живых организмах, по составу, количеству и соотношению отличаются от атмосферных газов.

На химический состав газов атмосферы влияет вулканическая деятельность, которая на первых стадиях развития Земли была наиболее активной. Глубинные газы Земли, выходя на поверхность, в большинстве случаев подвергаются трансформации и переходят в другие соединения. Преобладающий среди вулканических газов водяной пар конденсируется с образованием воды. Углекислый газ трансформируется в процессе фотосинтеза, растворения в воде и участвует в образовании известняков, доломитов.

Газообразные компоненты атмосферы имеют различную продолжительность существования.

Активным источником поступления газообразных соединений в атмосферу в современный период является техногенная деятельность человека. Состав выделяемых газов и их количественное соотношение значительно отличаются от газов природного происхождения.

Почвенные газы заполняют свободные пустоты между частицами почвы. Источниками почвенного газа являются атмосфера, биохимические процессы в почвах, поступление газа по порам из глубинных недр.

Классификацию природных газов с учетом морфологии, химического состава и истории предложил впервые В. И. Вернадский в 1934 г.

Примеси атмосферы, их распределение, перенос и отложение зависят от гидротермических условий, скорости и направления ветра, близости открытых водных масс и их состава.

В атмосфере значительный удельный вес занимают аэрозоли, которые рассматриваются как диспергированное вещество. Они образуются в результате механического попадания в атмосферу земной и космической пыли, брызг воды, различных веществ в парообразном состоянии при извержении вулканов, дыма во время лесных пожаров, а также под влиянием химических и фотохимических реакций и хозяйственной деятельности человека.

Общая циркуляция атмосферы способствует переносу химических элемен-

тов на сотни и тысячи километров. В данном случае понятие зональности отсутствует, но следует различать закономерности переноса и отложения различных соединений в соответствии с господствующим направлением движения воздушных масс для той или иной территории, а также суточным, сезонным, годовым и многолетним режимом скорости, направления ветра и степенью увлажнения.

1.13. Техногенная миграция элементов

Техногенная миграция – процесс концентрации, рассеяния и перемещения атомов под воздействием геохимической деятельности человека.

С техногенной миграцией тесно связаны понятия «техногенез», «техногенный ландшафт». Термин «техногенез» предложил А. Е. Ферсман в 1955 г. Это понятие охватывает совокупность химических и технических процессов, вызванных хозяйственной деятельностью человека. Геохимический аспект техногенеза проявляется в извлечении химических элементов из природной среды с их последующей перегруппировкой, в создании новых искусственных соединений, ускорении их круговорота.

Под влиянием хозяйственной деятельности человека природный ландшафт трансформируется в техногенный, именуемый в физической географии антропогенным ландшафтом. Под техногенным ландшафтом понимают относительно однородный территориальный комплекс, сформированный на основе природного ландшафта, компоненты которого прямо или косвенно в разной степени трансформированы в результате производственно-хозяйственной и рекреационной деятельности человека.

Добыча полезных ископаемых превратилась в глобальное явление, создала условия для образования некоторых химических соединений, не свойственных природе (пестициды, полимеры, разнообразные полезные и токсические органические и минеральные соединения).

Один из результатов техногенеза – синтез органических соединений. Рост промышленности органического синтеза постоянно увеличивает опасность загрязнения ландшафта токсическими соединениями.

Техногенная миграция и атмосфера. Живые организмы постоянно соприкасаются с атмосферой – одной из жизненно важных сред. В ней наблюдается активный приток и перенос техногенных газов и соединений. Очагами загрязнения атмосферы являются продукты жизнедеятельности населения городов, промышленные и горнодобывающие предприятия, автотранспорт, в меньшей степени животноводческие фермы. Концентрация загрязняющих атмосферу газов и соединений неодинакова во времени и пространстве. Она зависит от совершенства технологических процессов, концентрации промышленных предприятий и погодных условий. Для оценки степени загрязнения атмосферы техногенными мигрантами используют пороговые, или предельно допустимые, концентрации (ПДК) химических элементов и соединений.

