

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ АКАДЕМИКА С.П. КОРОЛЕВА»
(САМАРСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)

Н. В. ПРОХОРОВА, Ю. В. МАКАРОВА

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БИОГЕОХИМИЯ. РЕГИОНАЛЬНЫЕ АСПЕКТЫ

Рекомендовано редакционно-издательским советом федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева» в качестве практикума для обучающихся по основным образовательным программам высшего образования по направлениям подготовки 06.03.01, 06.04.01 Биология

САМАРА
Издательство Самарского университета
2025

УДК 550.47:502(075)
ББК Д887я7+Е080я7
П844

Рецензенты: д-р биол. наук, проф. А. Н. И н ю ш к и н,
д-р с.-х. наук, проф. Н. М. Т р о ц

Прохорова, Наталья Владимировна

П844 **Экологическая биогеохимия. Региональные аспекты:** практикум / *Н. В. Прохорова, Ю. В. Макарова.* – Самара: Издательство Самарского университета, 2025. – 100 с.: ил.

ISBN 978-5-7883-2180-6

Практикум предназначен для студентов высших учебных заведений, изучающих курс «Биогеохимия». Он содержит теоретический материал, лабораторные и практические работы, вопросы для самоконтроля, темы рефератов, рекомендации по подготовке контрольной самостоятельной работы, списки используемой и рекомендуемой литературы. Материалы практикума могут найти применение при подготовке курсовых и квалификационных работ, проведении диссертационных исследований, в научной работе с учащимися школ, лицеев, колледжей.

УДК 550.47:502(075)
ББК Д887я7+Е080я7

ISBN 978-5-7883-2180-6

© Самарский университет, 2025

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	5
1 БИОГЕОХИМИЯ И ЭКОЛОГИЯ	6
1.1 Биогеохимия и ее основные концепции	6
1.2 Экологические аспекты биогеохимии	8
2 ЭКОЛОГО-БИОГЕОХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В САМАРСКОЙ ОБЛАСТИ	26
3 ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ГЕОХИМИЯ ПОЧВ	30
3.1 Почва как объект изучения. Группы химических соединений почвы по степени растворимости и их значение для живых организмов	30
Работа № 1. Использование водной вытяжки почвы для обнаружения легкорастворимых соединений	32
3.2 Тяжелые металлы и металлоиды в почве	35
Работа № 2. Обнаружение тяжелых металлов в почве	36
4 ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ГЕОХИМИЯ АТМОСФЕРЫ	39
4.1 Атмосфера как объект изучения. Роль техногенных процессов в загрязнении атмосферного воздуха	39
Работа № 3. Биогеохимическая оценка загрязнения атмосферного воздуха автотранспортом	40
4.2 Снег как индикатор степени загрязнения атмосферного воздуха	41
Работа № 4. Определение содержания примесей в атмосферном воздухе по химическому составу снеговых вод	44
5 БИОГЕОХИМИЯ ЖИВОГО ВЕЩЕСТВА	49
5.1 Растения и их химический состав	49
Работа № 5 Обнаружение элементов в золе растений микрохимическим методом	50
5.2 Гистохимические методы в экологической биогеохимии	53
Работа № 6. Гистохимическая дитизоновая методика оценки загрязнения городской среды тяжелыми металлами	55
6 БИОГЕОХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ	57
6.1 Кларк	57
Работа № 7. Использование понятия «кларк» для оценки содержания и распределения химических элементов в природных средах	60
6.2 Кларк концентрации и кларк рассеяния. Коэффициент биофильности	61
Работа № 8. Использование кларков концентрации и рассеяния для сравнительного анализа биогеохимических особенностей почв Самарской области	62
6.3 Коэффициент концентрации. Геохимический индекс почв	65
Работа № 9. Составление геохимического индекса для почв Самарской области..	66
6.4 Коэффициент биологического поглощения	67
Работа № 10. Расчет коэффициентов биологического поглощения для растений Самарской области	69

6.5 Коэффициент биогеохимической подвижности	72
Работа № 11. Расчет коэффициентов биогеохимической подвижности для растений Самарской области	73
6.6 Биогенность и биотичность химических элементов	73
Работа № 12. Расчет показателя биогенности химических элементов	74
КОНТРОЛЬНАЯ САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА: МЕТОДИКА ПОДГОТОВКИ И ОФОРМЛЕНИЯ	76
СПИСОК ИСТОЧНИКОВ, РЕКОМЕНДОВАННЫХ ДЛЯ НАПИСАНИЯ КОНТРОЛЬНОЙ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ.....	82
ТЕМЫ РЕФЕРАТОВ	85
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	86
ПРИЛОЖЕНИЯ	96

ВВЕДЕНИЕ

Настоящее учебное издание включает теоретический и практический материал по курсу «Биогеохимия» для студентов-специалистов, бакалавров и магистрантов, обучающихся по специальностям биологического и экологического профилей. В него вошли теоретические основы экологической геохимии и биогеохимии, краткий экскурс в материалы региональных биогеохимических исследований, а также лабораторные и практические работы, расширяющие представления студентов по базовым темам данного курса, подготовленные и апробированные в ходе многолетнего преподавания курсов «Биогеохимия» и «Региональные аспекты биогеохимии» на биологическом факультете Самарского университета. Предлагаемые работы позволяют предметно рассмотреть и более глубоко понять основные закономерности геохимических и биогеохимических процессов и взаимодействий, происходящих в биосфере, их экологическую составляющую. В тоже время они не требуют сложного и дорогостоящего оборудования и могут быть организованы на достаточно скромной материальной базе.

Особенностью настоящего практикума является насыщенность теоретическим материалом по изучаемым темам, а также существенная региональная составляющая и экологическая направленность представленных работ и вспомогательного справочного материала. Эти аспекты позволяют использовать предлагаемое учебное издание не только для выполнения лабораторных и практических работ, но и для подготовки рефератов, контрольных самостоятельных заданий. Большинство работ носят исследовательский характер, поэтому они могут быть использованы для выполнения курсовых, квалификационных и даже диссертационных работ по экологической геохимии и биогеохимии.

Существенная доля представленных в практикуме цифровых данных о концентрациях химических элементов в природных компонентах окружающей среды (горных породах, почвах, растениях) является региональным материалом, полученным в ходе многолетних полевых и лабораторных исследований, выполненных авторами издания и опубликованных ранее в монографиях и научных статьях. Этот материал знакомит студентов с региональными особенностями химического состава окружающей природной среды, позволяет осуществлять сравнительный анализ с данными по другим регионам, странам и биосфере в целом.

Для проверки усвоения студентами учебного материала в конце каждой темы даются контрольные вопросы. В помощь студентам предлагаются обширные списки современной научной и учебной литературы по биогеохимии, в том числе и электронные издания, которые могут быть использованы для подготовки рефератов и контрольных самостоятельных заданий. В приложении помещены материалы о техногенных источниках поступления тяжелых металлов в природную среду Самарской области, а также разработанные авторами методические указания для подготовки контрольных самостоятельных заданий.

Настоящий практикум адресован широкому кругу студентов-специалистов, бакалавров, магистрантов, аспирантов и преподавателей, связанных в своей учебе и работе с проблемами геохимии, общей и экологической биогеохимии, экологии. Его материалы могут быть полезны для организации научной работы с учащимися старших классов школ, лицеев, колледжей.

1 БИОГЕОХИМИЯ И ЭКОЛОГИЯ

1.1 Биогеохимия и ее основные концепции

Биогеохимия является одним из основных предметов, входящих в цикл наук о Земле. Она, наряду с экологией, географией, геологией, биологией, химией, не только изучает состояние окружающей среды, но также раскрывает особенности взаимодействия живой и неживой природы, исследует роль живых организмов в миграции и перераспределении химических элементов в биосфере. Биогеохимия – междисциплинарная наука, возникшая в начале XX века и занимающая пограничную область между биологией, геологией и химией [Башкин 2008; Bianchi 2021].

Теоретической основой биогеохимии являются концепции живого вещества и биосферы, разработанные В. И. Вернадским в начале XX века [Башкин 2008].

Живое вещество. По В. И. Вернадскому, живое вещество – это совокупность живых организмов в биосфере, вне зависимости от их систематической принадлежности. Это главная сила, преобразующая поверхность планеты, основа формирования и существования биосферы. Характерной чертой живого вещества является трансформация окружающей среды в процессе жизнедеятельности. Масса организмов, слагающих живое вещество Земли, составляет незначительную долю от массы земной коры, но их трансформирующий эффект проявляется в глобальном масштабе и затрагивает все биогеохимические циклы. Это объясняется тем, что живые организмы селективно поглощают элементы-биофилы (C, H, O, N, P, K, S, Si, Ca, Mg, Fe), которые в наибольшей степени необходимы для построения их тел, роста и размножения. Эти же элементы являются основой химического состава океана, атмосферы и горных пород. Отчуждая их из природных сред, живые организмы трансформируют земные оболочки, что приводит к специфической дифференциации элементов в окружающей среде. Газообразные метаболиты организмов постепенно изменяют и поддерживают газовый состав атмосферы (содержание O, N, CO₂), жидкие метаболиты и продукты распада отмерших организмов вовлекаются в кислотно-щелочные и окислительно-восстановительные процессы, изменяя химический и минералогический состав горных пород и почв. Под воздействием живых организмов изменяется химизм морей и океанов, что сказывается на формировании осадочных пород. Все эти процессы начались 3,5-3,8 млрд лет назад, кардинально изменив облик нашей планеты [Башкин 2008: 6].

Биосфера. Термин «биосфера» был предложен австрийским геологом Е. Зюссом. В. И. Вернадский определил биосферу как внешнюю сферу Земли, в которой существует жизнь и которая видоизменена и сформирована под воздействием жизни и ее биогеохимической активности. Он понимал биосферу как глобальную систему взаимодействия живого и косного (неживого) вещества, при этом живое вещество – все разнообразие живой материи, а косное – неживая материя твердой, жидкой и газообразной фаз. Биосфера включает в себя слои тропосферы, гидросферы и литосферы суммарной мощностью до 40 км [Башкин 2008: 7].

Биокосные системы. Этот термин введен в науку В. И. Вернадским в 1944 году. Биокосные системы образованы живыми организмами и средой их обитания. Внутри биокосных систем происходит обмен химическими элементами, который и создает биогеохимическую организованность биосферы. Ярчайший пример биокосной системы – почвенный покров Земли.

Биогеохимические циклы. Они представляют собой универсальное свойство биосферы и отражают общую цикличность биологического обмена. В. И. Вернадский разработал теорию

биогеохимических циклов, состоящих из динамического обмена массами химических элементов. Обмен химическими элементами сопряженно поддерживает химический состав живых организмов и основных компонентов биосферы: геологических пород, почвы, воздуха и воды. Биогеохимические циклы отличаются универсальностью, связанной с универсальностью природы в целом. Временная и пространственная динамика массообмена химических элементов структурирует биосферу. Доказана высокая степень замкнутости и обратимости биогеохимических циклов, но все же они не полные, что определяет геохимическую неоднородность Земли и способность живых организмов в определенных пределах адаптироваться к изменению концентраций химических элементов в природных средах [Башкин 2008: 8]. Примером глобального биогеохимического цикла является круговорот воды, при осуществлении которого с водными потоками сопряженно мигрируют большинство химических элементов.

Важной особенностью науки биогеохимии следует считать ее связь с другими фундаментальными (физика, математика, химия) и естественнонаучными дисциплинами (биология, геология). Биогеохимия по многим позициям пересекается с ними в осуществлении качественных и количественных подходов при описании сложных природных процессов, основой которых является массо- и энергообмен. Биогеохимия заимствует методы этих наук, на их основе создает собственный методический аппарат. При изучении природных сред и объектов ею используются методы соответствующих наук: при изучении природных вод – это методы гидрологии; земной коры – методы геологии; атмосферы – методы метеорологии; почвенного покрова – методы почвоведения; живых организмов – методы соответствующих биологических дисциплин (ботаники, зоологии, микробиологии, микологии и др.). Необходимость математической обработки биогеохимических данных, их пространственной интерпретации и визуализации, моделирования биогеохимических процессов способствует тесному взаимодействию биогеохимии с циклом математических наук и новыми информационными технологиями [Добровольский 2003; Башкин 2008].

Известно, что любой из основных компонентов биосферы включает в себе определенные «пулы» химических элементов, которые состоят из двух частей: одна из них – активная, участвует в обменах и может взаимодействовать с биотой (подвижный или обменный фонд), другая – резервная (резервный фонд). Резервы большинства химических элементов находятся в литосфере, которая составляет до 94% массы поверхности Земли (от верхней части тропосферы до дна Мирового океана и на 17 км вглубь коры). Почти вся остальная часть (> 5% массы земной поверхности) приходится на долю гидросферы. Совсем мала масса газов атмосферы (0,02%) и всех компонентов биоты ($3,1 \times 10^{-5}\%$). Несмотря на относительно небольшую массу, атмосфера играет важную роль в глобальном круговороте элементов; именно она является основным источником углерода, азота и серы для роста растений. С тех пор, как в процессе фотосинтеза началось высвобождение его побочного продукта – свободного кислорода, биота существенно изменила геохимию Земли, заметной частью которой стал почвообразовательный процесс.

В естественных условиях потоки элементов между их обменными и резервными фондами (пулами), то есть между геохимическими сферами, находятся в устойчивом равновесии. Это во многом определяет и устойчивость биосферы [Башкин, Касимов 2004; Башкин 2008; Bianchi 2021].

1.2 Экологические аспекты биогеохимии

Биогеохимия и экология

С ростом и развитием человеческой цивилизации человек стал оказывать заметное влияние на биогеохимические циклы химических элементов, формируя антропосферу внутри биосферы. Использование минерального сырья и сжигание горючих веществ для получения энергии резко усилили выход элементов из неактивного пула (резервного фонда) в литосфере, переводя их в активный пул, из которого они легко принимают участие в обменных процессах между абиотическими и биотическими компонентами экосистем – в биогеохимических круговоротах.

Влияние человека на биосферу началось еще в доисторическое время, но наиболее существенные изменения биогеохимического круговорота химических элементов стали проявляться во второй половине XX века. Особенностью этого воздействия является вовлечение в глобальный биогеохимический круговорот элементов, которые наименее распространены в природе и фактически неподвижны из-за низкой растворимости их соединений (узкий активный пул). Именно они являются наиболее токсичными для живых организмов. Установлено, если скорость добычи элемента превышает значения его природных потоков в 10 и более раз, такой элемент следует рассматривать как потенциальный загрязнитель.

Расчеты показали, что антропогенные выбросы в атмосферу свинца, кадмия и цинка превышают величины их естественного поступления из природных источников в 18, 5 и 5 раз соответственно. Для мышьяка, ртути, никеля, сурьмы и ванадия такое превышение составляет 100-200%. Деятельность людей превратилась в главный фактор глобальной циркуляции практически всех металлов и металлоидов. За последние десятилетия существенно увеличилась нагрузка металлов на наземные и водные экосистемы, особенно в Северном полушарии.

Экологическая биогеохимия основывается на экологической направленности идей В. И. Вернадского. Особую важность имеют представления В. И. Вернадского о единстве жизни и геохимической среды. Связь химического состава организмов с химией земной коры и первенствующее значение живого вещества в механизме земной коры указывают на то, что разгадка жизни не может быть получена только путем изучения живого организма. Для ее разрешения следует обратиться к первоисточнику – земной коре, то есть к свойствам атомов геохимической среды и закономерностям миграции их через живое вещество, живые организмы [Ермаков 2023a].

В. И. Вернадский в своей работе «Значение биогеохимии для познания биосферы» [1934] четко обозначает принцип взаимодействия организмов и среды их обитания и дает схему, отражающую этот принцип (рис. 1.1). Предложенные в этой работе положения наиболее тесно сближают биогеохимию и экологию.

Совокупность организмов (живое вещество), для каждой морфологической формы, обладающие постоянным (в пределах определенных колебаний): объемом, массой, химическим составом, термодинамическим и фазовым полями	Биогеохимические процессы, идущие при жизни непрерывно	Среда в состоянии организованности, т.е. биосфера – организованная определенная оболочка земной коры, сопряженная с жизнью
---	--	--

Рисунок 1.1 – Взаимодействие гетерогенного живого вещества и биосферы [Вернадский 1934: 13]

Концепция В. И. Вернадского о взаимодействии организмов и среды их обитания на основе биогенной миграции химических элементов явилась основой учения о биологической роли макро- и микроэлементов, концепций биогеохимических провинций и эндемий, одного из направлений биогеохимии – геохимической экологии, биогеохимического метода поиска полезных ископаемых, биогеохимической индикации и мониторинга экологического состояния таксонов биосферы, нормирования содержания химических элементов в компонентах экосистем [Ермаков 2023а].

В табл. 1 даны сравнительные характеристики биогеохимии и экологии. Анализ ее данных показывает, что оба научных направления представляют собой системы знаний о взаимосвязи и взаимодействии организмов и среды их обитания.

Таблица 1.1. Сравнительные характеристики биогеохимии и экологии [Ермаков 2023а: 33]

Характеристики	Биогеохимия	Экология
Определение	Системный анализ, системная наука об элементном составе живого вещества и его роли в миграции, трансформации и концентрировании химических элементов и их соединений в биосфере, о геохимических процессах с участием организмов, их взаимодействии с геохимической средой и геохимических функциях биосферы	Система знаний о взаимосвязи отдельных организмов, сообществ и популяций между собой и средой обитания, воздействии деятельности человека на организмы и среду их обитания, о взаимодействии человека и природы, эволюции биосферы
Предмет	Процессы и механизмы миграции химических элементов и их соединений между организмами и окружающей средой	Связи и закономерности между организмами и средой их обитания
Основной объект	Таксоны биосферы, живое вещество и его химический состав	Организмы, сообщества, популяции, среда обитания
Основная задача	Оценка геохимической роли живого вещества в рассеивании химических элементов	Выяснение различных связей и процессов между организмами и средой обитания
Основные направления	Биогеохимия биосферы, биогеохимия ноосферы, биогеохимия океана и континентов, биогеохимия углерода и органического вещества, биогеохимия микроэлементов и изотопов, биогеохимические методы поиска полезных ископаемых, палеобиогеохимия, биогеохимия радионуклидов, почв, растений, животных, микроорганизмов, грибов, агробиогеохимия	Глобальная экология, общая (классическая) экология, геоэкология, химическая экология, промышленная экология, социальная экология, экономическая экология, экология растений, животных, человека (медицинская экология) и других организмов
Правовые функции	Ограничены	Четко определены

В биогеохимии это взаимодействие выражается через биогенную миграцию атомов химических элементов и их соединений, в экологии – в более широком смысле через пищевые цепи, энергетические процессы, организменные связи, включая духовные и эстетические факторы. Оба научных направления дополняют друг друга. Кроме того, биогеохимия имеет ряд сходных с общей экологией признаков. Взаимодействие организмов с геохимической средой, зависимость их химического состава от состава среды, придают биогеохимии экологическую направленность. Вопросы эволюции элементного состава живого вещества, генезиса биолитов и месторождений биогенных полезных ископаемых, фракционирование изотопов, процессы и

механизмы обмена веществом в системных блоках «атмосфера – литосфера (океан)», биогеохимическое районирование таксонов биосферы и ряд других проблем могут быть решены и решаются в рамках биогеохимии [Ермаков 2023б].

Биогеохимия и экология дифференцированы, что свидетельствует об их системности. Биогеохимия является геохимической, но в тоже время и биологической наукой. Она охватывает изучением биосферу – наружную оболочку Земли, заселенную организмами. Только в пределах биосферы совершаются на Земле химические процессы, характер и направление которых, с одной стороны, определяются жизнедеятельностью организмов, а с другой – химическим составом и формами соединений атомов геохимической среды жизни. Дифференциация экологии еще более сложна. В ее рамках выделяются разделы наук с экологической направленностью, в частности: экологическая химия, экологическая геохимия, экологическая биогеохимия и другие [Ермаков 2023а].

Экологические аспекты биогеохимии достаточно доказательно реализованы в концепции биогеохимических провинций [Виноградов 1960] и геохимической экологии [Ковальский 1974]. Практически геохимическая экология явилась синтезом биогеохимии, экологии, биохимии, ряда геологических и биологических наук и представляет собой системное комплексное научное направление изучения явлений жизни в условиях техногенного преобразования таксонов биосферы. Ее основная направленность – изучение закономерностей взаимодействия отдельных организмов и их сообществ с природной и техногенной средой через формирование миграционных потоков атомов химических элементов и преобразование энергии [Ермаков 2015].