Техногенная миграция и гидросфера. Деятельность человека непрерывно влияет на состав природных вод, темп этих изменений постоянно возрастает. Из-

меняются гидрогеологические процессы, режим подземных вод путем их извлечения на поверхность. По мере расширения промышленного производства отмечается увеличение объема промышленного стока. Химические соединения сточных вод промышленных и коммунально-бытовых предприятий изменяют физические и органолептические свойства речных вод, которые иногда становятся токсичными.

Техногенез и педосфера. Техногенная миграция химических элементов в почве осуществляется под влиянием как целенаправленной, так и случайной деятельности человека. В почву планомерно вносятся минеральные удобрения, биоциды, структурообразователи. Основные компоненты минеральных удобрений – азот, фосфор, калий. Загрязнение почвы происходит поступающими хозяйственно-бытовыми и промышленными сточными водами, твердыми отходами, аэрозолями, газами и т. д. Самоочищение почвы от вредных веществ происходит значительно медленнее, чем атмосферы и вод.

Техногенез и живые организмы. В живые организмы тяжелые металлы, радионуклиды и различные соединения техногенной природы поступают из почвы, с питьевой водой и воздушным путем. Живые организмы являются индикаторами, позволяющими судить о предельных концентрациях химических элементов в компонентах ландшафта. Диагностика проводится путем измерения биометрических, морфометрических и фенологических показателей. Положительные результаты дает визуальная и химическая диагностика. При избытке или недостатке питательных элементов и при избытке тяжелых металлов происходит изменение морфо-физиологических показателей (отклонение от стандарта в большую или меньшую сторону, изменение окраски и др.). Изучение и сравнение химического состава растений, животных и человека в различных природных условиях дали возможность выделить районы с избытком или недостатком химических элементов, где это привело к развитию заболеваний, вызванных геохимическим фактором.

Техногенная, как и природная, миграция химических элементов протекает неодинаково в различных физико-географических условиях. В одних регионах химические элементы постепенно выносятся, в других – накапливаются. Формируются техногенные, природные или природно-техногенные геохимические аномалии.

Техногенная концентрация химических элементов постепенно приводит к рассеиванию их в окружающей среде, местами к концентрации. Они вовлекаются в биологический круговорот, изменяют его средние показатели, накладываются на фон или естественные геохимические аномалии и создают новые техногенные аномалии. В настоящее время известны техногенные аномалии, вызванные избыточной концентрацией Hg, Pb, Cd и других токсических элементов.

Под влиянием техногенных процессов в компонентах ландшафта накапливается ряд токсических элементов, что приводит к сложным биогеохимическим эндемиям со специфическими заболеваниями. Они обычно связаны с определенной территорией, называемой биогеохимической провинцией.

В техногенном ландшафте вещества иногда находятся в несвойственном

природе состоянии или приобретают новые качества, вследствие чего для характеристики миграции химических элементов возникает необходимость использовать новые оценочные коэффициенты и показатели. Для этой цели используются коэффициенты технофильности, биофильности и деструкционной активности элемента.

1.14. Геохимические особенности Беларуси

Ландшафты хвойно-лиственных лесов Беларуси относятся к зоне достаточного увлажнения, поэтому водная миграция химических элементов имеет определяющее значение. Преобладающая кислая реакция среды и промывной водный режим создают предпосылки для гидролиза минералов и органических веществ и миграции химических элементов в ионной, коллоидной и суспензионной форме. Геохимические барьеры (механический, биологический, окислительный, восстановительный и др.) задерживают миграцию элементов, способствуя концентрации и синтезу устойчивых минеральных и органических веществ.

Беларусь относится к региону с активным выносом почвенно-грунтовых и поверхностных вод. Максимального уровня водная миграция элементов достигает в период паводков, половодий в весенне-летне-осенний период. Водная миграция химических элементов приводит их к выносу вниз по профилю почв и аккумуляции в иллювиальном горизонте и коре выветривания. Осушение заболоченных почв привело к расширению ландшафтов с окислительной обстановкой, что послужило причиной замедления миграции железа, марганца, а также активизировало перемещение кальция, магния, хлора, калия и азота.

Из агроценозов ежегодно отчуждается с урожаем больше химических элементов, чем задерживается в почве в виде пожнивных осадков и корней. Биологическая аккумуляция химических элементов в ландшафтах противостоит водной миграции.

В ландшафтах Беларуси, особенно Полесья, дефицитными в рационе питания населения являются F, I, Se, Co, избыточно поступление с водой Fe.

Химический состав атмосферы близок к норме, исключения составляют зоны промышленных предприятий. Примеси в атмосфере непостоянны. Самоочищение атмосферы достигается западным переносом влажных воздушных масс, а также выпадением осадков и геохимическим взаимодействием газов.

В промышленных районах основным источником концентрации и рассеяния химических элементов является жидкое, твердое и газообразное топливо, техническая пыль.

Полный курс лекций приведен в пособии:

Чертко Н.К. Геохимия [Электронный ресурс] / Н.К. Чертко. – Минск: БГУ, 2016. – 295 с. – Режим доступа: <https://elib.bsu.by/handle/123456789/163179> – Дата доступа 17.02.2022.

Презентации лекций по дисциплине «Геохимия» доступны на сайте факультета географии и геоинформатики БГУ <https://geo.bsu.by/index.php/departments/soil-science/present.html>.

2. ПРАКТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

Лабораторные работы

Тема 1. Кларки горных пород

Форма выполнения работы: расчет кларков концентрации и рассеяния химических элементов по отношению к кларкам в земной коре, составление геохимических индексов, построение графиков геохимических спектров горных пород, анализ полученных материалов.

При выполнении данной работы в качестве исходных данных используются данные о среднем содержании химических элементов в горных породах разного происхождения и состава, а также кларки этих элементов в литосфере.

Цель работы: раскрыть закономерности концентрации химических элементов в горных породах разного генезиса.

Методика выполнения работы приведена в учебно-методическом пособии:

Ковальчик, Н.В. Распространенность и виды миграции химических элементов. Практикум по геохимии: учеб.-метод. пособие / Н.В. Ковальчик, Л.И. Смыкович, А.А. Карпиченко. – Минск: БГУ, 2017. – 111 с. – Режим доступа: <https://elib.bsu.by/handle/123456789/185861> – Дата доступа 17.02.2022.

Тема 2. Кларки почв

Форма выполнения работы: расчет кларков концентрации и рассеяния химических элементов по отношению к кларкам почв мира, составление геохимических индексов для почв различных иерархических уровней, построение графиков геохимических спектров почв Беларуси, составление краткой сравнительной характеристики распределения химических элементов.

При выполнении данной работы в качестве исходных данных используются данные о среднем содержании 15 химических элементов в почвах Беларуси и почвах, наиболее распространенных в пределах водосборных бассейнов р. Припять, Днепр, Неман, Западная Двина, а также кларки этих элементов в почвах мира.

Цель работы: раскрыть закономерности концентрации химических элементов в почвах Беларуси на различных иерархических уровнях.

Методика выполнения работы приведена в учебно-методическом пособии:

Ковальчик, Н.В. Распространенность и виды миграции химических элементов. Практикум по геохимии: учеб.-метод. пособие / Н.В. Ковальчик, Л.И. Смыкович, А.А. Карпиченко. – Минск: БГУ, 2017. – 111 с. – Режим доступа: <https://elib.bsu.by/handle/123456789/185861> – Дата доступа 17.02.2022.

Тема 3. Показатели водной миграции

Форма выполнения работы: расчет содержания ионов в солевом составе вод в мг-экв/дм³, составление формулы Курлова, определение химического состава

вод, построение солевой профиля, отражающего изменение ионного состава речных вод по направлению их течения, расчет коэффициент интенсивности водной миграции для химических элементов (Ca, Mg, Na, Cl), сравнительный анализ речных вод выше и ниже по потоку по показателям: минерализация, химический состав речных вод, интенсивность водной миграции элементов.

При выполнении данной работы в качестве исходных данных используются данные о минерализации и химическом составе атмосферных осадков и речных вод в сопряженных ландшафтах на территории Беларуси.

Цель работы: проанализировать изменение гидрохимической характеристики речных вод по направлению их течения: 1) изменение минерализации и химического состава, 2) изменение интенсивности водной миграции элементов.