В современных условиях сложно разделить геохимические и биогеохимические аспекты при изучении биосферы, так как все ее компоненты биогеохимически преобразованы деятельностью живого вещества. Поэтому в геохимической экологии и экологической биогеохимии мы в основном рассматриваем одни и те же процессы. Геохимическая экология – основа биогеохимического изучения таксонов биосферы. Согласно В. В. Ковальскому, геохимическая экология – раздел биогеохимии и экологии, наука о взаимодействии организмов и их сообществ с геохимической средой в биосфере, а также организмов между собой в условиях популяций, биоценозов, биогеохимических провинций и зон как структурных частей единой организованной экосистемы – биосферы [Ковальский 1974].

Круг проблем, рассматриваемых в рамках геохимической экологии (экологической биогеохимии) весьма широк: от глобальных причин вымирания динозавров и других организмов, эволюции их химического состава и геохимических функций, локальных и глобальных циклов химических элементов до механизмов биологического действия макро- и микроэлементов, а также практических приложений в почвоведении, растениеводстве, животноводстве и медицине.

Основной задачей геохимической экологии (экологической биогеохимии) служит выяснение процессов приспособления организмов, популяций и других сообществ к условиям окружающей геохимической среды (адаптаций). Не менее важным является познание среды, ее свойств, процессов миграции химических элементов, форм миграции и влияние техногенных процессов. Изучение точек приложения химических элементов среды к обменным процессам, выявление причинных зависимостей нормальных и патологических реакций организмов от факторов геохимической среды в природных условиях и эксперименте составляют конечную цель этого раздела экологии. Данные геохимической экологии используются для экспертных оценок экологического состояния таксонов биосферы на различных уровнях жизни [Башкин 2013].

Следует подчеркнуть, что в геохимической экологии центральное место занимает геохимический фактор воздействия (химические элементы или их ассоциации). Немецкий ученый Ю. Либих, известный как основатель агрохимии, открыл закон минимума в 1840 году. Именно этот закон наиболее полно отражает зависимость между геохимическим фактором воздействия (например, уровень микроэлементов в среде и рационе и проявление биологических реакций организма). Место геохимической экологии среди экологических наук отражено на рис. 1.2.

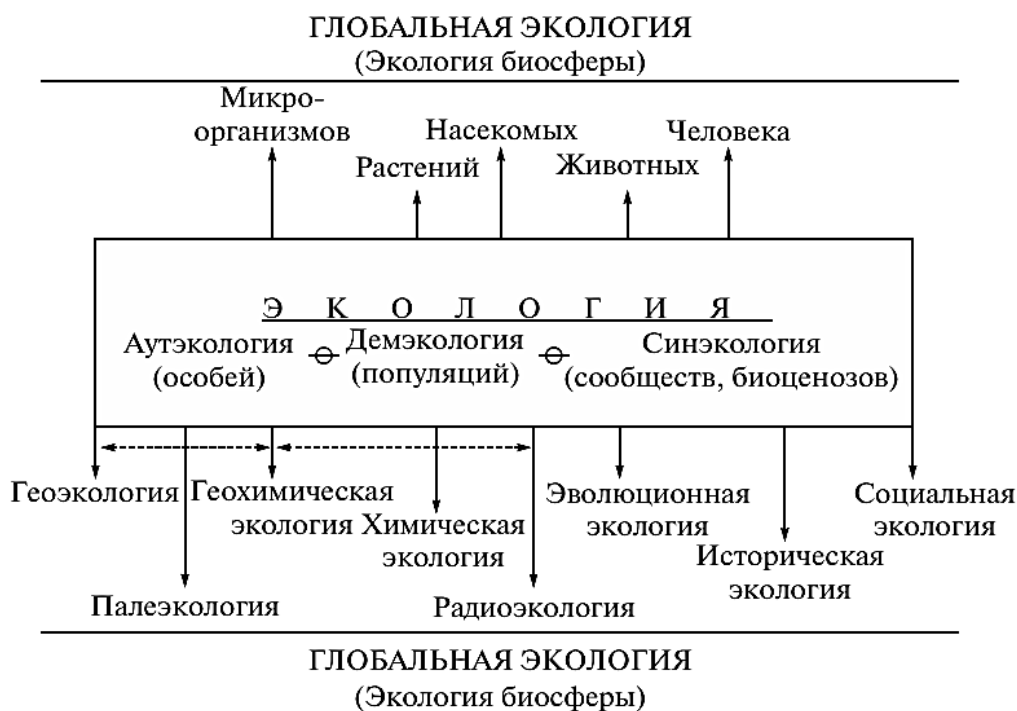


Рисунок 1.2 – Связь геохимической экологии с различными направлениями общей (глобальной) экологии [Ермаков 2015: 204]

Наиболее тесные взаимодействия у геохимической экологии с геоэкологией и с различными направлениями общей экологии. Естественно, что геохимическая экология использует методы и знания большинства биологических и химических наук (физиология, биохимия, аналитическая химия, геохимия).

Фундамент геохимической экологии (экологической биогеохимии) составляют:

- особенности химического элементного состава организмов и среды;
- биогеохимические пищевые цепи и параметры;
- биогенная миграция химических элементов и их биогеохимические циклы;
- разнообразные биологические реакции организмов, включая ферментные адаптации и биоритмы метаболизма химических элементов;
- пороговые или критические концентрации химических элементов;
- биогеохимическая модель гомеостатических регуляторных процессов организма, сообществ, биогеоценоза и их устойчивое функционирование;
- эволюция химического состава живого вещества и биосферы как отражение планетарных и космических процессов;
- биогеохимическое нормирование.

Одной из основных проблем геохимической экологии (экологической биогеохимии) является раскрытие адаптивной изменчивости регуляторных систем организма в условиях кон-

кретных геохимических сред жизни. Известно, что живое вещество биосферы гетерогенно по составу и взаимодействует с геохимической средой через биогеохимические пищевые цепи. Последние представляют собой звенья путей осуществления первичной связи организмов и геохимической среды (химические элементы почвообразующих пород, почв, почвенных растворов, илов, воды, воздуха, атмосферных выпадений, микроорганизмов, растений, кормов, пищевых продуктов, рационов, различных организмов, включая микроорганизмы, насекомых, растения, животных и человека), а также биогенного цикла элементов в биосфере. В отличие от трофических и пищевых цепей, биогеохимическая пищевая цепь содержит абиогенные компоненты среды (породы, воды, воздух) и техногенные факторы, исходящие от человека (рис. 1.3).

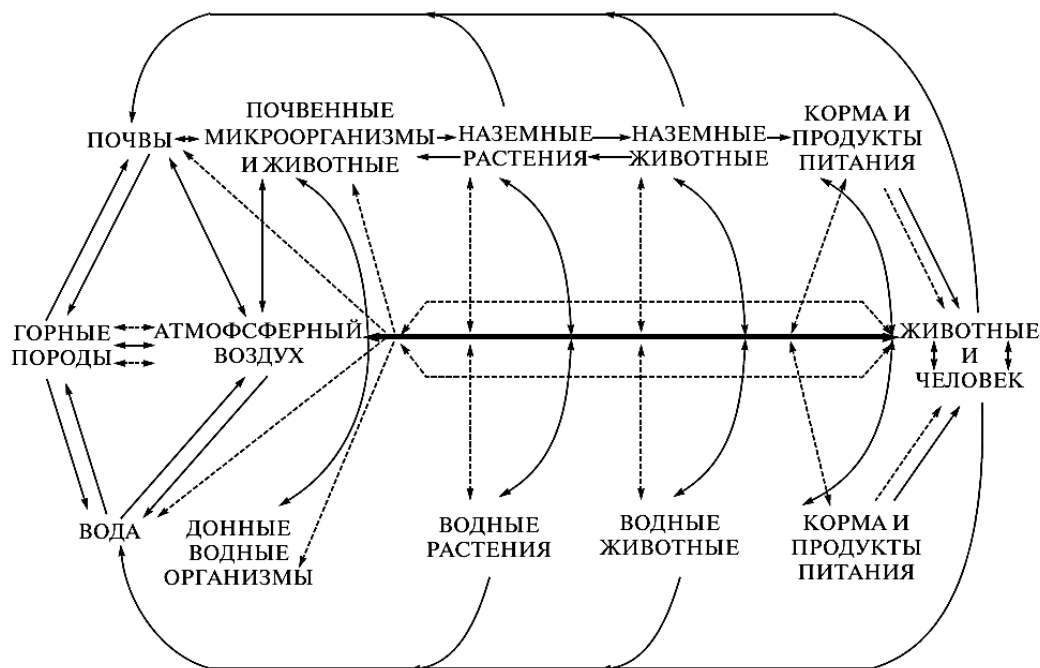


Рисунок 1.3 – Биогеохимическая пищевая цепь [Ермаков 2015: 205]

Среда и адаптивные возможности организмов, определяемые генотипом и фенотипом, формируют диапазон изменений, при которых организм остается здоровым или проявляет определенные реакции на избыток или недостаток микроэлементов, включая патологические состояния [Ермаков 2015]. Под адаптацией (на биологическом уровне) подразумевается процесс сохранения и развития биологических свойств вида, популяции, биоценоза, обеспечивающий прогрессивную эволюцию биологических систем в неадекватных условиях среды; на организменном уровне адаптация – процесс поддержания функционального состояния гомеостатических систем и организма в целом, обеспечивающий его сохранение, развитие, работоспособность, максимальную продолжительность активной жизни в неадекватных условиях среды [Нефедов и др. 1991].

Организмы – это индикаторы не только сублокальных потоков химических элементов на уровне элементарной единицы биосферы, но и мощные факторы гомеостаза среды в локальных и глобальных циклах миграции атомов, способствующие формированию состава окружающей среды. Многочисленные эксперименты и наблюдения позволяют полагать, что реакции организмов на повышение или понижение содержаний и соотношений химических элементов в среде, кормах и рационах связаны с приспособительными свойствами организмов и их спо-

способностью к регулированию функций в условиях определенных пределов изменчивости геохимической среды. Следует отметить, что пороговые (критические) концентрации в пределах региона не являются абсолютными. Это интервалы концентраций, связанные с видовой и индивидуальной чувствительностью организмов к химическим элементам, состоянием регуляторных функций и адаптаций, биологическими ритмами и различным состоянием организма, а также с изменением внешних условий среды в пределах региона, что нашло отражение в биогеохимических критериях оценки экологического состояния и устойчивого развития биogeоценозов [Ермаков 2003].

Под пороговыми концентрациями химических элементов понимают предельные нижние и верхние концентрации химических элементов в почвах, водах, воздухе, кормах, пищевых продуктах, рационах, жидкостях и тканях организмов, в пределах, между которыми организм способен регулировать процессы метаболизма; ниже нижних пороговых концентраций и выше верхних пороговых концентраций наблюдается срыв регулирующих процессов: дисфункции, биохимические изменения обмена веществ, морфологические изменения организмов, эндемические заболевания [Ковальский 1991; Критерии... 1992].

Геохимическая экология (экологическая биогеохимия) как область системной экологии, где основным фактором воздействия служит химический элемент, подразделяется на частные направления по объекту воздействия: геохимическая экология микроорганизмов, растений, животных и человека [Ермаков, 2015].

Геохимическая экология микроорганизмов выделилась в самостоятельное научное направление в результате работ С. В. Летуновой, С. А. Алексеевой и других ученых. Элементы геохимической экологии микроорганизмов присущи экологии бактерий и биологии почв. Актуальность работ в этой области связана с тем, что микроорганизмы обладают максимальной биогеохимической энергией среди живых существ, заметной биомассой в почвенном покрове, выполняют важные биогеохимические функции и играют значительную роль в биогенной миграции химических элементов в биосфере.

Геохимическая экология растений была основана В. В. Ковальским, Н. В. Алексеевой-Поповой, М. Д. Уфимцевой, Н. С. Петруниной и другими. Ее рассматривают как раздел геохимической экологии и биогеохимии о взаимодействии растений с геохимической средой. При этом изучают биологическую роль химических элементов в жизнедеятельности растений и эволюцию физиологических функций макро- и микроэлементов. Так, на разных стадиях эволюции биосферы в биокатализе перехода от ассимиляции углекислоты при хемосинтезе к ее фоторедукции, а затем и к фотосинтезу с выделением свободного кислорода, участвовали соединения негеминового железа и ряда других поливалентных металлов-микроэлементов: никеля, меди, марганца. Соединения железа во всех случаях осуществляли восстановление углекислоты: другие же металлы, особенно марганец, способствовали окислению веществ, являющихся донорами водорода или электронов для данного восстановления. Каталитическая роль микроэлементов огромна. Они входят в состав ферментов, многих функциональных белков, в целом оказывая заметное влияние на рост, жизнедеятельность всех стадий вегетации растений [Ермаков 2015].

При изучении экологической биогеохимии растений основное внимание сосредоточено на характере аккумуляирования химических элементов, связях в системе «почва – растение», установлении коэффициентов биологического поглощения (КБП, A_x), видовом разнообразии, морфологических изменениях растений, вопросах резистентности растений к химическим со-

единениям и токсикозам, а также антагонистическим взаимодействиям между макро- и микроэлементами [Баргалы 2005].

Особое внимание уделено адаптации растений к геохимическим факторам среды. Установлено, что растения сохраняют нормальную жизнеспособность лишь в пределах определенных колебаний концентраций или соотношений тех или иных химических элементов. Выход за эти интервалы концентраций вызывает заметные отклонения от нормального развития и приводит к появлению биогеохимических эндемий. К таким отклонениям относятся: хлорозы и некрозы листьев, укорачивание междоузлий, карликовость, недоразвитие генеративных органов, нарушения плодо- и семяобразования и так далее. Вместе с тем незначительная часть популяции, оказавшейся в необычных геохимических условиях, сохраняет нормальную жизнеспособность. Усиленный отбор таких форм, по мнению ряда ученых, приводит к возникновению эндемичных видов. В связи с этим В. В. Ковальский высказал предположение, что в районах с резкими колебаниями геохимических условий происходит интенсивное видообразование. Аргументируя данное положение, он рассматривал приуроченность центров происхождения культурных растений, выделенных Н. И. Вавиловым, к горным районам, где геохимическая среда наиболее гетерогенна и изменчива [Ермаков 2015].

Среди адаптивных форм уместно выделить три группы: 1) растения, не концентрирующие химические элементы ($КБП < 1$); 2) непривычные концентраторы; 3) привычные концентраторы. Для оценки изменений биогеохимических процессов в биосфере особое значение имеют привычные концентраторы, содержащие элементы в значительно больших количествах, чем их среднее содержание в почвах ареала. Для каждого вида характерен свой размах изменчивости, то есть соотношение привычных и непривычных концентраторов, а также форм с повышенной или пониженной способностью к концентрированию химических элементов (рис. 1.4).

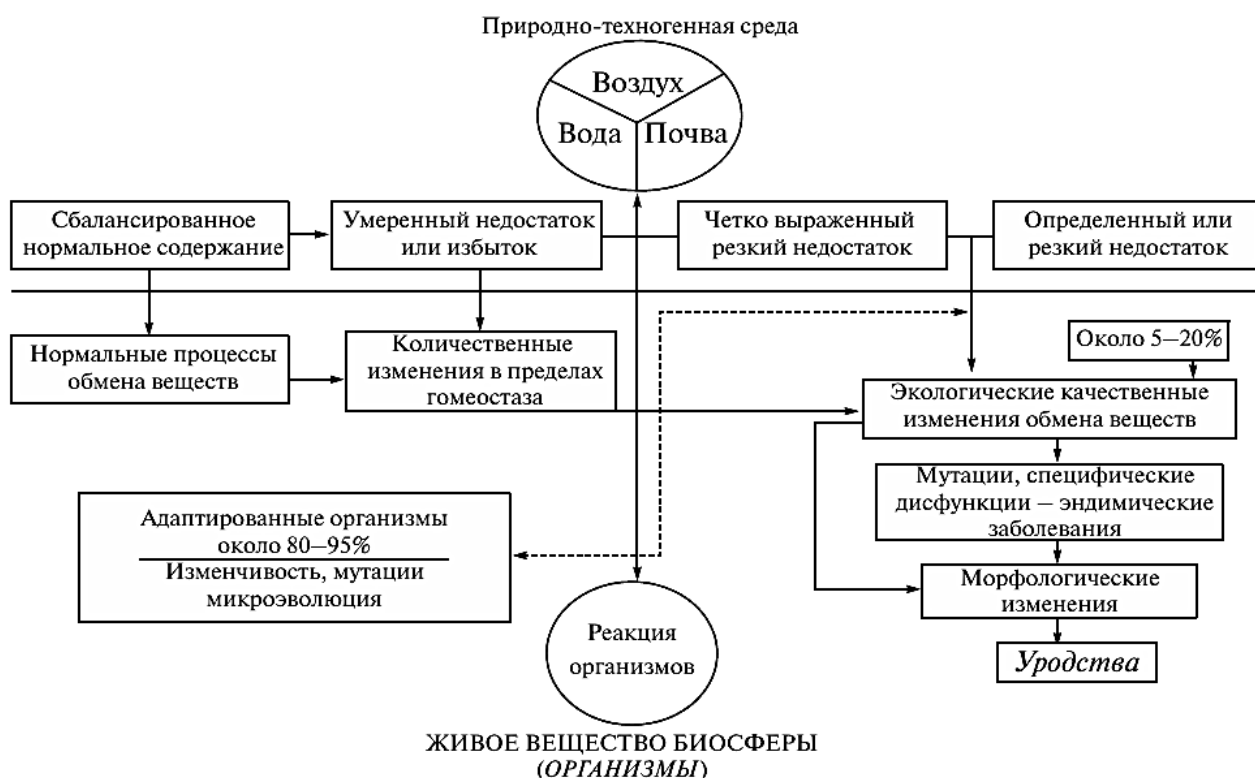


Рисунок 1.4 – Реакции животных и растений на экстремальные геохимические факторы [Ермаков 2015: 208]

Представляет интерес проблема металлоустойчивости растений, гомеостаза отдельных растительных сообществ и механизмов металлоустойчивости. К последним следует отнести синтез металлотионеинов – низкомолекулярных белков массой 6-7 кДа с высоким содержанием цистеина и фитохелатинов – олигомеров глутатиона с молекулярной массой около 3 кДа или менее. Их синтез регулируется специальными генами; они связывают многие металлы и способствуют их переносу и аккумуляции организмами. По-видимому, активирование синтеза фитохелатинов в присутствии избытка тяжелых металлов является одним из общих для всех организмов механизмов детоксикации и регуляции обмена микроэлементов [Ермаков, Тютиков 2008].

Следует заметить, что физиологические аспекты геохимической экологии растений заметно продвинулись за последнее время в связи с вопросами ремедиации территорий и разработки технологий фитоэкстракции микроэлементов. В теоретическом отношении это работы, связанные с изучением внутриклеточных механизмов детоксикации металлов растениями и их аккумуляции резистентными видами «исключателями» (например, ряд видов сем. *Brassicaceae* Burnett – Капустные) [Бакланов 2011]. В данном случае под «исключателями» подразумевают растения, корни которых препятствуют накоплению металлов.

Биогеохимическая роль животных в биогеоценозах также имеет огромное значение. Теоретический интерес представляет изучение микроэволюционных изменений у животных под действием геохимической среды. В частности, обнаружены генетические и филогенетические различия по содержанию и накоплению микроэлементов в организме животных и установлено, что в основе генетической адаптации к геохимическим факторам среды лежит явление гетерогенного полиморфизма популяций, значение которого в процессе видообразования и внутривидовой приспособительной дифференциации очень велико [Безель 2006; Ермаков 2015].

В исследованиях на южном берегу Крыма установлены коррелятивные связи между уровнями большого числа элементов (включая медь, никель, свинец) в различных звеньях биогеохимических пищевых цепей: почва – воздух – лишайники, растения – рептилии – амфибии. Сделана попытка сопоставления морфологических изменений животных с геохимическими факторами среды, а также с патологией человека и экологическим состоянием территорий [Ермаков 2015].

На данном этапе развития геохимической экологии животных следует обратить внимание на экотоксикологический характер исследований в связи с техногенным преобразованием биосферы [Безель 2006] и формированием геохимической экологии диких животных [Безель 2006; Ермаков, Тютиков 2008]. При этом исключительно важно не только обнаружение зависимости экологического статуса животных от уровней и соотношений ряда макро- и микроэлементов в пищевых цепях, но и адаптивные регуляции организмов, связанные с коррекцией ферментативных процессов, гемопоза, дыхания, метаболизма и детоксикации ксенобиотиков. В этом отношении комплексные системные биогеохимические исследования и полученные данные играют исключительно важную роль в понимании функционирования экосистем, в частности, водных [Моисеенко и др. 2010]. Эколого-геохимической оценке водных экосистем, включая донные отложения, придают весьма важную роль в связи с техногенезом биосферы и ухудшением качества питьевых вод [Левич и др. 2004; Кузьмич 2011].