Методика выполнения работы приведена в учебно-методическом пособии:

Ковальчик, Н.В. Распространенность и виды миграции химических элементов. Практикум по геохимии: учеб.-метод. пособие / Н.В. Ковальчик, Л.И. Смыкович, А.А. Карпиченко. – Минск: БГУ, 2017. – 111 с. – Режим доступа: <https://elib.bsu.by/handle/123456789/185861> – Дата доступа 17.02.2022.

Тема 4. Показатели биогенной миграции

Форма выполнения работы: расчет коэффициенты биологического поглощения элементов (КБП) для четырех видов растений, построение рядов биологического поглощения для четырех исследуемых видов растений, произрастающих на территории Беларуси, определение биогеохимической активности (БХА) вида растений, распределение химических элементы согласно величине их КБП по соответствующим группам биологического накопления или захвата, анализ полученных данных, включающий сравнение исследуемых видов растений по показателям БХА и КБП, сопоставление рядов биологического поглощения, сравнение с интенсивности поглощения с растительностью Земли.

При выполнении данной работы в качестве исходных данных используются данные о среднем содержании микроэлементов в растениях и почвах Беларуси, а также ряды интенсивности биологического поглощения химических элементов растениями суши Земли.

Цель работы: проанализировать интенсивность биологического поглощения микроэлементов растениями. Выявить видовые особенности накопления элементов растениями, а также сопоставить полученные результаты со средними данными о поглощении элементов растениями суши Земли.

Методика выполнения работы приведена в учебно-методическом пособии:

Ковальчик, Н.В. Распространенность и виды миграции химических элементов. Практикум по геохимии: учеб.-метод. пособие / Н.В. Ковальчик, Л.И. Смыкович, А.А. Карпиченко. – Минск: БГУ, 2017. – 111 с. – Режим доступа: <https://elib.bsu.by/handle/123456789/185861> – Дата доступа 17.02.2022.

Тема 5. Показатели техногенной миграции

Форма выполнения работы: расчет коэффициентов содержания элементов, определение уровня загрязнения почв отдельными элементами по отношению к предельно (ориентировочно) допустимым концентрациям, определение ассоциации элементов, накапливающихся в анализируемых почвах, расчет суммарного показателя загрязнения почв, сопоставление почв, загрязненные коммунальными и промышленными отходами, по уровню загрязнения и составу ассоциации элементов-загрязнителей, выявления наиболее опасных элементов-загрязнителей, исходя из класса опасности и уровня превышения ПДК (ОДК).

При выполнении данной работы в качестве исходных данных используются данные о содержании микроэлементов в почвах зон влияния полигонов промышленных и коммунальных отходов.

Цель работы: проанализировать уровень накопления микроэлементов в почвах зон влияния полигонов отходов. Сравнить исследуемые почвы по количественным показателям загрязнения и составу ассоциации элементов-загрязнителей.

Методика выполнения работы приведена в учебно-методическом пособии:

Ковальчик, Н.В. Распространенность и виды миграции химических элементов. Практикум по геохимии: учеб.-метод. пособие / Н.В. Ковальчик, Л.И. Смыкович, А.А. Карпиченко. – Минск: БГУ, 2017. – 111 с. – Режим доступа: <https://elib.bsu.by/handle/123456789/185861> – Дата доступа 17.02.2022.

Тема 6. Ландшафтно-геохимическая структура территории

Форма выполнения работы: расчет коэффициентов радиальной дифференциации элементов, построение геохимических диаграмм, отражающих распределение анализируемых элементов в вертикальном профиле почв, расчет коэффициентов латеральной миграции элементов в почвах геохимического сопряжения (катены), построение геохимических диаграмм, отражающих распределение анализируемых элементов в верхнем горизонте почв сопряженных ландшафтов, анализ свойства почв, влияющих на миграционную активность элементов, выявление особенностей радиальной дифференциации элементов в почве автономного ландшафта, латеральной миграции элементов в почвах сопряженного ряда элементарных ландшафтов.

При выполнении данной работы в качестве исходных данных используются данные о свойствах и содержании микроэлементов в почвах Беларуси.

Цель работы: выявить особенности радиальной и латеральной дифференциации элементов в почвах Беларуси.

Методика выполнения работы приведена в учебно-методическом пособии:

Ковальчик, Н.В. Распространенность и виды миграции химических элементов. Практикум по геохимии: учеб.-метод. пособие / Н.В. Ковальчик, Л.И. Смыкович, А.А. Карпиченко. – Минск: БГУ, 2017. – 111 с. – Режим доступа: <https://elib.bsu.by/handle/123456789/185861> – Дата доступа 17.02.2022.

Тема 7. Геохимические методы исследований

Форма выполнения работы: изучение методик проведения различных видов геохимических анализов (атомно-эмиссионный, пламенная фотометрия, атомно-абсорбционный, рентгеноспектральный, рентгеноструктурный, флуоресцентный, хроматографический, полярографический и др.), изучение методик пробоподготовки.

Цель работы: изучить современные физические и физико-химические методы определения содержания и состояния химических элементов в минеральном, жидком, газообразном и живом веществе.

Методика выполнения работы приведена в учебно-методическом пособии:

Ковальчик, Н.В. Распространенность и виды миграции химических элементов. Практикум по геохимии: учеб.-метод. пособие / Н.В. Ковальчик, Л.И. Смыкович, А.А. Карпиченко. – Минск: БГУ, 2017. – 111 с. – Режим доступа: <https://elib.bsu.by/handle/123456789/185861> – Дата доступа 17.02.2022.

3. РАЗДЕЛ КОНТРОЛЯ ЗНАНИЙ

3.1. Вопросы к экзамену по дисциплине

1. История развития геохимии.
2. Прикладные аспекты геохимии.
3. Основные законы химии и геохимии.
4. Периодический закон Д.И. Менделеева и геохимический закон Гольдшмидта.
5. Образование звезд и космических объектов.
6. Изотопы и их использование. Радиоактивность элементов.
7. Происхождение химических элементов.
8. Геохимическая классификация элементов.
9. Химический состав космических объектов.
10. Связь кларка с геохимией элементов.
11. Химический состав Земли и ее оболочек.
12. Химический состав магматических пород.
13. Химический состав метаморфических пород.
14. Химический состав осадочных пород.
15. Периодическая система и внутренние факторы миграции элементов.
16. Ионный потенциал и особенности миграции оксидов.
17. Электроотрицательность элементов, электронное сродство и энергия ионизации атомов.
18. Валентность. Степень окисления. Координационное число.
19. Виды химических связей.
20. Основы электрохимических процессов.
21. Внешние факторы миграции элементов.
22. Неорганические соединения в природе и их классификация.
23. Природа органических соединений.
24. Углеводороды в природе и их назначение.
25. Кислородсодержащие органические соединения и их назначение.
26. Азотсодержащие органические соединения и их назначение.
27. Химия органического синтеза.
28. Геохимия и экология элементов 1 группы (Li, Na, K, Rb, Cs, Fr).
29. Геохимия и экология элементов 2 группы (Be, Mg, Ca, Sr, Ba, Ra).
30. Геохимия и экология элементов 3 группы (Sc, Y, La, Ac).
31. Геохимия и экология элементов 4 группы (Ti, Zr, Hf).
32. Геохимия и экология элементов 5 группы (V, Nb, Ta).
33. Геохимия и экология элементов 6 группы (Cr, Mo, W).
34. Геохимия и экология элементов 7 группы (Mn, Tc, Re).
35. Геохимия и экология элементов 8, 9, 10 групп (Fe, Co, Ni, платиноиды).
36. Геохимия и экология элементов 11 группы (Cu, Ag, Au).
37. Геохимия и экология элементов 12 группы (Zn, Cd, Hg).
38. Геохимия и экология элементов 13 группы (B, Al, Ga, In, Tl).