На основании обширных исследований в области геохимической экологии человека и животных стало возможным выделение микроэлементозов в особую группу заболеваний, связанных с природными эндогенными, природными экзогенными и техногенными факторами. Термин «микроэлементозы» был впервые введен отечественными учеными А. П. Авцыным и

А. А. Жаворонковым. Микроэлементозы – патологии, связанные с нарушением всасывания, метаболизма и статуса микроэлементов в организме и среде. Понятие «микроэлементозы» возникло в результате эволюции наших знаний о существенной роли микроэлементов в жизнедеятельности организмов. Общепризнано выделение заболеваний, характеризующихся микроэлементной недостаточностью (гипомикроэлементозы) и избытком (гипермикроэлементозы). Последние наиболее часто диагностируются у сельскохозяйственных животных в результате избыточного введения микроэлементов в рацион и отдельные корма [Ермаков, Тютиков 2008; Воробьев 2011].

Биогеохимическая оценка зон экологического неблагополучия проводится в случае видимых нарушений локальных циклов химических элементов и проявления патологий у животных и человека, связанных с дефицитом или избытком биологически активных химических элементов в среде обитания организмов. Методология изучения ответных реакций организма (микроорганизмы, растения, животные и человек) в различных геохимических условиях обеспечивает реальную возможность научного обоснования или разработки рекомендаций для более рационального развития сельского хозяйства, охраны окружающей среды и разработки профилактических мер по предупреждению биогеохимических эндемий (беломышечная болезнь животных, миопатии, эндемический зоб, анемии, урловская (Кашина–Бека) болезнь, болезнь Кешана, некоторые формы рака и другие микроэлементозы) [Скальный 2004; Ермаков 2015; Ермаков, Тютиков 2008].

Пороговые концентрации макро- и микроэлементов

Живое вещество биосферы в пределах между верхними и нижними пороговыми концентрациями должно находиться в отношениях определенной слаженности со средой, в состоянии относительного равновесия, при котором сохраняется живое вещество как жизнеспособная система в регионах и субрегионах биосферы. При этом действие химических элементов определяется не однозначной концентрацией, а значительным интервалом концентраций и их соотношений, при которых возможна нормальная регуляция обменных процессов. Этим характеризуется состояние гомеостаза, определяемое изменчивостью регуляторных процессов в организме, которые выражаются относительным непостоянством химического состава организма и обмена веществ. Такая изменчивость процессов имеет гено- и фенотипические основы и показывает возможности организмов и живого вещества, программированные и разрешенные генотипом. За пределами нижних и верхних пороговых концентраций химических элементов, в экстремальных условиях геохимической среды, наблюдаются биологические реакции организмов; здесь, вероятно, могут возникать мутации, может изменяться наследственная природа организма и при действии отбора появляются новые формы, с расширенными адаптивными возможностями и изменением биоритмов [Ермаков 2015].

Одно из основных положений геохимической экологии отражает пороговые или критические концентрации химических элементов и биогеохимическую модель гомеостаза. Именно этот принцип лежит в основе эколого-биогеохимических критериев.

Рис. 1.5 показывает обобщенную биогеохимическую модель регуляторных физиологических функций организма на уровне отдельных звеньев цикла в зависимости от условий геохимической среды. Абсцисса представляет собой концентрационную характеристику среды обитания (содержание одного или более элементов, коэффициент биологического накопления – К_{бн}, фактор обогащения – К_е относительно питательного раствора, диеты, культурной среды почвы и т.д.).



Рисунок 1.5 – Зависимость регуляторных физиологических функций организма (Г) и степени его патологических состояний (П) от концентрационных факторов среды [Ермаков 2015: 211]:

1 – состояние недостатка химических элементов; 2 – нижняя критическая (пороговая) концентрация (граница); 3 – интервал нормальных концентраций (емкость гомеостаза, отвечающая относительно удовлетворительному экологическому состоянию среды (Н); 4 – верхняя критическая (пороговая) концентрация; 5 – условия избытка химических элементов или соединений; М – потенциальная средняя оптимальная потребность организма в химических элементах; М₁ – вероятное значение физиологической минимальной потребности в химических элементах; Б, К, Р – интервалы концентраций химических элементов и их соотношений, соответствующие зонам экологического бедствия, кризиса и риска

По оси ординат отложены количественные параметры состояния регуляторных процессов или степень патологического состояния организма (рост, потребление продуктов питания, активность ферментов, синтез биологически активных соединений, морфологические изменения или патологические состояния, заболевания). Нижние и верхние пределы концентраций отражают условия дефицита и избыточности элементов. Между этими пределами есть нормальные регуляции гомеостаза. Следует отметить, что пороговые концентрации – не абсолютные значения. Они являются интервалами концентраций в реальных условиях различных регионов. Также должно быть принято во внимание, что рис. 1.5 показывает общий закон распределения. Этот закон известен в экологии как закон минимума Ю. Либиха или закон биологической резистентности Ламотта [Ермаков 2015].

Критические концентрации макро- и микроэлементов уточняются в зависимости от поступления новой информации, в основном связанной с взаимодействием природных и техногенных факторов миграции химических элементов. Они представляют собой интервалы концентраций химических элементов в растениях в реальных условиях различных регионов. Как и другие критерии (гомеостаз железа, энергии, питания и прочее), они входят в системы математического моделирования и близки к санитарно-гигиеническим подходам [Критерии... 2000].

Кривые распределения концентраций микроэлементов относительно биологических реакций представляют собой две сочлененные логистические кривые, описываемые соответствующими уравнениями. Их дифференцирование дает первые производные – критические концентрации для зон риска, а вторые производные (две) – критические концентрации для зон кризиса и

бедствия. Биогеохимические критерии являются составной частью общих критериев оценки экологического состояния территорий и нуждаются в региональном ранжировании. В обобщенном виде биогеохимические критерии отражают динамические модели ранжирования степени нарушения экосистем по глубине и необратимости, предложенные Б. В. Виноградовым [Виноградов и др. 1993] и другими авторами [Критерии... 1992; Ермаков 2015].

Критерии биогеохимического нормирования

Выявление биогеохимических провинций, оценка экологического статуса территорий и коррекция микроэлементозов, прежде всего, связаны с вопросами нормирования, которые подробно изложены в работах многих исследователей [Ермаков 2015]. Основу биогеохимического нормирования составляют критические концентрации макро- и микроэлементов, а также их соотношения в компонентах биогеохимической пищевой цепи. Биогеохимические критерии оценки почвенно-растительного комплекса необходимы в области биогеохимических поисков, изучения формирования биогеохимических аномалий и для определения экологического состояния территорий, в особенности.

Наиболее перспективными критериями являются те, которые отражают реальное нарушение биогеохимических циклов и основаны на оценке уровня содержания и соотношения различных химических элементов в растениях (например, отношения $C : N$, $Ca : Sr$, $Ca : P$ и других), концентраций микроэлементов и токсичных элементов, максимальных допустимых уровней (МДУ) и превышений фоновых концентраций. Следует отметить, что уровни содержания элементов в растениях в качестве экологических критериев были выбраны из-за центрального места растений в биогеохимической пищевой цепи. Кроме того, концентрации элементов в растениях являются результатом метаболических процессов, связанных с перемещением химических элементов из почвы через корневую систему и аккумулярованием атмосферного аэрозоля. Первый (официальный) вариант критериев представлен в табл. 1.2, где оценка территорий была проведена в соответствии с «нормальным» (фоновым) состоянием, кризисом и бедствием [Ермаков 2015].

Таблица 1.2 – Биогеохимические критерии оценки экологического состояния территорий [Критерии... 1992]

Параметры		Экологическое бедствие	Чрезвычайная экологическая ситуация	Относительно удовлетворительная ситуация
Основные критерии				
Соотношение $C : N$	В почвах	<4	4-8	8-20
	В поверхностных водах	<4 или >20	<8 или >16	8-12
	В растениях	< 4	4-8	8-12
	В растительных кормах	<4 или >16	<4 или >12	4-8
Превышение МДУ* химических элементов в укосах растений и растительных кормах	Hg, Cd, Pb, As, Sb, Ni, Cr, Ta, Be, Ba (выше фона)	>10 раз	5-10	1,1-1,5

Параметры		Экологическое бедствие	Чрезвычайная экологическая ситуация	Относительно удовлетворительная ситуация
Дополнительные критерии				
Соотношение Са : Р в растениях и кормах (% площади аномального ландшафта)**		<0,1 или >5 (>20%)	<0,4 или >5 (>20%)	1-2 (>20%)
Соотношение Са : Sr в растениях и кормах (% площади аномального ландшафта)		менее 1 (>20%)	<10-1 (>20%); <1 (5-20%)	>100 (20-100%); 100-50 (<20%)
Уровень содержания необходимых микроэлементов в укосах растений и растительных кормах, мг/кг	Se	<0,02 или > 5	<0,05 или >5	0,1-0,5
	F	<2 или >200	<10 или >50	10-20
	Cu	<3 или >100	<5 или >80	10-20
	I	<0,05 или >20	<0,1 или >2	0,2-2
	Zn	<10 или >500	<30 или >100	30-60
	Fe	<20 или > 500	<50 или >200	50-100
	Mo	<0,2 или >50	<2 или >10	2-3
	Co	<0,1 или >50	<0,3 или >5	0,3-1
	B	<0,1 или >300	<1 или >30	1-30

Примечание: *МДУ – максимально допустимый уровень; **размер неблагоприятной территории – более 20% общей площади административной единицы (село, район, город и т.д.).

Для того, чтобы ранжировать концентрационный фактор, территории соотносились со степенью экологического состояния: 1 – территории с относительно удовлетворительной экологической ситуацией (зона относительного благополучия), 2 – районы с ограниченными и обратимыми, в большинстве случаев с устранимыми экологическими нарушениями (зоны риска), 3 – территории с высокой степенью экологических проблем, возникших в течение длительного периода времени на большой территории с длинным сроком реабилитации и высокими расходами (зона экологического кризиса), 4 – районы с очень высокой степенью экологических нарушений, необратимыми последствиями, практически имеющие очерченную локализацию и специальную утилизацию (зона бедствия) [Критерии... 1992; Ермаков 2015].

Согласно закону распределения данных (рис. 1.5), зоны 1, 2, 3 соответствуют известным значениям допустимого, предельно допустимого состояний и критических уровней нарушений, которые определяются из уравнения логистической кривой, как максимумы первой и второй производных.

Практически диапазоны концентраций химических элементов, их соотношения в растениях формируются с учетом различных данных о связи между содержанием химических элементов в растениях (укосы трав, пищевые продукты) и степенью патологии животных и человека (пороговые концентрации микроэлементов). Учитываются также биогеохимическая дифференциация растений, морфологические и физиологические нарушения. Кроме того, принимается во внимание целесообразность накопления химических элементов в системе «почва – растение», токсикологические и гигиенические характеристики химических элементов и их соединений, продолжительность действия некоторых химических элементов на организм и площадь неблагоприятного воздействия.

Некоторые пороговые концентрации микроэлементов и их предельно допустимые уровни в рационе сельскохозяйственных животных представлены в табл. 1.2. Для большинства микроэлементов предельно допустимые уровни, разработанные с токсикологических и гигиенических позиций, приближаются к верхней предельной концентрации (Fe, Cu, Mo, Co, J). Относительно Zn и Se нет согласованности между биогеохимическими пороговыми концентрациями микроэлементов и предельно допустимыми уровнями. Для Mn и В гигиенические параметры отсутствуют. Но биогеохимические данные показывают развитие патологии организмов как при обогащении среды В (эндемическая диарея), так и Mn (случаи токсичности для растений и животных).

Биогеохимические критерии, касающиеся микроэлементов и других химических элементов, также приведены в табл. 1.2. Они являются частью «Критериев оценки экологической обстановки территорий для выявления зон чрезвычайной экологической ситуации и зон экологического бедствия» [1992] наравне с медицинскими и другими критериями.

Существуют критерии оценки степени загрязнений почвы, воды и воздуха, изменений геологической среды, деградации почв и наземных экосистем. В отличие от других, биогеохимические критерии носят системный характер. Было проанализировано множество данных по каждому микроэлементу в различных публикациях. Более поздний вариант биохимических критериев приведен в табл. 1.3. В этом варианте оценка территорий ранжирована в соответствии с относительно удовлетворительным состоянием, риском, кризисом и катастрофой. Биогеохимическая оценка зон экологической напряженности осуществляется в случае видимого нарушения локальных циклов химических элементов и проявления у животных и человека патологий, связанных с избытком или недостатком биологически активных химических элементов в окружающей среде и биогеохимической пищевой цепи.

Таблица 1.3 – Биогеохимические критерии оценки экологического состояния территорий*
[Ермаков, Тютиков 2008; Ермаков 2015]

Химический элемент	Степень экологического неблагополучия			Относительно удовлетворительное состояние
	бедствие	кризис	риск	
1 Концентрации микроэлементов в укосах, пастбищных растениях и растительных кормах (мг/кг сухого вещества)				
Zn	<2; >500	2-10; 100-500	10-20; 60-100	20-60
Cu	<1; >100	0,5-2; 80-100	2-5; 20-80	5-20
Co	<0,01; >50	0,01-0,05; 5-50	0,05-0,2; 5-10	0,2-1
Mo	<0,2; >50	0,2-0,5; 10-50	0,5-1; 3-10	1-3
B	<1; >300	0,1-0,5; 100-300	0,5-1; 30-100	1-30
F	<1; >200	1-3; 100-200	3-5; 30-100	5-30
J	<0,05; >20	0,05-0,1; 5-20	0,1-0,2; 2-5	0,2-2
Se	<0,01; >50	0,01-0,03; 10-50	0,03-0,05; 1-10	0,05-1
2 Концентрации микроэлементов в укосах, пастбищных растениях и растительных кормах (мг/кг сухого вещества)				
As, Cd, Cr, Pb, Hg, Ni, Sb	>10	5-10	1,5-5	1,1-1,5

Химический элемент	Степень экологического неблагополучия			Относительно удовлетворительное состояние
	бедствие	кризис	риск	
3 Концентрации микроэлементов в укосах, пастбищных растениях и растительных кормах (мг/кг сухого вещества)				
Ba, Be, Tl	>10	5-10	1,5-5	1,1-1,5
4 Отношение кальция к фосфору в кормах				
Ca : P	<0,1; >10	0,1-0,4; 10-30	0,4-1; 3-10	1-3
5 Отношение кальция к стронцию в кормах и укосах				
Ca : Sr	>1	1-10	10-50	>50-100

Примечание: *размер неблагополучной территории – более 20% площади административной и природной единицы (село, район, город, природный комплекс).

Применение биогеохимических критериев предусматривает знание параметров экспозиции источника загрязнения, его распространения и локализации, а также данные о состоянии здоровья человека и животных.

Если необходимо, биогеохимические исследования потенциально неблагоприятных территорий должны осуществляться с использованием методологии геохимической экологии, геохимии ландшафтов, почвенной микробиологии и т.п. В свое время биогеохимические критерии были поддержаны Министерством защиты окружающей среды и природных ресурсов Российской Федерации и рекомендованы к практическому использованию [Критерии... 1992].

Следует заметить, что данные биохимические критерии полезны для оценки агро- и биогеоценозов и здоровья животных. Они корректируются в зависимости от получения новой информации, связанной, в основном, с взаимодействием природных и техногенных факторов миграции химических элементов [Ермаков 2015]. В отношении человека необходимо разработать другие комплексные методические подходы, например, суточное потребление биологически активных химических элементов [Скальный 2004].

Возвращаясь к анализу критериев, следует отметить необходимость уточнения ряда предложенных биогеохимических параметров, заложенных в соответствующих критериях. В частности, требует изучения и коррекции отношение Ca : Sr в почвах, растениях и организмах. Этот критерий был разработан на основе изучения уровских биогеохимических провинций [Ковальский 1974]. Для других регионов соотношение Ca : Sr нуждается в уточнении в связи с образованием антропогенных биогеохимических провинций, обогащенных стронцием. Кроме того, в некоторых случаях дефицит микроэлементов может быть устранен с помощью различных современных технологий. Существенную роль играет и взаимодействие макро- и микроэлементов в биогеохимических циклах. Поэтому оценка территорий, отнесенных к зонам бедствия по уровню содержания микроэлементов в растениях, также требует коррекции [Ермаков 2015].

Таксоны биосферы (регионы, субрегионы и зональные биогеохимические провинции) не обладают биогеохимической однородностью. В экстремальных условиях субрегионов биосферы биогенные циклы химических элементов приобретают характерные черты и могут быть ярко выражены биологические реакции организмов, вызываемые недостатком или избытком определенных естественных или техногенных химических элементов. Использование научно-обоснованной системы критериев и параметров мониторинга микроэлементозов позволяет выявить биогеохими-

ческие провинции и эндемии, получить реальную и объективную информацию об экологической ситуации на территориях, об особенностях химического элементного состава организмов и компонентов окружающей среды, что необходимо для принятия современных и эффективных решений по профилактике микроэлементозов [Скальный 2004; Ермаков 2015].

Следует подчеркнуть чрезвычайную сложность проблемы биогеохимического нормирования. К настоящему времени накоплен огромный материал, демонстрирующий важность геохимических факторов в экологии. Это не означает приоритетность некоторых из них (состояние дефицита и избытка микроэлементов, влияние техногенных факторов и т.п.). Но при экологической оценке таксонов биосферы геохимические факторы должны найти достойное место среди других, возможно, более значимых (геофизические, геологические, радиоэкологические и другие) [Ермаков 2015].

На основе биогеохимического нормирования осуществляется биогеохимическое районирование таксонов биосферы, что составляет одну из важнейших задач современного естествознания. Система биогеохимического районирования может быть основой изучения экологического строения биосферы. Это очередная задача биогеохимии. Решение поставленной задачи позволит объединить усилия геохимиков, медиков, ветеринаров, растениеводов на единой научно-методологической основе для создания конкурентоспособной экологической продукции, что, в свою очередь, будет стимулировать развитие предприятий, специализирующихся на производстве высококачественной продукции. Это позволит усовершенствовать систему контроля за деятельностью предприятий, осуществляющих выброс химических элементов в окружающую среду, а также прогнозировать развитие промышленного и сельскохозяйственного производства, учитывать биогеохимические факторы в медицине и ветеринарии [Ермаков 2015].

Экологическая биогеохимия и техногенез

Экологические аспекты биогеохимии во многом связаны с техногенезом. Термин «техногенез» был предложен А. Е. Ферсманом [1934: 133], который определял его как «совокупность геохимических и минералогических процессов, вызванных технической (инженерной, горно-технической, химической, сельскохозяйственной) деятельностью человека» [Ферсман 1955]. Техногенез, наряду с антропогенезом, многократно усилил потоки химических элементов и соединений, которые постоянно вносят дисбаланс в геохимические процессы земной коры, педосферы и биосферы, гидросферы и атмосферы. Масштабность техногенеза на Земле постоянно усиливается и становится сравнимой с геологическими процессами. К его определяющим факторам относятся проблемы народонаселения планеты, качества природных сред (прежде всего атмосферного воздуха, воды и почвы), количества и качества сырьевых ресурсов, пищевых продуктов и энергии [Ермаков 2023а].

Для техногенеза характерна также миграция веществ, которые не существуют в природе, но были синтезированы человеком. В этой связи важное значение имеет принцип адекватности используемых материалов и технологий продуктивности ресурсам биосферы – состояние баланса и его сохранение. Значение этого принципа наиболее полно отражено в биогеохимии при изучении циклов химических элементов.

Техногенное развитие биосферы является одним из этапов ее естественной эволюции. В условиях техногенной эволюции таксонов биосферы антропогенные потоки вещества часто сравнимы с природными потоками (табл. 1.4).

Таблица 1.4 – Глобальная эмиссия химических элементов, тыс. т/год [Ермаков, 2023а]

Химический элемент	Природная эмиссия		Техногенная эмиссия	
	[Расуна 1992]	[Makherjee 2001]	[Расуна 1992]	[Makherjee 2001]
Cd	0,96	0,1-3,9	7,6	5,6-37,7
Co	5,4	0,6-11,4	–	–
Cr	53,9	4,5-83,0	30,5	585,0-1310,0
Cu	18,9	2,2-53,8	35,4	542,0-1403,0
Hg	0,16	0,0-4,9	3,6	1,6-15,0
Mn	516,0	51,6-582,0	38,3	706,0-2633,0
Ni	26,0	2,9-56,8	55,7	93,3-494,0
Pb	18,6	0,9-23,5	332,0	479,0-1039,0
Zn	45,5	4,0-86,0	132,0	689,0-1954,0
V	66,1	70,0	90,0	21,4-138,0
As	7,8	1,1-23,5	18,8	52,4-111,6
Se	0,4	–	3,8	6,0-76,5

Из-за обширной индустриализации и эскалации загрязнения биосфера сталкивается с проблемами, связанными с обогащением почвы и других природных сред тяжелыми металлами и металлоидами [Agarwal et al. 2023].

В современных условиях тяжелые металлы и металлоиды повсеместно распространены и устойчивы в окружающей среде. Разнообразная антропогенная деятельность, включая изменение технологий землепользования, химизацию сельского хозяйства, транспорт, промышленные выбросы, добычу полезных ископаемых, металлообработку и другое, увеличивает их распространение и накопление в наземных и водных экосистемах. Повышение концентраций приоритетных металлов в природных средах, в том числе Pb, Cr, Ni, Cu, Cd, Hg, представляет огромные риски для общественного здравоохранения, экологической безопасности и биоразнообразия. Неблагоприятное воздействие тяжелых металлов на взаимодействие растений и животных, жизнеспособность пыльцы, приспособленность видов, их богатство и численность к настоящему времени слабо изучены. Загрязнение тяжелыми металлами и металлоидами все еще остается растущей проблемой, отрицательно влияющей на наземные экосистемы, здоровье человека и биосферу в целом [Musach 2025].

Понятия геохимической нормы, фона, предельно допустимых концентраций, экологического риска

Экзогенные и эндогенные потоки веществ, мигрирующие в экосистему и из нее, определяемые воздействием атмосферы, гидросферы и литосферы, являются общими для фоновых территорий и биогеохимических провинций. Основные причины их эволюции следующие: цикличность биогеохимических процессов; изменение масштабов и технологий добычи и переработки руд; морфологические природные изменения структуры и состава провинций (природные катастрофы – наводнения, оползни, сели, землетрясения, ураганы, тайфуны, наводнения, вулканы); техногенное преобразование провинций (загрязнение, изменение состава среды и организмов); влияние энергетических факторов (сжигание топлива, добыча угля, нефти, газа); интенсивное использование минеральных удобрений и пестицидов; экстенсивное земледелие; войны, природные и техногенные катастрофы. Один из методов отслеживания изменений химического элементного состава во времени – одновременный анализ организмов или почв,

отобранных в разные периоды времени. Другой путь – анализ литературных данных по содержанию макро- и микроэлементов в растениях [Ермаков 2023а; Campbell 2024].

Все эти направления требуют использования понятий биогеохимической нормы и фоновых территорий, так называемых «нормальных» и «фоновых» концентраций химических элементов. Анализ современных исследований указывает на смещение научного интереса от глобальных химических потоков к более мелким масштабам в сценариях регионального, локального и даже микроуровня, что также очень важно, поскольку позволяет оценивать временную и пространственную динамику биогеохимических процессов в конкретных экосистемах, составляющих биосферу в целом [Campbell 2024].

В экологической геохимии под нормой понимаются концентрации химических элементов, обычные для данного ландшафта и к которым местные биоценозы адаптированы в процессе эволюции. Такие концентрации называются природно-фоновыми.

В качестве нормативных величин при эколого-биогеохимических исследованиях чаще всего применяются природно-фоновые содержания химических элементов. Особенно широко используются так называемые локальные или региональные фоны [Янин 2003]. Геохимический фон элемента или соединения в общем случае представляет собой оценку среднего содержания и показателей варьирования этого элемента, рассчитанную для участков, находящихся за пределами пространства его природной или техногенной концентрации [Сает и др. 1990]. Следовательно, геохимический фон – это система количественных показателей содержания химических элементов, находящихся в состоянии рассеяния, определенная природная геохимическая и биогеохимическая норма.

Региональный геохимический фон элементов рассчитывается для тех компонентов природной среды, химический состав которых обладает относительной устойчивостью во времени и пространстве. Исходя из этого определяют геохимический фон почвообразующей породы, почвенного покрова, растительности, природных вод и донных отложений [Янин 2003].

Изучение фонового содержания химических элементов в компонентах окружающей среды в различных регионах биосферы необходимо, во-первых, для комплексного эколого-биогеохимического картирования и районирования территорий и определения обеспеченности их жизненно необходимыми элементами и, во-вторых, для оценки степени химического загрязнения локальных участков территорий, подверженных техногенному воздействию, экологического прогноза и разработки природоохранных мероприятий. В последние десятилетия в связи со все возрастающими темпами развития технического прогресса и увеличивающимися объемами вредных отходов производства фоновые уровни химических элементов главным образом используются для определения степени загрязнения окружающей среды [Сает и др. 1990].

Местный геохимический фон отражает особенности распределения химических элементов в коренных горных породах, в рыхлых отложениях, водах, растениях и атмосфере, не затронутых какими-либо рудообразующими или техногенными процессами. Местный геохимический фон определяется относительно низкими количествами химических элементов, обычно близкими к величине их кларков.

Интенсивность загрязнения территории рассчитывается по отношению к геохимическому фону (наряду с ПДК), который является важной «реперной» или базисной характеристикой при количественной оценке техногенной или природной аномалии. Это – один из важнейших методологических подходов при определении состояния и уровня техногенного загрязнения абиотических компонентов и биоты. В эколого-геохимическом отношении фоновые террито-

рии считаются наиболее благоприятными для жизнедеятельности человека, хотя и на них чаще всего отмечаются обширные биогеохимические провинции с дефицитом или избытком некоторых жизненно важных элементов [Биогеохимические основы... 1993].

Предельно допустимая концентрация (ПДК) – утвержденный в законодательном порядке санитарно-гигиенический или рыбохозяйственный норматив. Под ПДК понимается такая максимальная концентрация химических элементов и их соединений в окружающей среде, которая при повседневном влиянии в течение длительного времени на организм человека не вызывает патологических изменений или заболеваний, определяемых современными методами исследований, в любые сроки жизни настоящего и последующего поколений. Для установления ПДК используют расчетные методы, результаты биологических экспериментов, а также материалы динамических наблюдений за состоянием здоровья лиц, подвергшихся воздействию вредных веществ. В последнее время широко используются методы компьютерного моделирования, предсказания биологической активности новых веществ, биотестирование на различных объектах.

Значения ПДК включены в ГОСТы, санитарные нормы и другие нормативные документы, обязательные для исполнения на всей территории государства; их учитывают при проектировании технологических процессов, оборудования, очистных устройств и пр. Санитарно-эпидемиологическая служба в порядке санитарного надзора систематически контролирует соблюдение нормативов ПДК в воде водоемов хозяйственно-питьевого водопользования, в атмосферном воздухе и в воздухе производственных помещений; контроль за состоянием водоемов рыбопромыслового назначения осуществляют органы рыбнадзора.

Величины ПДК установлены далеко не для всех химических элементов. В связи с этим в экологических изысканиях достаточно часто применяют кларки химических элементов как нормирующие значения. При исследовании почв и грунтов концентрации загрязняющих элементов сопоставляются со средними содержаниями (кларками) в земной коре. Для оценки экологического состояния городских почв в качестве стандартов, относительно которых рассчитывается превышение, могут быть использованы кларки почв селитебных ландшафтов [Алексенко, Алексенко 2013].

В настоящее время все более распространенным является достаточно разработанный «вероятностный» подход, развиваемый ЕРА (Управление по охране окружающей среды, США) с начала 1980-х годов. Он предполагает оценку экологического риска, в нем учтена возможность совместного действия вредных факторов, причем их весовые коэффициенты могут меняться в зависимости от меры схожести зависимостей в математическом анализе или аддитивности этих факторов. Такой подход исключает использование жестко фиксированных ПДК, заменяя их специальными исследованиями оценки риска, более обоснованными и информативными. В предельном случае оценка риска может дать и значения лимитов на концентрации (уровни) вредных факторов, совпадающие с ПДК. Экологическую оценку риска применяют в случаях, когда невозможно дать однозначный ответ о воздействии химического загрязнения на здоровье человека и состояние окружающей среды. Поскольку вредное воздействие проявляется практически всегда и варьирует лишь степень нанесения ущерба, то требуемый ответ должен содержать в себе оценку именно вероятности проявления экологического риска. Кроме того, необходим ответ на вопрос о приемлемости риска для человека и различных экосистем [Башкин 2007].

2 ЭКОЛОГО-БИОГЕОХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В САМАРСКОЙ ОБЛАСТИ

Анализ литературных источников показывает, что история эколого-геохимических и биогеохимических исследований природных и техногенно-трансформированных экосистем на территории Самарской области не слишком длительна. Научные материалы о накоплении и распределении химических элементов в ландшафтных компонентах Самарской (до 1992 года – Куйбышевской) области появились в научной печати в 70-х годах XX века. Именно в это время происходит становление экологического направления в геохимии ландшафта в целом. Одними из первых в этом плане являются работы С. С. Праздникова [1972], посвященные исследованию содержания Mn в почвах лесостепи на территории Куйбышевской области. Полученные результаты впоследствии были использованы при подготовке сборника «Микроэлементы в почвах СССР» [1981], в котором также содержатся данные о подвижных формах некоторых тяжелых металлов (Mn, Cu, Zn, Co, Ni) в черноземных почвах Куйбышевской области. Авторы обобщили весь имеющийся на тот период достаточно скудный и разрозненный материал, содержащийся, в основном, в ежегодных региональных сборниках Госкомитета СССР по гидрометеорологии и контролю природной среды.

Позднее Б. А. Исупов [1988] на территории Поволжской АГЛОС ВНИАЛМИ и на прилегающем к ней участке совхоза «Октябрьский» изучал содержание, характер миграции и аккумуляции Pb, Ni, Zn, Co, Cu в элювиальных, транзитных и супераквальных ландшафтах. Он установил преимущественное накопление Co, Pb, Ni в почвах подчиненных ландшафтов исследуемой территории.

В предшествующий период также публиковались некоторые данные Приволжского УГКС о загрязнении почв (в том числе и тяжелыми металлами). Они носили прикладной характер, так как были ориентированы на нужды Госкомитета СССР по гидрометеорологии и контролю природной среды. Из-за грифа «ДСП» доступность их всегда была ограничена. Кроме того, эти данные имеют узколокальный характер, касаясь лишь некоторых почв урбанизированных и значительно загрязненных территорий, а также небольших контрольных (фоновых) участков. В качестве примера можно назвать «Ежегодник загрязнения почв Приволжского УГКС за 1986 год» [1987], в котором приведены сведения о содержании Mn, Cr, V, Zn, Pb, Ni, Co, Mo, Sn, Cu в некоторых почвогрунтах города Самары в зависимости от удаления от источника загрязнения в сравнении с почвой фоновой участка по данным за 1984, 1985 и 1986 годы.

Самонова О. А. [1991] исследовала подвижность тяжелых металлов в почве пригородной зоны г. Тольятти. Ею при этом получены некоторые данные о дифференциации валовых и подвижных форм Zn, Cr, V, Ni, Co, Cu, Pb в супесчаных почвах. В ходе исследований установлено, что наиболее характерными типами распределения валовых форм тяжелых металлов в почвах пригорода Тольятти являются биогенно-аккумулятивный и элювиально-иллювиальный.

Наиболее информативной и значимой в качестве исходного базиса для детального изучения содержания тяжелых металлов в почвенном покрове Самарской Луки является работа Н. С. Касимова с соавторами [1992], которые, изучая геохимию тяжелых металлов в лесостепной зоне, использовали в качестве одного из эталонных участков Жигулевские горы. Они определили здесь фоновые уровни содержания валовых и подвижных форм тяжелых металлов, их радиальное и латеральное распределение, выявили биогенную аккумуляцию Mn, Cu, Zn, Pb, Co, Ni и элювиально-иллювиальную дифференциацию Cr, Co, Ni, V в профиле почв.

В правобережной части Самарской области (Сызранский район) проводились биогеохимические исследования В. П. Учватовым и А. В. Учватовым [1997]. В дальнейшем В. П. Учватов [2003] изучал экологическую устойчивость ландшафтов к геохимическим техногенным потокам тяжелых металлов, в том числе на примере Правобережья Самарской области.

Примером эколого-геохимического анализа городской среды для Самарской области может служить диссертационная работа О. В. Моисеенкова [1989], посвященная оценке эколого-геохимического состояния г. Тольятти. Более новые данные о загрязненности почв г. Тольятти тяжелыми металлами представлены в работе Г. А. Светличной и И. Г. Морозова [2004]. Авторами проведен сравнительный анализ загрязненности почв Комсомольского, Автозаводского и Центрального районов города, выявивший максимальную загрязненность почв Автозаводского района. Развернутые данные о накоплении тяжелых металлов в овощных культурах, выращиваемых на территории г. Тольятти и в его окрестностях представлены в работе «Экогеохимия городских ландшафтов» [1995].

Примером сочетания различных научных направлений в экологической биогеохимии являются работы М. И. Дергачевой, изучающей палеопочвы. В соавторстве с Г. В. Мотузовой и Е. В. Карповой она провела исследования содержания тяжелых металлов в погребенных черноземных почвах из курганов в Красноярском, Нефтегорском и Ставропольском районах Самарской области. Полученные данные сравнивались с концентрациями этих же элементов в современных почвах соответствующих участков [Дергачева, Иванов 1996; Дергачева и др. 2003]. В качестве сравниваемых фоновых величин использовали результаты, полученные Н. В. Прохоровой с соавторами [Матвеев и др. 1997; Прохорова и др. 1998].

В период с 1991 по 2005 год на базе кафедры экологии, ботаники и охраны природы Самарского государственного университета были проведены детальные эколого-биогеохимические исследования всей территории Самарской области. В результате этих исследований были установлены фоновые уровни содержания тяжелых металлов в почвенном покрове области в целом, во всех представленных здесь типах и подтипах почв, в почвах отдельных естественных, сельскохозяйственных и урбанизированных ландшафтов, а также в дикорастущих и сельскохозяйственных растениях [Матвеев и др. 1997; Прохорова и др. 1998; Прохорова 2013 и др.].

Основой эколого-биогеохимических исследований почвенного и растительного покрова стал зональный подход, позволивший выявить существенные различия в распределении и накоплении тяжелых металлов в почвах и растениях лесостепи и степи. Необходимым дополнением к зональным исследованиям явился выход на ландшафтный уровень оценки аккумуляции тяжелых металлов в почвах и растениях лесостепного и степного Поволжья. Наиболее подробно были изучены биогеохимические особенности ландшафтов Самарской Луки, что определяется особенностями ее географического положения в центре Самарского промышленного узла и расположением на ее территории Жигулевского государственного природного биосферного заповедника им. И. И. Спрыгина и Национального парка «Самарская Лука» [Прохорова 2003].

Используемые в работе новые компьютерные технологии и геоинформационные системы придали особую наглядность полученным результатам и позволили осуществить достаточно точную оценку происходящим эколого-биогеохимическим процессам в почвенном и растительном покрове изучаемой территории [Матвеев и др. 1997; Прохорова, Матвеев 2006].

Зональный и, особенно, ландшафтный подход к изучению накопления тяжелых металлов в почвенном покрове предопределили более подробное рассмотрение данной проблемы на уровне типов и подтипов почв. В результате проведенных исследований был получен большой массив данных о содержании тяжелых металлов в основных типах почв Самарской области (черноземах, аллювиальных дерновых насыщенных, серых лесных, дерново-карбонатных, темно-каштановых, солонцах, техногенных грунтах) и во всех подтипах черноземов (выщелоченных, оподзоленных, типичных, обыкновенных, южных) [Матвеев и др. 1997]. Лесостепной и степной характер изучаемой территории определяет высокую степень ее сельскохозяйственной освоенности. Проведенные исследования показали, что агротехнические мероприятия и возделывание различных сельскохозяйственных культур значительно влияют на особенности накопления и миграцию тяжелых металлов в почвенном и растительном покрове агроландшафтов [Матвеев и др. 2008].

Важной стороной эколого-биогеохимических исследований в лесостепном и степном Поволжье явилось изучение накопления тяжелых металлов в продукции растениеводства в зависимости от условий произрастания, в том числе с использованием современных ГИС-технологий. В результате были выявлены территории, пригодные для получения экологически безопасной продукции, показана видовая специфичность сельскохозяйственных культур и сорняков в отношении накопления тяжелых металлов, установлены закономерности распределения химических элементов по органам растений [Прохорова, Матвеев 2006; Макарова 2006].

Достаточно подробно и разносторонне изучалось влияние техногенеза на уровень накопления тяжелых металлов почвами и растениями региона, проводились выявление и экологическая оценка источников поступления тяжелых металлов в окружающую среду. В этой связи были изучены также минеральные шламы металлообрабатывающих производств, содержащие широкий набор тяжелых металлов – Cr, Co, Cu, Zn, Mn, Ni и другие.

Как и в агроландшафтах, в естественных луговых, степных и лесных фитоценозах Самарской области параллельно почвенным эколого-геохимическим исследованиям проводили изучение металлоаккумуляции у наиболее распространенных высших травянистых, древесно-кустарниковых растений и мхов. Видовая специфика металлоаккумуляции особенно подробно изучалась на примере доминантов широколиственных лесов – дуба черешчатого и ландыша майского. Полученные данные по дикорастущим видам позволили оценить среднее содержание тяжелых металлов в орехоплодных и плодово-ягодных растениях Самарского региона [Прохорова и др. 1998]. Начата работа по изучению региональных эколого-биогеохимических особенностей грибов, лишайников, мохообразных [Богданова и др. 2022; Билимович и др. 2023].

В лабораторных и полевых условиях были проведены модельные эксперименты по изучению влияния тяжелых металлов на рост и развитие высших растений, а также микроскопических грибов из рода *Alternaria*, штаммы которых были выделены из воздуха г. Самары [Прохорова и др. 2004].

Так как управление работой сельскохозяйственных предприятий в масштабах любого региона России, в том числе и в Самарской области ведется с учетом административного деления, важной составляющей наших исследований была оценка накопления и распределения тяжелых металлов в почвах и продукции растениеводства ее отдельных административных районов. Этот аспект также важен при оценке влияния биогеохимических характеристик территории на здоровье населения, так как статистические данные Минздрава РФ привязаны к адми-

нистративному делению страны, республики, края или области на определенные районы [Селезнева и др. 2004].

Статистический анализ полученных данных и результаты изолинейного картирования территории с помощью ГИС позволили сделать вывод о том, что основными источниками тяжелых металлов в лесостепном и степном Поволжье в границах Самарской области являются урбанизированные территории с развитой промышленностью и коммуникациями. Наиболее подробно изучались эколого-биогеохимические особенности территорий городов Самара, Тольятти, Отрадный, Сызрань, Новокуйбышевск и Чапаевск [Рогулева 2007; Морозова 2009; Прохорова и др. 2017; Прохорова и др. 2019; Бугров и др. 2020; Прохорова и др. 2022 и др.]. Изолинейное картирование на основе общей базы данных о содержании тяжелых металлов в почвенном покрове изучаемого региона позволило в той или иной степени оценить общее влияние селитебных зон на распределение конкретных элементов в почвах прилегающих территорий [Матвеев и др. 1997].

Количественный многоэлементный анализ для природных объектов достаточно трудоемок и дорог. Это обстоятельство требует разработки и привлечения более экономичных и экспрессных методов для экологического мониторинга состояния окружающей среды. Для этой цели нами было предложено использовать в натурных исследованиях гистохимический метод выявления тяжелых металлов в растительных тканях на основе дитизона. Сам метод был разработан ранее И. В. Серегиним и В. Б. Ивановым [1997] для модельных лабораторных экспериментов. Наши исследования показали, что он вполне применим и для натурных исследований [Макарова 2006], а в качестве биоиндикатора можно использовать ткани годичных побегов древесных растений. Результаты гистохимического анализа дают возможность оценить как почвенное, так и аэральное проникновение тяжелых металлов в растения, что очень важно для эколого-биогеохимического мониторинга городской среды [Прохорова и др. 2003].

Эколого-биогеохимические исследования природных и техногенно-преобразованных экосистем Самарской области продолжают и в настоящее время.

3 ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ГЕОХИМИЯ ПОЧВ

3.1 Почва как объект изучения. Группы химических соединений почвы по степени растворимости и их значение для живых организмов

Почва – это самостоятельное природное тело, возникшее на поверхности нашей планеты в результате длительного воздействия на нее факторов неживой природы (почвообразующей горной породы¹, рельефа, климата) и живой природы (микроорганизмов, растений, животных, человеческой деятельности). В состав почвы входят твердые минеральные, органические и органо-минеральные частицы, вода и воздух. Она обильно населена живыми организмами.