39. Геохимия и экология элементов 14 группы (C, Si, Ge, Sn, Pb).
40. Геохимия и экология элементов 15 группы (N, P, As, Sb, Bi).
41. Геохимия и экология элементов 16 группы (O, S, Se, Te, Po).
42. Геохимия и экология элементов 17 группы (F, Cl, Br, I, At).
43. Геохимия и экология элементов 18 группы (He, Ne, Ar, Kr, Xe, Rn).
44. Свойства химических элементов *f*-блока.
45. Элементарные ландшафты и их виды. Геохимический ландшафт.
46. Влияние pH на миграцию химических элементов.
47. Влияние Eh на миграцию химических элементов.
48. Методы определения химических элементов.
49. Сорбция и ее роль в природе.
50. Гидролиз и гидратация, и их роль в природе.
51. Метасоматоз и химическая денудация, и их роль в природе.
52. Изоморфизм и его влияние на изменение химического состава минералов.
53. Фотолиз и радиолиз, и их проявление в природе.
54. Геохимическая деятельность воды и ее результаты.
55. Восстановительно-глеевая обстановка и миграция элементов.
56. Окислительная обстановка и миграция элементов.
57. Классы водной миграции.
58. Ведущие классы водной миграции по природным зонам.
59. Геохимические барьеры и их роль в самоочищении ландшафтов.
60. Изменение химического состава воды по природным зонам.
61. Критерии оценки биологического круговорота в природе.
62. Изменение интенсивности биологического круговорота по природным зонам.
63. Изменение зольности растений по природным зонам.
64. Изменение химического состава растительности по природным зонам.
65. Химия техногенной миграции элементов.
66. Изменение химического состава земной коры по природным зонам.
67. Поля устойчивости минералов.
68. Биогеохимические эндемии. Условия их формирования.
69. Геохимическая характеристика Беларуси.
70. Оценка водной миграции химических элементов.
71. Оценка биогенной миграции химических элементов.
72. Оценка техногенной миграции химических элементов.

3.2. Организация самостоятельной работы

Самостоятельная работа ведется на основании Положения о самостоятельной работе студентов (курсантов, слушателей), утвержденном Министерством образования Республики Беларусь от 06 апреля 2015 г.

По изучаемой дисциплине планируется:

- выполнение творческих, исследовательских заданий;
- работа с литературными источниками, в том числе с научными статьями;

- изучение тем и проблем, не рассмотренных в лекционном курсе;
- научные доклады;
- написание тематических докладов и эссе на проблемные темы.

Перечень рекомендуемых средств диагностики

- коллоквиумы;
- электронные тесты;
- проверка расчетно-графических работ;
- оценивание на основе модульно-рейтинговой системы;
- оценивание на основе проектного метода.

Методика формирования итоговой оценки

Итоговая оценка формируется на основе 3-х документов:

1. Правила проведения аттестации (Постановление № 53 от 29 мая 2012 г.);
2. Положение о рейтинговой системе БГУ;
3. Критерии оценки студентов (10 баллов).

4. ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЙ РАЗДЕЛ

4.1. Рекомендуемая литература

Основная

1. Ковальчик, Н.В. Распространенность и виды миграции химических элементов. Практикум по геохимии: учеб.-метод. пособие / Н.В. Ковальчик, Л.И. Смыкович, А.А. Карпиченко. – Минск: БГУ, 2017. – 111 с.
2. Чертко Н.К. Геохимия / Н.К. Чертко. – Минск: БГУ, 2016. – 295 с.
3. Чертко, Н.К. Геохимия в схемах: [Электронный ресурс]. – Минск: БГУ, 2017. – Режим доступа: <https://elib.bsu.by/handle/123456789/193272> – Дата доступа 17.02.2022.