В целях изучения почву подвергают многостороннему анализу – минералогическому, механическому, химическому, микробиологическому и др. Анализ почвы – это совокупность операций, направленных на выявление ее состава и свойств.

Одним из самых распространенных видов анализа почвы является химический анализ. Он позволяет исследовать свойства почвы (кислотность, щелочность, поглонительную способность), установить ее химический состав (содержание химических элементов и их соединений, в том числе жизненно-важных для живых организмов макро- и микроэлементов, потенциально-опасных радионуклидов, искусственно синтезированных человеком соединений). Таким образом, при помощи химического анализа у исследователя появляется возможность оценить почвенное плодородие, степень засоленности и загрязненности почв химическими элементами и их соединениями, пригодность почв для развития тех или иных видов растений и т.д.

Полный химический анализ почвы достаточно трудоемок и требует специальных приборов. Вместе с тем существует система легко выполнимых химических определений, позволяющих получить общее представление об особенностях химического состава почвы. Она основывается на способности почвенных соединений переходить в раствор при взаимодействии с такими растворителями, как вода, кислоты, щелочи и соли. Образующийся в результате воздействия растворителя на почву раствор называют *почвенной вытяжкой*.

По степени растворимости выделяют следующие группы химических соединений почвы.

1. *Легкорастворимые соединения почвы.* К ним относятся: хлориды натрия (NaCl), магния (MgCl_2) и кальция (CaCl_2), карбонат и гидрокарбонаты натрия (Na_2CO_3 , NaHCO_3 , $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$, $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$), гидрокарбонаты кальция $[\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2]$ и магния $[\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2]$, сульфаты натрия (Na_2SO_4) и магния (MgSO_4), нитраты, нитриты и др. Помимо минеральных солей, к числу легкорастворимых относятся и некоторые органические соединения почвы – фульвокислоты и их соли фульваты, образующиеся при взаимодействии фульвокислот с катионами металлов (натрия, калия, кальция, магния).

Характерной особенностью легкорастворимых соединений почвы является хорошая растворимость в воде. Почти повсеместная постоянная или эпизодическая обеспеченность почв жидкой водой приводит к растворению этих соединений в почвенном профиле² и практически полному их вымыванию из верхних почвенных горизонтов в нижние. Таким образом, легкорастворимые соединения – это химически наиболее подвижные соединения почвы.

¹ Почвообразующая, или материнская, горная порода – это верхний слой горной породы, на котором образуется почва.

² Почвенный профиль – это вертикальный разрез почвы от ее поверхности до материнской горной породы, сложенный постепенно переходящими друг в друга почвенными слоями – почвенными горизонтами. Мощность почвенного профиля колеблется от нескольких десятков сантиметров до нескольких метров.

Содержание в почве легкорастворимых соединений особенно значимо для растений, так как именно эти соединения, по сравнению с другими группами веществ, поглощаются растениями в первую очередь и составляют основу их минерального питания. При этом содержание в почве, особенно в ее верхнем горизонте, некоторых легкорастворимых соединений (NaCl , MgCl_2 , CaCl_2 , Na_2CO_3 , Na_2SO_4 и MgSO_4) в количестве более 0,25% от массы почвы опасно для абсолютного большинства видов растений: оно затрудняет их водоснабжение, изменяет ход азотного обмена, замедляет синтез белков и приводит к накоплению токсичных продуктов их распада, подавляет рост. Почвы с высоким содержанием солей называют засоленными, а населяющие их виды растений – *галофитами*. К числу галофитов относятся солеросы (представители рода *Salicornia*, например, *Salicornia perennans* – солерос солончаковый), сведы (*Suaeda acuminata* – сведа заостренная, *Suaeda prostrata* – сведа стелющаяся, *Suaeda salsa* – сведа солончаковая), оксибазисы (*Oxybasis urbica* – оксибазис городской, *Oxybasis glauca* – оксибазис сизый, *Oxybasis rubra* – оксибазис красный), кермеки (*Limonium sareptanum* – кермек сарептский, *Limonium gmelinii* – кермек Гмелина), полыни (*Artemisia pauciflora* – полынь малоцветковая, *Artemisia santonica* – полынь сантонинная, *Artemisia dracunculus* – полынь эстрагон), гребенщики (*Tamarix ramosissima* – гребенщик многоветвистый) и др. Приспособлению галофитов к засоленным местообитаниям способствует наличие у них ряда морфолого-физиологических приспособлений, в частности: слабо проницаемой для солей либо проникающей ниже соленосного слоя корневой системы, железок для выведения избытка солей, высокого осмотического давления клеточного сока.

Легкорастворимыми соединениями, повышающими плодородие почвы, являются нитраты.

2. *Среднерастворимые соединения почвы* практически не растворимы в воде (их растворимость в 1000 и более раз ниже растворимости легкорастворимых соединений), но хорошо растворимы в слабых растворах кислот. К этой группе принадлежат карбонаты кальция (CaCO_3) и магния (MgCO_3), сульфаты кальция ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, или гипс), частично гидроксиды железа $[\text{Fe}(\text{OH})_2, \text{Fe}(\text{OH})_3]$, некоторые фульвокислоты и их соли и др.

3. Отличительной чертой *малорастворимых соединений почвы* является их растворимость в щелочах, тогда как в воде и кислотах они не растворяются. К ним относят гуминовые и гиматомелановые кислоты и их соли – важные составные части почвенного гумуса³.

Поглощая химические элементы из почвы и синтезируя первичную биологическую продукцию, являющуюся источником вещества и энергии для последующих звеньев живых организмов в пищевой цепи, растения вовлекают элементы в биосферные миграционные потоки. В этом плане перед исследователем встает приоритетная необходимость анализа содержания в почве именно легкорастворимых и высокоподвижных соединений, доступных для поглощения растениями в первую очередь. Обнаружение таких соединений происходит в водной вытяжке, где они представлены, главным образом, хлоридами и сульфатами натрия, кальция, магния и ряда других химических элементов.

³ Гумус – это вещество, образующееся на поверхности почвы и в почве в процессе разложения и преобразования растительных и животных останков почвенными организмами (позвоночными и беспозвоночными животными, грибами, бактериями). Гумус состоит из неспецифических и специфических органических и органо-минеральных соединений. К неспецифическим соединениям относятся белки, липиды, углеводы, нуклеиновые кислоты, лигнин, воска, смолы, флавоноиды и др. Специфические соединения, или гумусовые вещества, это: фульвокислоты и их соли с минеральными компонентами почвы – фульваты; гуминовые кислоты и их соли гуматы; гумины; гиматомелановые кислоты и их соли.

Легкорастворимые соединения поступают в почву как из природных объектов (почво-образующей горной породы, грунтовых вод, путем ветрового переноса с поверхностями океанов, морей, соленых озер, почв), так и вследствие хозяйственной деятельности человека (из минерализованных оросительных вод, из минерализованных грунтовых вод при достижении их капиллярной каймы оросительными водами в условиях засушливого климата, из сточных вод, бытовых, сельскохозяйственных и промышленных отходов, с пылевыми частицами, выбрасываемыми промышленными предприятиями). В городских условиях в зимнее время весомыми поставщиками таких соединений являются антигололедные средства – хлориды натрия (NaCl), магния (MgCl_2) и кальция (CaCl_2), нитраты кальция [$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$] и магния [$\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$], сульфаты натрия (Na_2SO_4) и кальция (CaSO_4). Максимальное содержание перечисленных солей в верхних горизонтах городских почв отмечается в весенний период сразу после таяния снега. Летом, по мере промывания дождевыми водами, их уровень в почвах снижается, достигая минимального значения в осенний период.

Работа № 1. Использование водной вытяжки почвы для обнаружения легкорастворимых соединений

Задание. Получите водные вытяжки из почвенных образцов, отобранных в контрастных экологических условиях, и проанализируйте их на содержание ионов Cl^- , SO_4^{2-} и Ca^{2+} . Сделайте вывод о сходстве и различии в степени минерализации изученных почвенных образцов. Укажите места отбора почв потенциально наиболее благоприятные для роста и развития растений.

Оборудование и реактивы: образцы воздушно-сухой почвы, фарфоровая ступка с пестиком, сито с отверстиями 1 мм, весы, плоскодонные колбы на 250 мл, мерные цилиндры, пробирки на 15-20 мл в штативе, воронки, пипетки на 5-10 мл, стеклянные палочки, бумажные фильтры или фильтровальная бумага, простой карандаш, ножницы, дистиллированная вода, в капельницах 0,1N раствор азотнокислого серебра (AgNO_3), концентрированная азотная кислота (HNO_3), 10%-ый раствор соляной кислоты (HCl), 10%-ый раствор уксусной кислоты (CH_3COOH), 5%-ый раствор хлорида бария (BaCl_2), 4%-ый раствор щавелевокислого аммония [$(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4$].

Ход работы

1) Получение водной почвенной вытяжки.

Из предложенного для изучения образца почвы готовят мелкозем. Для этого на весах взвешивают 100-150 г почвы, тщательно растирают ее пестиком в фарфоровой ступке и просеивают через сито с диаметром отверстий 1 мм. Отмеренные на весах 25 г мелкозема ссыпают в сухую стеклянную колбу емкостью 250 мл. В колбу приливают 50 мл дистиллированной воды. Содержимое колбы взбалтывают 2-3 минуты, а затем отстаивают 5-10 минут.

Отстоявшуюся почвенную вытяжку фильтруют через сухой беззольный складчатый фильтр. Для фильтрования можно воспользоваться уже готовым бумажным фильтром заводского производства либо изготовить его самостоятельно. В первом случае готовый бумажный фильтр, радиус которого превышает диаметр воронки, многократно складывают и вкладывают внутрь воронки. Край фильтра должен лежать на 0,5-1,0 см ниже края воронки. Если фильтр возвышается над краем воронки, то по нему образуются выцветы солей, и концентрация их в фильтрате снижается.

При самостоятельном изготовлении фильтра из фильтровальной бумаги вырезают квадрат, сторона которого примерно вдвое больше диаметра воронки. Квадрат многократно складывают, обрезают по дуге, имитируя край воронки, и также вкладывают в воронку.

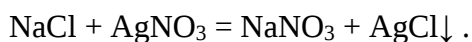
Перед фильтрованием содержимое колбы повторно взбалтывают и выливают по возможности вместе с почвой на боковую стенку фильтра. Частицы почвы забивают поры бумаги, что способствует получению прозрачного фильтрата. Первые порции фильтрата (около 10 мл) выбрасывают, исключая влияние компонентов фильтра на состав почвенной вытяжки. Последующие порции собирают в колбу и, при необходимости, перефильтровывают до получения прозрачного раствора через тот же фильтр.

Скорость фильтрования определенным образом характеризует свойства почвы. Если почва содержит много растворимых солей, то фильтрация идет быстро, и фильтрат получается прозрачным, бесцветным, так как катионы солей препятствуют пептизации почвенных коллоидов. Если солей в почве мало, то коллоиды забивают поры фильтра, что ведет к снижению скорости фильтрации. В кислых и особенно щелочных вытяжках растворяется органическое вещество, поэтому они всегда окрашены.

2) Полуколичественное определение содержания хлоридов.

Водную почвенную вытяжку анализируют сразу после ее получения, так как под влиянием микробиологической деятельности ее состав может измениться.

В пробирку приливают 5 мл водной вытяжки, добавляют несколько капель концентрированной азотной кислоты и по каплям прибавляют 0,1N раствор нитрата серебра. Содержимое пробирки взбалтывают. При наличии хлоридов (например, хлорида натрия), азотнокислосое серебро реагирует с ними:



По характеру осадка судят о примерном содержании Cl^- в почве и об объеме водной почвенной вытяжки для последующего количественного определения Cl^- (табл. 3.1). Результаты исследования заносят в тетрадь в виде таблицы (табл. 3.2).

Таблица 3.1. Относительное содержание ионов Cl^- , SO_4^{2-} , Ca^{2+} в водной почвенной вытяжке и в почве

Ион	Характер осадка	Содержание иона		Объем водной вытяжки, необходимый для количественного анализа почвенного образца, мл
		мг/л водной вытяжки	доли г/100 г почвы	
Cl^-	большой хлопьевидный	> 100,0	десятые	5,0
	сильная муть	50,0-100,0	сотые	25,0
	опалесценция ⁴	1,0-10,0	тысячные	50,0 и более
SO_4^{2-}	большой, быстро оседающий	> 500,0	десятые	5,0
	муть, появляющаяся сразу	10,0-100,0	сотые	25,0
	слабая, медленно появляющаяся муть	5,0-10,0	тысячные	50,0 и более
Ca^{2+}	большой, выпадающий сразу	> 500,0	десятые	5,0
	муть, появляющаяся при перемешивании	10,0-100,0	сотые	25,0
	слабая муть, образующаяся при стоянии	1,0-10,0	тысячные	50,0 и более

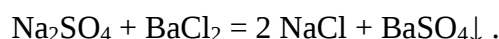
⁴ Опалесценция раствора – слабый радужный перелив цветов раствора, происходящий в результате отражения света мельчайшими частицами нерастворимого вещества.

Таблица 3.2. Относительное содержание ионов Cl^- , SO_4^{2-} , Ca^{2+} в водной почвенной вытяжке и в почвенных образцах

Ион	Характер осадка	Содержание иона		Объем водной вытяжки, необходимый для количественного анализа почвенного образца, мл
		мг/л водной вытяжки	доли г/100 г почвы	
Почвенный образец №1 (место отбора)				
Cl ⁻				
SO ₄ ²⁻				
Ca ²⁺				
Почвенный образец №2 (место отбора)				
Cl ⁻				
SO ₄ ²⁻				
Ca ²⁺				
и т.д.				

3) Полуколичественное определение содержания сульфатов.

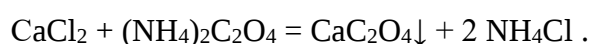
В пробирку приливают 5 мл водной вытяжки почвы, несколько капель 10%-го раствора соляной кислоты и 2-3 мл 5%-го раствора хлорида бария. При наличии сульфатов протекает следующая реакция:



По характеру осадка судят о примерном содержании SO_4^{2-} в исследуемой почве и об объеме почвенной вытяжки для точного количественного определения этого иона (табл. 3.1). Результаты исследования заносят в тетрадь.

4) Полуколичественное определение содержания кальция.

5 мл вытяжки наливают в пробирку, подкисляют 1-2 каплями 10%-го раствора уксусной кислоты и прибавляют 2-3 капли 4%-го раствора щавелевокислого аммония. Содержимое пробирки перемешивают. В присутствии кальция протекает реакция:



По характеру осадка щавелевокислого кальция судят о примерном содержании Ca^{2+} в почве и об объеме водной вытяжки для его точного количественного определения (табл. 3.1). Результаты исследования записывают.

Делают вывод о сходстве и различии в степени минерализации изученных почвенных образцов. Указывают места отбора почв потенциально наиболее благоприятные для роста и развития растений.

Контрольные вопросы к работе № 1

1. К группе каких химических соединений почвы по степени растворимости относятся хлориды и сульфаты? Каковы источники их поступления в почву?
2. В чем заключается положительное и отрицательное влияние легкорастворимых соединений почвы на растения?

3.2 Тяжелые металлы и металлоиды в почве

Тяжелые металлы и металлоиды – это химические элементы с атомной массой свыше 50 единиц, обладающие свойствами металлов и полуметаллов. В исследованиях биологов, экологов и геохимиков среди них чаще всего рассматривают Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Mo, Cd, Hg, Pb, Bi, As, Sb, реже – Ti, V, Mn, Fe, Sr и некоторые другие элементы.

Первичное местонахождение тяжелых металлов и металлоидов на планете Земля – верхняя мантия. Поэтому в почвах они изначально появились из горных пород (магматических, осадочных, метаморфических), на продуктах выветривания которых эти почвы сформировались. Насыщенность разных горных пород тяжелыми металлами и металлоидами существенно различается, но в сравнении с другими химическими элементами их содержание в горных породах невелико.

Наряду с горными породами естественными (природными) источниками тяжелых металлов и металлоидов в почвах являются термальные воды и рассолы⁵, космическая и метеоритная пыль, вулканические газы.

Поступление тяжелых металлов и металлоидов в почву также происходит из техногенных источников. Важнейшими среди них являются: минеральные и органические удобрения, сточные воды и отходы животноводческих комплексов, работающие на угле электростанции, металлообрабатывающие предприятия и предприятия черной и цветной металлургии, добыча полезных ископаемых, сжигание различных отходов, автотранспорт. Например, основным источником загрязнения почв Cd, Cu, As и Zn является цветная металлургия; Co, Ni, V и Se – теплоэнергетика; Hg – химическая промышленность, цветная металлургия и сжигание топлива. Пути поступления тяжелых металлов и металлоидов в почву от техногенных источников многообразны, но важнейший из них – это рассеивание в атмосферном воздухе содержащих тяжелые металлы и металлоиды техногенных выбросов, и последующее осаждение их на почву. При этом почвы не только связывают тяжелые металлы и металлоиды, но и выступают природным буфером, контролирующим перемещение этих химических элементов и их соединений в атмосферу, гидросферу и живое вещество.

При длительном поступлении от техногенных источников в почве может накопиться значительное количество тяжелых металлов и металлоидов, сопоставимое с содержанием их в естественных геохимических аномалиях⁶ или даже превосходящее его. Но между почвами техногенно загрязненных территорий и почвами геохимических аномалий существует принципиальное отличие: в первом случае тяжелые металлы и металлоиды сосредотачиваются в верхнем 5-6 сантиметровом слое почвы, тогда как во втором – на фоне небольшого накопления в гумусовом горизонте концентрация тяжелых металлов и металлоидов увеличивается с глубиной почвенного профиля.

На процесс накопления тяжелых металлов и металлоидов в почвах влияет целый ряд природных и техногенных факторов: характер почвообразующих пород (песчаные и супесчаные породы уступают по содержанию тяжелых металлов и металлоидов глинистым и суглинистым породам), климат (в условиях теплого и засушливого климата накопление тяжелых металлов и металлоидов усиливается), рельеф местности (в почвах понижений рельефа содержа-

⁵ Рассолы – это природные минеральные воды с повышенным содержанием солей (более 35 г/л).

⁶ Геохимическая аномалия – участок земной поверхности со значительно повышенным (или пониженным) по сравнению с фоном содержанием определенных химических элементов и их соединений.

ние тяжелых металлов и металлоидов возрастает), направление преобладающих ветров и их скорость, характер растительности, близость расположения и особенности техногенных источников тяжелых металлов и металлоидов (мощность и технология предприятия, высота дымовых труб, наличие и эффективность системы очистки газовых выбросов) и многие другие.

Опасность тяжелых металлов и металлоидов заключается в том, что в случае высоких содержаний в почвах они способны накапливаться в произрастающих на них растениях. Впоследствии избыток тяжелых металлов и металлоидов будет передан по звеньям пищевой цепи сначала травоядным, а затем и плотоядным животным. Конечным звеном такой пищевой цепи может стать человек, использующий в своем пищевом рационе растительные и животные организмы с повышенным содержанием этих химических элементов. Во всех случаях тяжелые металлы и металлоиды будут оказывать токсическое воздействие на живые организмы: нарушать ход метаболических процессов, замедлять рост и развитие, способствовать возникновению специфических заболеваний, опухолевых образований, мутаций.

Работа № 2. Обнаружение тяжелых металлов в почве

Задание. Из предложенных почвенных образцов, отобранных в контрастных экологических условиях, получите кислотные вытяжки. С помощью качественных реакций обнаружьте ионы Pb^{2+} , Cu^{2+} и Fe^{3+} в модельных растворах и в кислотных почвенных вытяжках. Выполните полуквантитативное определение тяжелых металлов с помощью тест-комплекта «Свинец» и тест-систем «Медь» и «Железо». Сравните между собой почвенные образцы по содержанию ионов.

Оборудование и реактивы: образцы воздушно-сухой почвы, фарфоровая ступка с пестиком, сито с отверстиями 1 мм, весы, колбы плоскодонные на 250 мл, мерный цилиндр стеклянный на 100 мл, палочка стеклянная, пипетки на 1 мл и 5 мл, пробирки в штативе, воронки стеклянные диаметром 10 см, фильтры бумажные, дистиллированная вода, 1,5Н раствор концентрированной азотной кислоты (HNO_3), 5%-ый раствор роданида калия или роданида аммония ($KCNS$ или NH_4CNS), 5%-ый раствор железисто-синеродистого калия ($K_4[Fe(CN)_6]$), 5%-ый раствор азотнокислого свинца $[Pb(NO_3)_2]$, 5%-ый раствор йодида калия (KJ), 5%-ый раствор хромата калия (K_2CrO_4), 5%-ый раствор хлорида натрия ($NaCl$), 5%-ый раствор хлорида железа ($FeCl_3$), 5%-ый раствор сульфата меди пятиводного ($CuSO_4 \cdot 5H_2O$), 10%-ый раствор аммиака (NH_4OH), тест-комплект «Свинец», тест-система «Медь», тест-система «Железо».

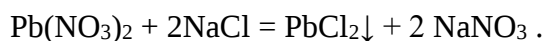
Ход работы

1) Получение кислотной почвенной вытяжки.

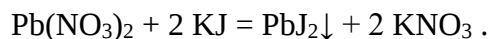
Из предложенного для изучения почвенного образца готовят мелкозем. Для этого на весах взвешивают 100-150 г почвы, тщательно растирают ее пестиком в фарфоровой ступке и просеивают через сито с диаметром отверстий 1 мм. Отмеренные на весах 20 г мелкоземасыпают в сухую стеклянную колбу емкостью 250 мл, куда приливают 50 мл 1,5Н раствора концентрированной HNO_3 (из расчета 2,5 мл кислоты на 1 г почвы). *Внимание: работу с кислотой проводят строго под вытяжкой!* Содержимое колбы перемешивают стеклянной палочкой в течение 3-5 минут, а затем отфильтровывают через бумажный фильтр в чистую колбу. Первые несколько миллилитров фильтрата отбрасывают.

2) Качественное обнаружение ионов свинца.

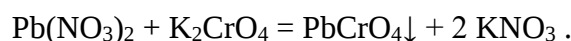
А) В пробирку с 3-4 мл модельного 5%-го раствора азотнокислого свинца $[Pb(NO_3)_2]$ приливают 1 мл 5%-го раствора хлорида натрия ($NaCl$). Содержимое пробирки взбалтывают. В присутствии свинца в растворе выпадает белый осадок хлорида свинца ($PbCl_2$):



Б) В пробирку с 3-4 мл модельного 5%-го раствора $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ приливают 1 мл 5%-го раствора йодида калия (KJ). Содержимое пробирки взбалтывают. В присутствии свинца в растворе выпадает желтый осадок йодида свинца (PbJ_2):



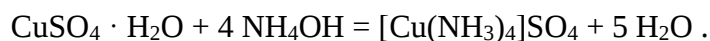
В) В пробирку с 3-4 мл модельного 5%-го раствора $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ приливают 1 мл 5%-го раствора хромата калия (K_2CrO_4). Содержимое пробирки взбалтывают. В присутствии свинца в растворе выпадает желтый осадок хромата свинца (PbCrO_4):



Г) Повторяют те же реакции (А-В), но вместо модельного раствора $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ в пробирку вносят 3-4 мл кислотной вытяжки исследуемого почвенного образца. При наличии в почве ионов свинца в растворе выпадает белый осадок хлорида свинца (PbCl_2) либо желтый осадок йодида свинца (PbJ_2) или хромата свинца (PbCrO_4). В тетрадь записывают соответствующее уравнение реакции.

3) *Качественное обнаружение ионов меди.*

А) В пробирку с 3-4 мл модельного 5%-го раствора сульфата меди ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) приливают 2-3 мл 10%-го раствора аммиака (NH_4OH). Содержимое пробирки взбалтывают. Раствор приобретает интенсивную лазурно-синюю окраску вследствие образования сульфата тетраамминмеди $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]\text{SO}_4$:



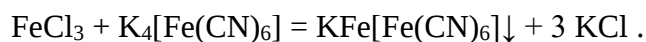
Б) В пробирку с 3-4 мл модельного 5%-го раствора $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ приливают 1 мл 5%-го раствора железисто-синеродистого калия ($\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$). Содержимое пробирки взбалтывают. В присутствии меди в растворе выпадает красно-бурый осадок:



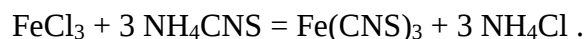
В) Повторите реакции А и Б, но вместо модельного раствора $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ в пробирку налейте 3-4 мл кислотной вытяжки исследуемого почвенного образца. Если в почве присутствует медь, то выпадет лазурно-синий осадок $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]\text{SO}_4$ или красно-бурый осадок $\text{K}_2\text{Cu}[\text{Fe}(\text{CN})_6]$. Уравнение реакции запишите в тетрадь.

4) *Качественное обнаружение ионов железа.*

А) В пробирку с 3-4 мл модельного 5%-го раствора хлорида железа (FeCl_3) приливают 1 мл 5%-го раствора железисто-синеродистого калия ($\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$). При взбалтывании содержимого пробирки выпадает темно-синий осадок берлинской лазури – $\text{KFe}[\text{Fe}(\text{CN})_6]$:



Б) В пробирку с 3-4 мл модельного 5%-ного раствора хлорида железа (FeCl_3) приливают 1 мл 5% раствора роданида калия (KCNS) или роданида аммония (NH_4CNS). Содержимое пробирки окрашивается в кроваво-красный цвет тиоцианат железа (III) – $\text{Fe}(\text{CNS})_3$:



В) Повторите те же реакции, но вместо модельного раствора FeCl_3 в пробирку налейте 3–4 мл кислотной вытяжки исследуемого почвенного образца. Если в почве присутствует железо, то выпадет темно-синий осадок $\text{KFe}[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ или раствор окрасит в кроваво-красный цвет $\text{Fe}(\text{CNS})_3$. В тетрадь записывают соответствующее уравнение реакции.

5) *Полуколичественное определение содержания ионов свинца, меди и железа.*

Следуя алгоритму проведения тестирования, приложенному к тест-комплекту «Свинец» и тест-системам «Медь» и «Железо», выполните полуколичественный анализ содержания ионов тяжелых металлов в почвенных вытяжках.

На основании проведенного исследования сравните между собой почвенные образцы по содержанию ионов Pb^{2+} , Cu^{2+} и Fe^{3+} . Обоснуйте причины, по которым могут быть получены такие результаты исследования.

Контрольные вопросы к работе № 2

1. Какие химические элементы относят к группе тяжелых металлов и металлоидов?
2. Каковы естественные и антропогенные источники поступления тяжелых металлов и металлоидов в почву?
3. Перечислите факторы, влияющие на накопление тяжелых металлов и металлоидов в почве.
4. В чем состоит опасность повышенных содержаний тяжелых металлов и металлоидов в почвах для живых организмов?

4 ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ГЕОХИМИЯ АТМОСФЕРЫ

4.1 Атмосфера как объект изучения. Роль техногенных процессов в загрязнении атмосферного воздуха

Атмосфера – одна из геосфер планеты Земля. Ее нижняя поверхность граничит с гидросферой и частично земной корой, внешняя – с околоземной частью космического пространства.

Чрезвычайно велико экологическое значение атмосферы. Являясь буфером между космосом и планетой, она защищает Землю от ударов метеоритов, а живые организмы – от опасного космического излучения с длиной волны менее 290 нм, регулирует сезонные температурные колебания, уравнивает и выравнивает суточные температурные колебания, является носителем тепла и влаги, влияет на характер и динамику всех экзогенных процессов, происходящих в литосфере. В атмосфере происходят фотосинтез и обмен веществ и энергии – главные процессы биосферы.

Первичная атмосфера Земли возникла еще в период образования планеты из газопылевого облака. За время своего существования состав и свойства атмосферы неоднократно менялись и стабилизировались в последние 50 млн лет. В этой связи современный состав атмосферы представлен, главным образом, газами, среди которых преобладают азот (N_2), кислород (O_2) и аргон (Ar). В значительно меньшем количестве в атмосферном воздухе присутствуют диоксид углерода (CO_2) и водяной пар, в следовых количествах обнаружены метан (CH_4), криптон (Kr), водород (H_2), аммиак (NH_3), сероводород (H_2S), оксиды азота (NO, NO_2 , N_2O), озон (O_3), гелий (He) и другие газы. Помимо газов в состав атмосферы входят различные твердые и жидкие примеси, такие, как пыль, капли воды, кристаллы льда, морские соли, продукты горения.

Состав современной атмосферы обусловлен в первую очередь биогенными процессами. Именно с ними связано поступление почти всего O_2 и значительных количеств CO_2 , N_2 , H_2S , CH_4 , а также многих других газов.

В последнее столетие все возрастающее влияние на химический состав атмосферы оказывают различные техногенные процессы. К первой группе загрязнителей следует отнести промышленные предприятия. Они поставляют в атмосферу пыль (химические элементы в минеральной форме), дымы (химические элементы в дисперсной форме), газы и запахи. В составе пыли преобладают углерод (C) и оксиды различных химических элементов (SiO_2 , Al_2O_3 , CaO, K_2O , Na_2O , PbO, ZnO, SeO_2 , As_2O_3 , MgO, Fe_2O_3). Дымы чаще всего представлены отрицательно заряженными частицами (CaO, ZnO, MgO, Fe_2O_3) и положительно заряженными частицами (SiO_2 , P_2O_5 , C). Газообразная составляющая выбросов в большинстве случаев содержит CO, CO_2 , SO_2 , SO_3 , NO, NO_2 , NH_3 , реже встречаются повышенные концентрации Cl и HF. Неприятные запахи промышленных предприятий часто обусловлены присутствием в газах ряда органических соединений – меркаптанов, фенола, акролеина и др.

Вторую группу источников загрязнения атмосферы образуют мусоросжигающие установки и зоны захоронения отходов, назначение которых заключается в утилизации бытовых и промышленных отходов. Они выбрасывают в атмосферу главным образом альдегиды, углеводороды, органические кислоты, CO, NO, NO_2 , SO_2 , SO_3 , NH_3 , пыль.

К третьей группе загрязнителей атмосферы следует отнести те, которые образуют загрязняющие вещества в результате сжигания топлива (авиация, автомобильный, морской и речной, частично железнодорожный транспорт). Считается, что в настоящее время при сжига-

нии топлива наибольшее загрязнение атмосферы осуществляет автомобильный транспорт. При этом токсичные компоненты в составе выхлопных газов бензиновых двигателей составляют около 18% от их объема, а в дизельных – около 1%. К числу основных загрязняющих веществ, находящихся в выхлопных газах, относят CO, NO, NO₂, углеводороды, альдегиды, бенз(а)пирен, сажу, а часто и SO₂, Br, P, Cl. Значительно содержание в выхлопных газах высокотоксичных соединений тяжелых металлов (Pb, Fe, Cu, Zn).

Дальность распространения выбросов автотранспорта от автомагистралей зависит от погодных условий, направления и скорости ветра, рельефа местности. В сухую погоду в подветренную сторону создается высокая загазованность и запыленность воздуха на расстоянии до 1-2 км от трассы. По балкам, оврагам, суходолам и речным долинам газы расходятся на 2-3 км и более. То же самое отмечается и по опушкам леса, когда ветер направлен вдоль них. В безветренную погоду выхлопные газы и пыль удерживаются вблизи трассы, что создает еще более значительное загрязнение атмосферного воздуха.

Опасность выбросов автотранспорта для живых организмов обусловлена следующими причинами. Во-первых, продукты сгорания топлива напрямую поступают в приземный слой атмосферы – область активной жизнедеятельности абсолютного большинства микроорганизмов, растений, животных, человека. Во-вторых, небольшая скорость ветра в приземном слое атмосферы и значительный удельный вес компонентов выхлопов способствуют их задержанию в воздухе прилегающих к автострадам территорий. Постепенно осаждаясь на поверхность почв и растений, эти вещества накапливаются и негативным образом меняют особенности их функционирования. В-третьих, в выхлопах автомобилей обнаруживаются соединения свинца – химического элемента, отличающегося повышенной токсичностью в отношении живых организмов. Источником его соединений является тетраэтилсвинец (ТЭС), добавляемый к бензину для повышения его октанового числа. Экспериментально доказано, что при сжигании только 1 л бензина в воздух поступает 200-700 мг свинца! С 80-х годов XX века во всем мире наметилась тенденция отказа от использования ТЭС. Производство и оборот этилированного бензина в России запрещены с 2002 года.

Работа № 3. Биогеохимическая оценка загрязнения атмосферного воздуха автотранспортом

Задание. С помощью качественной реакции обнаружьте ионы свинца в образцах листьев древесных растений, отобранных на разном удалении от автомобильной дороги. Определите примерное содержание металла в растительных образцах с использованием сульфида натрия и тест-комплекта «Свинец». Сделайте вывод о загрязненности атмосферного воздуха изучаемых участков соединениями свинца.

Оборудование и реактивы: свежие или высушенные листья древесных растений, весы, ножницы, колбы на 100 мл, пипетки на 5 или 10 мл, мерный стеклянный цилиндр на 100 мл, водяная баня, выпарительные чашки, воронки, пробирки в штативе, бумажные фильтры, тест-комплект «Свинец», дистиллированная вода, 50%-ый этиловый спирт (C₂H₅OH), свежеприготовленный 5%-ый раствор сульфида натрия (Na₂S).

Ход работы

1) *Качественное обнаружение и полуколичественное определение содержания ионов свинца сульфидом натрия.*

50 г свежих или 5 г сухих листьев из каждой растительной пробы измельчить, поместить в колбу и залить 50 мл этилового спирта. Содержимое колбы тщательно перемешать, чтобы соединения свинца перешли в раствор.

Полученный раствор отфильтровать через бумажный фильтр в чистую колбу, при этом первые несколько миллилитров фильтрата отбросить. Фильтрат поместить в выпарительную чашку и упарить на водяной бане до 10 мл.

Упаренный фильтрат добавлять по каплям в соответствующую пробирку с раствором сульфида натрия (Na_2S). Черный осадок сульфида свинца (PbS) укажет на наличие в фильтрате ионов свинца, а количество выпавшего осадка – на его примерное содержание.

2) *Полуколичественное определение содержания ионов свинца с использованием тест-комплекта.*

Следуя алгоритму проведения тестирования, приложенному к тест-комплекту «Свинец», выполните полуколичественный анализ содержания ионов металла в растительных вытяжках.

Сделайте вывод о загрязненности атмосферного воздуха на разном удалении от автомобильной дороги.

Контрольные вопросы к работе № 3

1. В чем заключается общепланетарное значение атмосферы?
2. Каков химический состав современной атмосферы?
3. Каковы источники веществ, присутствующих в атмосфере Земли?
4. Какие основные вещества образуются при сжигании топлива автотранспортом?
5. Какие факторы влияют на дальность распространения выбросов автотранспорта от автомагистралей?
6. В чем заключается опасность выбросов автотранспорта для живых организмов?
7. Целесообразно ли косить траву на сено на лугах, примыкающих к автодорогам?

4.2 Снег как индикатор степени загрязнения атмосферного воздуха

Снег – это твердые атмосферные осадки, состоящие из ледяных кристалликов и их сростков. Образование снежинок начинается в верхних слоях тропосферы путем конденсации молекул водяного пара на ядрах конденсации, в качестве которых могут выступать аэрозоли – нейтральные частицы и ионы твердых и жидких веществ, взвешенные в газообразной среде. Поставщиками аэрозолей являются космическое пространство, а также океан и суша нашей планеты, которые находятся в состоянии непрерывного циклического обмена веществами с нижними слоями атмосферы. Аэрозолями, поставляемыми из космоса, являются частицы космической пыли. С поверхности Земли в тропосферу поступают кристаллики морской соли, частицы выветриваемых горных пород и почв, пыльца растений, газообразные и твердые компоненты извержений вулканов, пожаров, выбросов промышленных предприятий и автотранспорта.

Химический состав снега определяется четырьмя составляющими: химическим составом ядер конденсации, химическим составом веществ, захватываемых снежинками при падении, процессами химической трансформации указанных компонентов, протекающими в воздушной среде с участием молекул воды, и, наконец, составом веществ, самостоятельно оседающих из атмосферы на поверхность снежного покрова в безосадочный период. С учетом этого,

снежный покров можно считать наиболее информативным объектом, позволяющим изучать содержание веществ естественного и техногенного происхождения в приземных слоях атмосферы в холодное время года.

Выделяют два типа источников веществ, влияющих на химический состав снега: природные (естественные) и антропогенные (искусственные).

Среди природных источников особенно значимы вулканы и флюидная активность Земли. Показано, что извержения вулканов могут приводить к глобальному и долговременному загрязнению снежного покрова. Это связано с тем, что крупный и интенсивно извергающийся вулкан способен единовременно выбрасывать в атмосферу огромное количество газов и твердых частиц. Вулканические аэрозольные частицы, попадая из тропосферы в стратосферу, подхватываются господствующими здесь высокоскоростными воздушными потоками и в отсутствии паров воды могут циркулировать от 4 до 14 лет, постепенно оседая под действием силы тяжести сначала в тропосферу, а затем и на снежный покров.

Флюидная активность Земли связана с выделением газообразных веществ из недр планеты в местах ее глубинных разломов. Такой способ поступления веществ в приземные слои атмосферы имеет место не только в областях современной газо-термальной деятельности, но и в стабильных геологических структурах, например таких, как Русская (Восточно-Европейская) платформа. По мнению большинства исследователей именно флюидная активность Земли объясняет аномально высокие концентрации фтора, лития, сурьмы, мышьяка, ртути, кадмия и некоторых других тяжелых металлов, и металлоидов в снежном покрове, располагающемся в местах активных глубинных разломов некоторых районов Европейской России.

Природные загрязнители снега представлены, главным образом, оксидами азота (NO , NO_2), серы (SO_2), углерода (CO , CO_2), метаном (CH_4) и другими углеводородами, радоном, радиоактивными элементами, тяжелыми металлами и металлоидами в газообразной и аэрозольной формах; результатом флюидной активности планеты могут быть сложные соединения типа предельных и непредельных полициклических ароматических углеводородов, а также сульфид карбонила (COS), формальдегид (CH_2O), фенолы, цианиды, аммиак (NH_3).

Но все же главная роль в формировании химического состава снега отводится антропогенным источникам, среди которых 37% загрязнений дает автотранспорт (в мегаполисах эта цифра может увеличиваться до 40-50%), 32% – промышленность, 31% – прочие источники.

На химический состав снежного покрова накладывает определенный отпечаток специфика антропогенного источника загрязнения. Например, вблизи котельных, автодорог с интенсивным движением автотранспорта, работающего на дизельном серосодержащем топливе, вблизи железных дорог, обслуживаемых тепловозами, работающими на мазутном топливе, вокруг ряда специфических промышленных предприятий следует ожидать повышенного содержания соединений серы (оксидов, сероводорода, самородной серы и др.). Особенно много серы содержат бурые угли, при обжиге и сжигании которых образуются летучие соединения – SO_2 , SO_3 , H_2S . Источниками соединений азота в снеге являются автотранспорт, теплоэнергетика, разнообразные промпредприятия. Различные соединения азота содержатся в углях и, особенно, в торфе, так как азот наряду с серой входит в состав биомолекул, из которых формируются эти полезные ископаемые. При сжигании углей и торфа образуются оксиды азота (NO , NO_2).

Степень накопления разнообразных химических веществ в снеговом покрове зависит от активности естественных источников, интенсивности промышленной и автотранспортной нагрузки (выброс веществ автотранспортом особенно усиливается на малом ходу – на пере-

крестках, остановках перед светофорами, в заторах и пробках), от удаленности от источника загрязнения, от направления движения господствующих ветровых потоков – розы ветров, от рельефа (его понижения способствуют развитию застойных явлений, и, как следствие, накоплению разнообразных примесей в приземном слое атмосферы, а затем и в снеге)⁷.

Опасность повышенного содержания тех или иных химических компонентов в снежном покрове определяется тем, что в период паводка они активно мигрируют с талыми водами во все природные среды (почвы, подземные и поверхностные воды, воздух), перераспределяются в них и оказывают влияние на их живое население, а по звеньям пищевой цепи и на человека.

Информативным показателем «качества» снеговых вод является их *актуальная кислотность*, или *pH*, равная отрицательному десятичному логарифму концентрации ионов водорода в растворе: $pH = -\lg(H^+)$. Актуальная кислотность определяется наличием в снеговых водах свободных ионов водорода, образующихся при диссоциации молекул воды: $H_2O \leftrightarrow H^+ + OH^-$. В свою очередь концентрация ионов водорода зависит от присутствия в водах анионов сильных кислот – HCl , H_2SO_4 и HNO_3 (соответственно Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^-), которые повышают кислотность (то есть снижают значение pH), и катионов сильных щелочей – $Ca(OH)_2$, KOH и $NaOH$ (соответственно Ca^{2+} , K^+ , Na^+), снижающих кислотность (повышающих pH). Определенную роль в увеличении кислотности (снижении pH) играет также слабая угольная кислота – H_2CO_3 ($H_2CO_3 \leftrightarrow H^+ + HCO_3^-$). При увеличении основности (повышении pH) также значимы $Mg(OH)_2$ и NH_4OH , дающие катионы Mg^{2+} и NH_4^+ . Таким образом, кислотность снеговых вод – это результат соотношения содержащихся в них анионов и катионов, а повышенная кислотность осадков может быть вызвана как избытком анионов, так и дефицитом катионов.