Дополнительная

4. Алексеенко, В.А. Геохимия окружающей среды: учеб. пособие для вузов / В.А. Алексеенко, С.А. Бузмаков, М.С. Панин. – Пермь: Перм. гос. нац. иссл. ун-т. – 2013. – 359 с.
5. Алексеенко, В.А. Основы экологической геохимии: термины, понятия, законы: учебник и практикум для бакалавриата и магистратуры / В.А. Алексеенко, Т.В. Жуйкова, Н.В. Швыдка. – Нижний Тагил, 2019. – 336 с.
6. Арбузов, С.И. Геохимия радиоактивных элементов: учебное пособие для вузов / С.И. Арбузов, Л.П. Рихванов. – Томск: Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 2009. – 300 с.
7. Буланов, В.А. Геохимические методы поисков месторождений полезных ископаемых / В.А. Буланов, С.А. Сасим. – М., 2021. – 165 с.
8. Геохимия ландшафта: учеб. пособие / Н.К. Чертко, Н.В. Ковальчик, В.С. Хомич, А.А. Карпиченко, П.В. Жумарь, Т.А. Тимофеева; под ред. Н.К. Чертко. – 2-е изд., перераб. и доп. – Минск: БГУ, 2011. – 303 с.
9. Глазовская, М.А. Геохимия природных и техногенных ландшафтов: (ландшафтно-геохимические процессы) / М.А. Глазовская. – Москва: Географический факультет МГУ, 2007. – 350 с.
10. Городская среда: геоэкологические аспекты / В.С. Хомич [и др.]. – Минск: Беларуская навука, 2013. – 281 с.
11. Карпиченко, А.А. Геохимическая оценка почв и растительности г. Молодечно / А.А. Карпиченко, Н.К. Чертко, А.С. Семенюк // Журн. Белорус. гос. ун-та. География. Геология. – 2018. – № 1. – С. 21–29.
12. Карпиченко, А.А. Геохимическая структура основных родов ландшафтов Беларуси / А.А. Карпиченко // Вестник БГУ. Сер. 2, Химия. Биология. География. – 2010. – № 2. – С. 83-86.
13. Матвеев, А.В., Геохимия четвертичных отложений Беларуси / А.В. Матвеев, В.Е. Бордон. – Минск: Беларус. навука, 2013. – 191 с.
14. Махнач, А.А. Геохимия стабильных изотопов в платформенном чехле Беларуси / А.А. Махнач, Н.А. Махнач, Б.Г. Покровский. – Минск: Беларуская навука, 2022. – 373 с.

15. Мычко Д.И. Основы геохимии. Неорганическая химия: Учеб.-метод. комплекс / Д.И. Мычко. – Минск: БГУ, 2004.– 244 с.

16. Перельман А.И. Геохимия ландшафта / А.И. Перельман, Н.С. Касимов. – М.: Астрей-2000, 1999.

17. Чертко, Н.К. Теория, методика и практика геохимических исследований урболандшафтов / Н.К. Чертко, А.А. Карпиченко // Вестник БГУ. Сер. 2, Химия. Биология. География. – 2016. – № 3. – С. 129–132.

4.2. Электронные ресурсы

1. Мониторинг атмосферного воздуха в Республике Беларусь [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.nsmos.by/content/173.html>. – Дата доступа 17.02.2022.

2. Мониторинг земель в Республике Беларусь [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.nsmos.by/content/164.html>. – Дата доступа 17.02.2022.

3. Образовательный портал БГУ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://edugeo.bsu.by>. – Дата доступа 17.02.2022.

4. Электронная библиотека БГУ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://elib.bsu.by>. – Дата доступа 17.02.2022.

4.3. Учебно-методическая карта по учебной дисциплине

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов					Количество часов УСР	Форма контроля знаний
		Лекции	Практические занятия	Семинарские занятия	Лабораторные занятия	Иное		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Общие закономерности геохимии элементов	26			10			
1.1.	История развития. Прикладные аспекты геохимии. Основные законы химической природы	4						Тест
1.2	Происхождение химических элементов. Химический состав Вселенной	4			4			Проверка РГР
1.3	Факторы и условия миграции элементов	4						Тест
1.4	Неорганические соединения в природе (минералы)	2						Тест
1.5	Органические соединения в природе	2						Тест
1.6	Химические элементы s-блока	2			2			Опрос
1.7	Химические элементы d-блока	4			2			Опрос
1.8	Химические элементы p- и f-блока	4			2			Опрос
2	Виды миграции химических элементов	14			12			
2.1	Геохимические процессы и барьеры	4			2			Проверка РГР
2.2	Водная миграция элементов	2			4			Проверка РГР

2.3	Биогенная миграция элементов	2			2			Проверка РГР
2.4	Атмосферная миграция элементов	2						Опрос
2.5	Техногенная миграция элементов	2			2			Проверка РГР
2.6	Геохимические особенности Беларуси	2			2			Проверка РГР