В геохимически чистых районах основной вклад в кислотность осадков (около 80%) вносит диоксид углерода (CO_2). При взаимодействии с водой он образует угольную кислоту (H_2CO_3), которая, диссоциируя, высвобождает ион-закислитель – HCO_3^- . Кроме CO_2 в незагрязненном атмосферном воздухе в незначительных количествах могут присутствовать и другие кислотообразующие вещества естественного происхождения: органические кислоты, H_2S , HCl , NO_x , HNO_3 и другие, но их роль невелика. Снеговые воды, кислотность которых определяется главным образом CO_2 , имеют $pH \approx 5,5-5,6$. И, напротив, в высокоиндустриальных районах Земного шара основной вклад в кислотность осадков (до 95%) вносят соляная, серная и азотная кислоты (источники анионов Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^-), тогда как доля диоксида углерода в этом процессе не превышает 4%. Такие осадки могут иметь pH 4,1-4,4, а в отдельных случаях – до 2,3 (кислотность лимонного сока).

Источниками катионов (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+), нейтрализующих сумму анионов в снеге, являются соли, которые поступают с поверхности суши и вод в составе твердых частиц. Исключение составляет только ион аммония (NH_4^+), образующийся из газовой фазы.

Следует отметить, что пониженные значения pH осадков (до 4,5 и ниже) могут наблюдаться и в фоновых районах, удаленных как от техногенных, так и от природных (вулканы, глубинные разломы земной коры) источников анионов. Например, такой уровень pH отмечается в осадках, выпадающих над океанами; в данном случае причиной столь низкого значения pH является отсутствие в атмосфере над океанами аммиака – NH_3 (источника ионов аммония – NH_4^+) и карбоната кальция – $CaCO_3$ (источника ионов Ca^{2+}).

⁷ Перечень крупных антропогенных источников загрязнения атмосферы (промышленные предприятия, транспортные развязки), направление господствующих в холодное время года ветров в г. Самара представлены в Приложении 1.

Снеговые воды с повышенной кислотностью оказывают ряд негативных воздействий на окружающую среду. Среди них: ускорение процессов выветривания горных пород, ухудшение качества несущих грунтов, закисление поверхностных вод и почв, вымывание из почв гумуса, кальция и микроэлементов и, как следствие, снижение их плодородности, уменьшение численности населяющих воды и почвы живых организмов и полное исчезновение из числа обитателей некоторых биологических видов, усиление коррозии металлосодержащих конструкций, разрушение зданий из бетона и мрамора в городах.

Показатель pH снеговых вод может изменяться во времени. Так, снеговые воды начального периода зимы в большинстве случаев имеют повышенную кислотность. К середине зимы кислотность заметно снижается (в 2-3 раза), а затем снова и резко возрастает. Такие особенности изменения pH связаны с переменами химического состава снеговых вод: при первых снегопадах приземный слой атмосферы характеризуется, как правило, повышенной загрязненностью. По мере усиления «промытости» атмосферы ее загрязненность и pH уменьшаются, увеличиваясь снова в те зимние периоды, когда снега выпадает мало. Увеличение содержания различных примесей в атмосфере в зимнее время связано с увеличением количества промышленных и бытовых выбросов веществ, ухудшением метеорологических условий рассеяния примесей, замедлением химических процессов трансформации веществ при низких температурах.

В целом исследования показывают, что снеговые воды в центральной части Европейской России имеют, как правило, слабокислую или слабощелочную реакцию по шкале pH (табл. 4.1).

Таблица 4.1. Шкала значений pH

Величина pH	Реакция водного раствора	Величина pH	Реакция водного раствора
менее 4,5	сильнокислая	7,0-7,5	слабощелочная
4,5-5,5	кислая	7,5-8,5	щелочная
5,5-6,5	слабокислая	более 8,5	сильнощелочная
6,5-7,0	нейтральная		

Работа № 4. Определение содержания примесей в атмосферном воздухе по химическому составу снеговых вод

Задание. Руководствуясь предлагаемыми методиками, оцените некоторые химические показатели образцов снега (актуальную кислотность, сухой остаток, содержание хлоридов, сульфатов, нитратов, ионов кальция, свинца и меди), отобранных в контрастных экологических условиях. Сделайте вывод о степени загрязнения атмосферного воздуха изучаемых участков.

Ход работы

1) Отбор образцов снега.

Образцы снега отбирают в нескольких точках каждого из анализируемых участков, там, где снежный покров кажется визуально не нарушенным. Снег отбирают на всю глубину его залегания (вплоть до почвы), тщательно следя за тем, чтобы вырезаемые керны снега не были загрязнены частицами почвы. Отобранные пробы помещают в полиэтиленовый пакет, переносят в теплое помещение и растапливают при комнатной температуре. Полученную снеговую воду переливают из пакетов в бутылки и этикетировывают.

Для определения нитратов пробы снега растапливают непосредственно в день анализа. Если такой возможности нет, то снеговую воду подвергают консервации, добавляя

на каждый литр жидкости 2-4 мл хлороформа (CHCl_3) или 1 мл концентрированной серной кислоты (H_2SO_4).

2) Определение pH снеговой воды.

Оборудование и реактивы: образцы снеговой воды, универсальная индикаторная бумага (диапазон pH 1-12) или pH-метр, стеклянные стаканчики на 50 мл (по количеству анализируемых образцов снега).

pH снеговой воды определяют с помощью индикаторной бумаги или потенциометрическим методом на pH-метре.

Для определения pH с помощью индикаторной бумаги ее полоску смачивают в исследуемом растворе 1 секунду. Затем полоску вынимают и незамедлительно сравнивают окрашивание ее индикаторной зоны с цветными квадратами шкалы сравнения на упаковке индикаторной бумаги, указывающими на величину pH.

Принцип работы pH-метра основан на преобразовании активности ионов водорода в значения электродвижущей силы (ЭДС), которая линейно зависит от активности ионов в анализируемом растворе. Благодаря наличию печатной платы внутри корпуса, прибор измеряет поступающий сигнал, усиливает его, преобразует в значение ЭДС и, подвергнув математической обработке, выводит на дисплей в виде окончательного значения.

Для определения pH потенциометрическим методом снеговую воду комнатной температуры взбалтывают и наливают в стеклянные стаканчики в объеме, достаточном для погружения электродов прибора (измерительного – стеклянного, вспомогательного – хлорсеребряного). Глубина погружения электродов в раствор при измерении pH должна быть не менее 1 см, при этом хлорсеребряный электрод должен располагаться в растворе на несколько мм ниже стеклянного электрода. Результат измерения pH отобразится на дисплее прибора в единицах pH.

Полученную для каждого экспериментального образца снеговой воды величину pH заносят в табл. 4.2, поясняя название реакции в соответствии с градациями шкалы значений pH (табл. 4.1).

Таблица 4.2. Химические характеристики снега

рН	Масса сухого остатка, г/л	Содержание иона, мг/л					
		Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	NO ₃ ⁻	Pb ²⁺	Cu ²⁺
Образец № 1 (место отбора)							
Образец № 2 (место отбора)							
и т.д.							

3) Определение сухого остатка снеговой воды.

Оборудование и реактивы: образцы снеговой воды, аналитические весы, песчаная баня, фарфоровые выпарительные чашки (по количеству анализируемых образцов снега), пипетка на 10 мл.

Сухой остаток снеговой воды – это масса растворимых и нерастворимых минеральных и органических веществ, которые остаются в емкости после выпаривания снеговой воды. Определение сухого остатка проводят следующим образом. Предварительно подписанные (пронумерованные) и прокаленные в муфельной печи фарфоровые чашки взвешивают на аналитических весах. В

чашки наливали по 30 мл талой снеговой воды и выпаривают их содержимое досуха на песчаной бане. После выпаривания чашки повторно взвешивают. Разность в весе фарфоровой чашки до и после выпаривания укажет на сумму содержащихся в снеговой воде веществ.

Необходимо помнить, что полученная величина показывает массу сухого осадка, содержащегося в 30 мл снеговой воды, поэтому массу необходимо пересчитать на 1 л снеговой воды. Результаты измерений заносят в табл. 4.2.

4) *Полуколичественное определение содержания ионов Cl^- , SO_4^{2-} и Ca^{2+} .*

Оборудование и реактивы: образцы снеговой воды, плоскодонные колбы на 250 мл (по количеству анализируемых образцов снега), мерные цилиндры, пробирки на 15-20 мл в штативе, воронки, пипетки на 5-10 мл, стеклянные палочки, бумажные фильтры или фильтровальная бумага, простой карандаш, ножницы, дистиллированная вода, в капельницах 0,1Н раствор азотнокислого серебра ($AgNO_3$), концентрированная азотная кислота (HNO_3), 10%-ый раствор соляной кислоты (HCl), 10%-ый раствор уксусной кислоты (CH_3COOH), 5%-ый раствор хлорида бария ($BaCl_2$), 4%-ый раствор щавелевокислого аммония $[(NH_4)_2C_2O_4]$.

Определение содержания хлоридов, сульфатов и ионов кальция в снеговой воде проводят, руководствуясь методиками, представленными в работе № 1 «Использование водной вытяжки почвы для обнаружения легкорастворимых соединений почвы». Результаты исследования заносят в табл. 4.2.

5) *Определение нитратов с салициловокислым натрием.*

Оборудование и реактивы: образцы снеговой воды, фотоэлектроколориметр, песчаная баня, чашки фарфоровые выпарительные, колбы мерные на 50 и 100 мл, пипетки на 1 и 10 мл с делениями, пробирки с делениями на 10 мл в штативе, воронки стеклянные, палочка стеклянная, сухой беззольный складчатый фильтр, кислота серная концентрированная (H_2SO_4), хлороформ ($CHCl_3$), раствор гидроокиси натрия ($NaOH$)⁸, суспензия гидроокиси алюминия $[Al(OH)_3]$, или H_3AlO_3 , $HAIO_2$, $(Al_2O_3 \cdot H_2O) \cdot nH_2O$ ⁹, нитрат калия (KNO_3), раствор калия-натрия виннокислого ($KNaC_4H_4O_6 \cdot 4H_2O$)¹⁰, раствор натрия салициловокислого ($C_7H_5NaO_3$)¹¹, раствор серебра сернокислого (Ag_2SO_4)¹², вода дистиллированная. Все реактивы должны быть квалификации «чистый для анализа» (ч.д.а.) и не содержать примесей нитратов.

Метод основан на реакции нитратов с салициловокислым натрием в присутствии серной кислоты с образованием соли нитросалициловой кислоты, окрашенной в желтый цвет.

Проведению анализа мешают: цветность воды более 20°¹³, хлориды в концентрации более 200 мг/л¹⁴, железо в концентрации более 0,5 мг/л.

⁸ Приготовление раствора гидроокиси натрия: 400 г $NaOH$ растворить в дистиллированной воде и после охлаждения объем жидкости довести дистиллированной водой до 1 л.

⁹ Приготовление суспензии гидроокиси алюминия. 125 г алюмоаммонийных квасцов $[NH_4Al(SO_4)_2 \cdot 12H_2O]$ или алюмокалиевых квасцов $[KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O]$ растворить в 1 л дистиллированной воды. Раствор подогреть до 60 °С и постепенно, при постоянном помешивании, добавить 55 мл концентрированного раствора аммиака. После отстаивания в течении 1 ч осадок перенести в большой стакан и промывать его декантацией дистиллированной водой до отсутствия в промывной воде аммиака, хлоридов и нитратов.

¹⁰ Приготовление раствора калия-натрия виннокислого: 30,0 г $KNaC_4H_4O_6 \cdot 4H_2O$ растворить в 70 мл дистиллированной воды.

¹¹ Приготовление раствора натрия салициловокислого: 0,5 г $C_7H_5NaO_3$ растворить в 10 мл дистиллированной воды. Использовать свежеприготовленный раствор.

¹² Приготовление раствора серебра сернокислого: 4,4 г Ag_2SO_4 растворить в дистиллированной воде, доведя объем до 1 л. Раствор хранят в темной склянке с притертой крышкой.

¹³ Цветность воды измеряют в градусах. Если при визуальном осмотре вода кажется желтоватой, то ее цветность превышает 20°.

Влияние цветности устраняют следующим образом. К 150 мл исследуемой снеговой воды приливают 3 мл суспензии $\text{Al}(\text{OH})_3$. Пробу тщательно перемешивают и отстаивают в течение нескольких минут. Образовавшийся осадок фильтруют, отбрасывая первую порцию фильтрата.

Хлориды удаляют добавлением 20 мл раствора Ag_2SO_4 на каждые 100 мл исследуемого образца воды. Образующийся осадок хлорида серебра отфильтровывают.

Влияние избыточного содержания железа устраняют добавлением раствора $\text{KNaC}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ перед выпариванием воды в фарфоровой чашке. Для этого в фарфоровую чашку наливают 10 мл снеговой воды, прибавляют 1 мл раствора $\text{C}_7\text{H}_5\text{NaO}_3$, 8-10 капель раствора $\text{KNaC}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ и выпаривают досуха. После охлаждения сухой остаток увлажняют 1 мл H_2SO_4 , тщательно растирают стеклянной палочкой и оставляют на 10 минут. Затем добавляют 5-10 мл дистиллированной воды и переносят в мерную колбу вместимостью 50 мл. К смеси приливают 7 мл раствора NaOH и дистиллированной водой доводят объем в мерной колбе до 50 мл. Раствор перемешивают. В течение 10 минут после прибавления NaOH окраска не изменяется. Сравнение интенсивности окраски исследуемой пробы снеговой воды производят фотометрическим методом, измеряя оптическую плотность раствора с фиолетовым светофильтром в кюветах с толщиной рабочего слоя 1-5 см. Из найденных значений оптической плотности вычитают оптическую плотность нулевой пробы (дистиллированная вода) и по калибровочному графику¹⁵ находят содержание нитратов. Значение заносят в табл. 4.2.

Калибровочный график строят по величинам оптической плотности, полученным на фотоэлектроколориметре для окрашенных растворов, приготовленных на основе рабочего стандартного раствора KNO_3 ¹⁶. Рабочий стандартный раствор получают из основного стандартного раствора KNO_3 ¹⁷.

Из исходного рабочего стандартного раствора методом разведения готовят ряд стандартных растворов. В колориметрические пробирки с отметкой на 10 мл отбирают 0,0; 0,5; 1,0; 2,0; 4,0; 6,0 и 10,0 мл рабочего стандартного раствора KNO_3 и доводят дистиллированной водой до метки «10». Содержание нитратов в таких растворах будет соответственно равно 0,0; 0,5; 1,0; 2,0; 4,0; 6,0 и 10,0 мг/л. Затем растворы переносят в фарфоровые чашки, добавляют по 1 мл раствора $\text{C}_7\text{H}_5\text{NaO}_3$ и выпаривают на водяной бане досуха. Сухой остаток обрабатывают так же, как описано выше при анализе пробы исследуемой снеговой воды. У приготовленных окрашенных растворов замеряют оптическую плотность (фиолетовый светофильтр). Из полученных величин оптической плотности вычитают оптическую плотность нулевой пробы (дистиллированная вода), и результаты наносят на график.

б) *Определение содержания ионов Pb^{2+} и Cu^{2+} потенциометрическим методом.*

Оборудование и реактивы: образцы снеговой воды, иономер с селективными измерительными электродами по отношению к ионам свинца и меди, стеклянные стаканчики на 50 мл (по количеству анализируемых образцов снега).

¹⁴ О содержании хлоридов судят по результатам качественного анализа снеговой воды на ионы хлора: при выпадении большого хлопьевидного осадка содержание хлоридов в снеговой воде оценивают как превышающее 100 мг/л.

¹⁵ Калибровочный график необходимо построить до начала определения содержания нитратов в снеговой воде.

¹⁶ Приготовление рабочего стандартного раствора KNO_3 : 10 мл основного стандартного раствора KNO_3 разбавляют в мерной колбе дистиллированной водой до 100 мл. Пользуются свежеприготовленным раствором.

¹⁷ Приготовление основного стандартного раствора KNO_3 : 0,7218 г KNO_3 , высушенного при $(105 \pm 2)^\circ\text{C}$, растворяют в дистиллированной воде, добавляют 1 мл хлороформа и доводят объем до 1 л.

Метод основан на определении в снеговой воде только водорастворимых, а значит и потенциально доступных для поглощения растениям после таяния снега соединений свинца (II) и меди (II). Содержание ионов определяют с помощью иономера, принцип работы которого сходен с рН-метром. Для этого талую снеговую воду взбалтывают и наливают в стеклянные стаканчики в объеме, достаточном для погружения электродов иономера (измерительного – чувствительного к ионам Pb^{2+} или Cu^{2+} , вспомогательного – хлорсеребряного). Проведя необходимые замеры на иономере, по предварительно построенной калибровочной кривой определяют количественное содержание ионов металла (мг/л). Результаты измерений заносят в табл. 4.2.

Калибровочную кривую для определения содержания ионов Pb^{2+} в снеговой воде строят по рабочим стандартным растворам $Pb(NO_3)_2$, приготовленным путем последовательного разведения дистиллированной водой основного стандартного 0,1 М раствора $Pb(NO_3)_2$ ¹⁸. Основным стандартным раствором готовят растворением 33,1 г $Pb(NO_3)_2$, взвешенного с погрешностью 0,02 г, в 1 л дистиллированной воды. Для регулирования общей ионной силы в каждый стандартный раствор добавляют буферный раствор – 1М $NaNO_3$, так, чтобы соотношение стандартного раствора и буферного раствора составляло 10 : 1.

Калибровочную кривую для определения содержания ионов Cu^{2+} строят сходным образом. При этом основным стандартным раствором будет являться 0,1М раствор $Cu(NO_3)_2 \cdot 3H_2O$, приготовленный при растворении 24,2 г указанной соли в 1 л дистиллированной воды. Общую ионную силу стандартных растворов поддерживают добавлением 1М раствора $NaNO_3$ в прежнем соотношении. Диапазон концентраций растворов $Cu(NO_3)_2 \cdot 3H_2O$ для построения калибровочной кривой – 0,1-0,00001 М¹⁹.

Контрольные вопросы к работе № 4

1. Что такое аэрозоли?
2. Чем определяется химический состав снеговых вод?
3. Каковы природные и антропогенные источники веществ, влияющих на химический состав снега?
4. Какие вещества могут попадать в снег из природных и антропогенных источников?
5. Каковы основные факторы, влияющие на степень накопления загрязняющих веществ в снеге?
6. В чем состоит опасность повышенного содержания тех или иных химических компонентов в снежном покрове?
7. Какой смысл вкладывают в понятие «актуальная кислотность раствора»? Перечислите основные анионы и катионы, влияющие на показатель рН снеговых вод.
8. Чем опасны снеговые воды с повышенной кислотностью?

¹⁸ Согласно «Руководству по эксплуатации НИКО 418422.231-РЭ», линейный диапазон чувствительности ионоселективного электрода «Элит 231» по отношению к ионам Pb^{2+} составляет 5,0-1,0 рС, где рС – отрицательный десятичный логарифм концентрации иона. С учетом того, что в основном стандартном 0,1 М растворе $Pb(NO_3)_2$ величина отрицательного десятичного логарифма концентрации ионов Pb^{2+} равна 1,0, то раствором с минимальной концентрацией ионов Pb^{2+} (5,0 рС) будет являться 0,00001 М раствор $Pb(NO_3)_2$. Таким образом, разведение растворов $Pb(NO_3)_2$ для построения калибровочной кривой необходимо производить в диапазоне концентраций 0,1–0,00001 М.

¹⁹ Согласно «Руководству по эксплуатации НИКО 418422.227-РЭ» для электрода ионоселективного «Элит – 227».

5 БИОГЕОХИМИЯ ЖИВОГО ВЕЩЕСТВА

5.1 Растения и их химический состав

Все живые организмы состоят, главным образом, из воды и органического вещества. В то же время в любом организме обязательно присутствует некоторое количество химических элементов, которые при полном разрушении организма (испарении воды и сгорании органического вещества) никуда не исчезают, а образуют минеральный остаток – золу. Такие элементы принято называть *зольными (минеральными) элементами*. К ним относятся все химические элементы, за исключением С, Н, О и N, которые окисляются и улетучиваются в процессе сжигания. Исходным источником зольных элементов в организмах является земная кора. Из нее элементы поступают в почвы, а затем поглощаются корневыми системами растений в основном в виде минеральных соединений.

Содержание золы в растениях (*зольность*) колеблется в широких пределах и определяется рядом факторов. Обозначим наиболее важные из них. Во-первых, зольность зависит от условий произрастания: чем богаче почва по содержанию минеральных элементов и чем суше климат, тем выше содержание золы в растениях. Повышению зольности способствует и высокая степень насыщенности атмосферы газовыми примесями и пылевыми частицами, несущими разнообразные соединения минеральных элементов. Впоследствии такие вещества могут оседать на поверхность надземных органов растений, закрепляться на них или проникать внутрь органов через кутикулу и устьичные щели. Во-вторых, зольность зависит от физиологической потребности различных органов одного и того же растения в поступающих минеральных элементах. Так, в корнях и стеблях содержание золы составляет в среднем 4-5%, в листьях – 3-15%, в семенах около 3-5%. Меньше всего образуется золы при сжигании древесины (0,4-1,0%). Эти цифры показывают, что зольные элементы сконцентрированы в тех органах, метаболические процессы в которых протекают наиболее интенсивно. В-третьих, содержание золы в растении в целом, а также в отдельно взятых его органах определяется его видовыми и сортовыми особенностями. Например, зольность листьев картофеля составляет 5-13% (в зависимости от сорта), листьев свеклы – 11-15%, репы – 8-15%.

Разнообразен и состав золы. Анализы показывают, что почти нет химических элементов, которые не были бы найдены в золе того или иного растения. В ней удастся обнаружить даже самые редкие элементы, такие, как Au, U, La, Se, Hg и др.

Многие элементы, рассеянные в земной коре, способны накапливаться в растениях в большом количестве. Эта особенность может служить основой для поиска полезных ископаемых. Например, растение бурачок обратнойцевидный (*Alyssum obovatum*) из семейства Капустных (*Brassicaceae*) произрастает в местах залегания кобальтовых и кобальтово-медных руд и является активным накопителем Co, Ni и Cu. Астрагал боровой (*Astragalus pinetorum*) из семейства Бобовых (*Fabaceae*) массово произрастает в зонах медно-молибденового оруднения и является концентратором Mo и Cu. Индикатором повышенных содержаний Cu в горных породах и соответственно накопителем этого же элемента является качим Патрэна (*Gypsophila patrinii*) из семейства Гвоздичных (*Caryophyllaceae*). Индикатором полиметаллических руд, а также руд Zn и Cu, выступает смолёвка широколистная (*Silene latifolia* subsp. *latifolia*) также из семейства Гвоздичных; в наибольшем количестве она аккумулирует Pb и Zn. Универсальным индикатором оловосодержащих руд является седмичник европейский (*Trientalis europaea*) из

семейства Первоцветных (*Primulaceae*) и т.д. Растения, накапливающие в своих органах металлы, принято называть *металлофитами*. Кроме металлов, эти живые организмы способны аккумулировать и неметаллические химические элементы. Например, растения засоленных местообитаний – *галофиты* – характеризуются повышенным содержанием Cl, Br и Na.

Помимо использования в поиске месторождений полезных ископаемых, растения-аккумуляторы могут быть применены при *фиторемедиации* – очищении почв, вод и воздуха, загрязненных различными неорганическими примесями, а также в медицине, как биологически активные добавки к основному пищевому рациону людей, страдающих от недостатка определенных химических элементов.

Детальное изучение зольных элементов в растениях имеет большое значение. Оно позволяет сопоставить содержание элементов в живом организме и в среде его обитания, особенно в минеральном субстрате, на котором растение произрастает.

Присутствие некоторых зольных химических элементов в исследуемом материале можно выявить *микрохимическим методом*, который предназначен для обнаружения различных веществ в малых по массе образцах. В основе микрохимического метода лежит свойство некоторых солей металлов и неметаллов выпадать в осадок и образовывать характерной формы кристаллы, по которым можно судить о наличии в составе золы того или иного химического элемента.

Работа № 5 Обнаружение элементов в золе растений микрохимическим методом

Задание. Проведите реакции, направленные на обнаружение в золе химических элементов – K, Cl, Ca, Mg, P, Fe и S. Запишите в тетрадь уравнения качественных реакций и зарисуйте форму кристаллов, наблюдаемых в микроскоп. Сделайте вывод о содержащихся в золе химических элементах.

Оборудование и реактивы: зола растений, световой микроскоп, спиртовка, шпатель, пинцет, пробирки в штативе, воронки стеклянные малые, бумажные фильтры, стеклянная палочка, препаровальная игла, предметные стекла, маркер по стеклу, дистиллированная вода в стакане, 10%-ый раствор соляной кислоты (HCl), 1%-ый раствор серной кислоты (H₂SO₄), 10%-ный раствор аммиака, или нашатырный спирт (NH₄OH), 1%-ый раствор гидротартрата натрия (NaHC₄H₄O₆), 1%-ый раствор нитрата серебра (AgNO₃), 1%-ый раствор фосфорнокислого натрия (Na₂HPO₄), 1%-ый раствор молибденовокислого аммония [(NH₄)₂MoO₄] в 1%-ой азотной кислоте (HNO₃), 1%-ый раствор калия железосинеродистого, или желтой кровяной соли – K₄[Fe(CN)₆].

Ход работы

1) *Получение водной и солянокислой зольных вытяжек и изготовление препаратов для микроскопирования.*

Небольшое равное количество золы растений помещают в две пробирки. Содержимое первой пробирки заливают дистиллированной водой в пятикратном объеме, а второй – 10%-ым раствором соляной кислоты (HCl) в пятикратном объеме. Зола настаивают 5 минут и затем отфильтровывают через бумажные фильтры в сухие пробирки. Водный раствор золы исследуют на содержание ионов K⁺ и Cl⁻. Солянокислый раствор используют для выявления ионов Ca²⁺, Mg²⁺, P⁵⁺, Fe³⁺ и S⁶⁺.

Ионы K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, P⁵⁺, S⁶⁺ обнаруживают следующим образом. На одном конце предметного стекла помещают небольшую каплю фильтрата, на другом – каплю соответствующего

реагента и препаровальной иглой или стеклянной палочкой соединяют их. В месте соединения капле образуются продукты реакции. Для получения кристаллов солей препарат подсушивают над пламенем спиртовки до полного испарения жидкости. Препарат микроскопируют без использования покровного стекла.

Внимание! В процессе приготовления препарата необходимо тщательно следить за чистотой препаровальной иглы (стеклянной палочки) и предметного стекла. Следует избегать полного перемешивания на предметном стекле капле вытяжки зола и реагента, так как самые крупные и правильной формы кристаллы образуются именно в тонких межкапельных пере-myчках. При подсушивании препарата предметное стекло держат пинцетом; стекло поднимают высоко над пламенем горелки, слегка передвигая из стороны в сторону.

2) Обнаружение калия.

Реактивом на ионы K^+ служит 1%-ный раствор гидротартрата натрия ($NaHC_4H_4O_6$), который с нейтральным раствором солей калия дает осадок гидротартрата калия ($KHC_4H_4O_6$) в виде крупных призм и пластинок (рис. 5.1).

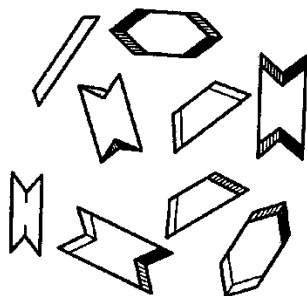
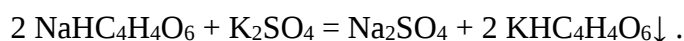


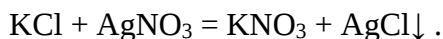
Рисунок 5.1 – Кристаллы гидротартрата калия

Реакция протекает по уравнению:



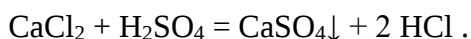
3) Обнаружение хлора.

Ионы Cl^- обнаруживают нитратом серебра ($AgNO_3$), приливая по каплям реагент в пробирку с 2 мл водной вытяжки из зола. В присутствии ионов Cl^- выпадает белый осадок хлорида серебра ($AgCl$):



4) Обнаружение кальция.

В качестве реагента на ионы Ca^{2+} используют 1%-ную серную кислоту (H_2SO_4). Реакция протекает с образованием гипса ($CaSO_4$):



Гипс осаждается на предметном стекле в виде игольчатых кристаллов (рис. 5.2):

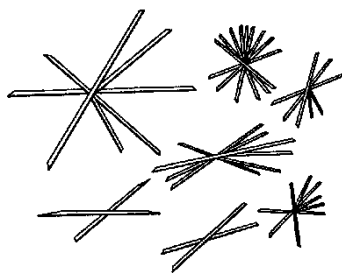


Рисунок 5.2 – Кристаллы сульфата кальция (гипса)

5) Обнаружение магния.

Для обнаружения Mg^{2+} каплю фильтрата сначала нейтрализуют каплей 10%-го раствора аммиака (NH_4OH), а затем соединяют ее с реактивом, которым служит 1%-ый раствор фосфорнокислого натрия (Na_2HPO_4). В результате химической реакции образуются характерные кристаллы фосфорно-аммиачно-магнезиальной соли (NH_4MgPO_4), которые имеют форму трапеций, призм, октаэдров, а в случае быстрой кристаллизации – звезд, листьев папоротника и крестов (рис. 5.3):

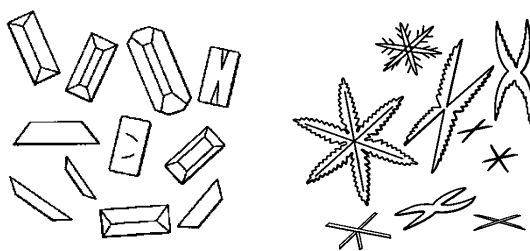
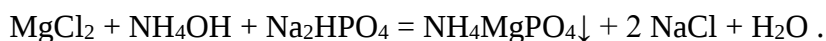


Рисунок 5.3 – Кристаллы фосфорно-аммиачно-магнезиальной соли

Реакция происходит по уравнению:



6) Обнаружение фосфора

Для обнаружения фосфора используют 1%-ый раствор молибденовокислого аммония $[(NH_4)_2MoO_4]$ в 1%-ой азотной кислоте (HNO_3). Реакция идет с образованием зеленовато-желтого осадка аммонийно-фосфорного молибдата $[(NH_4)_3PO_4 \cdot 12MoO_3]$ (рис. 5.4):

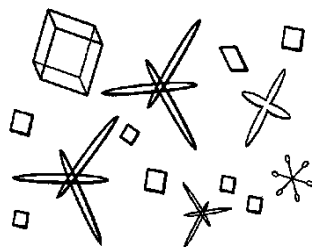
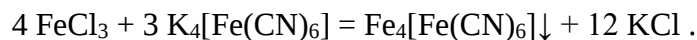


Рисунок 5.4 – Кристаллы аммонийно-фосфорного молибдата

7) Обнаружение железа.

Для обнаружения Fe^{3+} используют 1%-ый раствор желтой кровяной соли – $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$. Реакцию проводят в фарфоровой чашке, доливая по каплям к остатку вытяжки раствор реактива до появления темно-синего осадка берлинской лазури – $\text{Fe}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$. Уравнение реакции следующее:



8) Обнаружение серы.

Ионы S^{6+} обнаруживают с помощью 1%-го раствора нитрата серебра (AgNO_3). При этом выпадает осадок сульфата серебра (Ag_2SO_4) в форме вытянутых шестиугольников и ромбов (рис. 5.5):

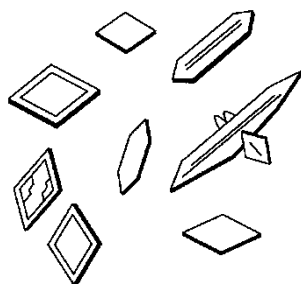
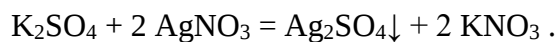


Рисунок 5.5 – Кристаллы сульфата серебра

Трение стеклянной палочкой по стеклу на холоде в капле продуктов реакции ускоряет выпадение осадка:



В заключение работы сделайте вывод о химических элементах, обнаруженных в золе.

Контрольные вопросы к работе № 5

1. Какие химические элементы называют зольными элементами?
2. Что является источником зольных элементов в живых организмах?
3. Какие факторы влияют на содержание золы в растениях?
4. Какова практическая значимость растений, накапливающих химические элементы?

Приведите примеры таких растений.

5.2 Гистохимические методы в экологической биогеохимии

Современные методы контроля за состоянием окружающей среды чрезвычайно разнообразны. Использование тех или иных методов находится в прямой зависимости от цели и задач исследований. В общей и экологической биогеохимии традиционно используются разнообразные аналитические методы – физические, химические, физико-химические. Основная цель аналитических методов – обеспечить в зависимости от поставленной задачи точность, высокую чувствительность, экспрессность и (или) избирательность анализа. Получаемая на основе этих методов информация о качестве окружающей среды очень важна.

Однако даже самые современные аналитические методы не в состоянии охватить функциональное разнообразие загрязняющих веществ. Они не дают прямой информации о биологической опасности токсикантов, не раскрывают особенностей их распределения в тканях и клетках организмов.

Решение этих задач требует иных методов. Многие из них уже разработаны и используются в целях экологического мониторинга и экологической биогеохимии. Например, биотестирование токсичности различных веществ стало уже традиционным, гистохимическое выявление химических соединений и отдельных элементов в тканях живых организмов давно используется в гистологии, цитологии и биохимии.

Использование гистохимических методик в экологической биогеохимии пока не получило широкого применения, но уже первые работы в этом плане показывают, что эти методы могут дать очень интересный материал для понимания биогеохимических взаимодействий в экосистемах, а также для оценки состояния окружающей среды.

Гистохимические методы позволяют оценить, каким образом тяжелые металлы и металлоиды распределяются внутри органов, как их накопление связано с тканями и отдельными клетками органов растений, что дает возможность интерпретировать эти данные с позиций физиологии и биохимии, раскрывать механизмы аккумуляции и обезвреживания токсикантов в растительных тканях.

Гистохимические методы базируются на химических методах анализа и обнаружения различных веществ в растительных и животных тканях. Весьма показателен в этом плане гистохимический метод изучения распределения тяжелых металлов с использованием дитизона, предложенный И. В. Серегиним и В. Б. Ивановым. Этот метод достаточно простой, экспрессный, не требующий дорогостоящих реактивов и оборудования. Он позволяет выявлять локализацию тяжелых металлов в различных тканях на временных препаратах из свежих органов растений. К сожалению, данная методика имеет серьезное ограничение: она не является строго количественной и специфичной. Реактив, приготовленный на основе дитизона, реагирует с целым набором ионов металлов – Cd, Pb, Zn, Co, Fe, Ni, Cu и др., образуя нерастворимые соли дитизонаты, окрашенные в разные оттенки красного цвета.

Вместе с тем в биогеохимии часто возникает необходимость комплексной оценки накопления определенных веществ. Например, загрязнение городской среды или сельскохозяйственных угодий практически всегда полиметаллическое, следовательно, и характер аккумуляции тяжелых металлов растениями будет отражением этой специфики. В этом плане предложенный И. В. Серегиним и В. Б. Ивановым метод очень перспективен.

Гистохимический дитизоновый метод позволяет на прижизненных срезах растительных объектов (поперечные срезы листьев, годичных побегов, стеблей и корней травянистых растений и др.) выявить локализацию и интенсивность накопления тяжелых металлов, как группы загрязнителей. В условиях городской среды или сельскохозяйственных ландшафтов такой комплексный (групповой) анализ в любом случае информативен на фоне конкретных условий и в сочетании с количественными аналитическими данными о содержании тяжелых металлов в почве, воде, воздухе, биологических объектах.

Результаты такого анализа позволяют весьма точно определить, в каких тканях, каких структурах клеток этих тканей концентрируются тяжелые металлы. Кроме того, по интенсивности окраски вполне возможно определить и количественный диапазон накопления, хотя бы на уровне «больше – меньше», или с использованием бальной шкалы. Для целей экологическо-

го мониторинга городской среды такие данные весьма ценны, так как выявляют наличие избытка тяжелых металлов в среде, показывают, из каких сред поступают элементы в растения (адсорбция перидермой – атмосферный источник, накопление в проводящих тканях – почва или вода), в каких органах аккумуляция наиболее выражена.

Большинство химических и физико-химических методов анализа предполагают сложную пробоподготовку: измельчение твердых образцов, обработку различными химическими реактивами, нагревание, растворение, сухое и «мокрое» озоление, микроволновое и ультразвуковое облучение. Все эти манипуляции направлены на более полное извлечение определенных компонентов, но они значительно удлинняют и удорожают анализ. Сам анализ производится с помощью сложной и дорогостоящей аппаратуры.

Предложенная гистохимическая методика выгодно отличается простотой подготовки анализируемого материала и необходимых реактивов. Для визуализации полученной картины распределения тяжелых металлов в растительных тканях достаточно обычного светового микроскопа, которые есть в любой, даже школьной, лаборатории.

Работа № 6. Гистохимическая дитизоновая методика оценки загрязнения городской среды тяжелыми металлами

Задание. С помощью дитизонового реактива обнаружьте тяжелые металлы в тканях растений. Обращая внимание на интенсивность окраски, оцените содержание тяжелых металлов в растительных тканях в баллах. По количественному содержанию тяжелых металлов в тканях растений сделайте заключение о загрязненности различных участков города.

Оборудование и реактивы: растительный материал (годичные побеги древесных растений, стебли и корни травянистых растений), световой микроскоп, предметные и покровные стекла, лезвие для безопасной бритвы, препаровальная игла, аптечная пипетка, дитизоновый реактив²⁰, дистиллированная вода в капельнице.

Ход работы

1) Отбор растительного материала.

Для того, чтобы иметь возможность сопоставления результатов исследования, растительный материал целесообразно отбирать в контрастных экологических условиях: в санитарно-защитной зоне промышленного предприятия, на разном удалении от напряженной автотранспортной магистрали, в городском дворе, парке, пригородном лесу, в сельской местности. С каждого участка растительный материал отбирают в нескольких повторностях. При этом он должен быть свежим или, в крайнем случае, собранным накануне исследования и храниться в полиэтиленовом пакете в холодильнике.

2) Обнаружение и учет содержания тяжелых металлов в тканях растения.

Растительный образец кладут на предметное стекло и лезвием бритвы делают серию тонких поперечных срезов, что впоследствии позволит отобрать для исследования наиболее удачно получившиеся из них. Если растительный образец слишком крупный, то его срезы можно изготовить на часовом стекле, а затем перенести их на предметное стекло. Для исключения подсыхания срезы незамедлительно орошают дистиллированной водой из капельницы.

²⁰ Дитизоновый реактив готовят непосредственно перед началом работы, так как он не хранится. Его удобно готовить в бюксе. Для этого 3 мг дитизона ($C_{13}H_{12}N_4S$) растворяют в 6 мл ацетона, добавляют 2 мл дистиллированной воды и 1-2 капли ледяной уксусной кислоты. Содержимое бюкса перемешивают стеклянной палочкой.

Срезы накрывают покровным стеклом и микроскопируют. Это дает возможность ознакомиться с расположением тканей и оценить их прижизненную окраску.

Для обнаружения тяжелых металлов в тканях на чистом предметном (часовом) стекле готовят новую серию срезов из той же морфологической части, но уже нового образца растения. При этом вместо дистиллированной воды на срезы аптечной пипеткой наносят каплю дитизонового реактива. Препарат накрывают покровным стеклом и, подождав 1-2 минуты, микроскопируют. На срезах отмечают распределение окраски по тканям и ее интенсивность.

Известно, что окрашивание тканей заметно уже при концентрации солей тяжелых металлов $10^{-5}M$. Поэтому по интенсивности и цветности окраски (по изменению цвета от слабого красно-коричневого, через розовый или лиловый, до интенсивного вишнево-коричневого) можно количественно оценить суммарное накопление металлов в растительных тканях с применением балльной шкалы: 0 – отсутствие окрашивания, 1 – слабое окрашивание, 2 – средняя степень интенсивности окрашивания, 3 – интенсивное окрашивание. Результаты исследования заносят в таблицу, которая, например, для годовичных побегов древесных растений будет выглядеть следующим образом (табл. 5.1).

Таблица 5.1. Содержание тяжелых металлов в тканях годовичных побегов березы повислой, произрастающей в г.о. Самара, в баллах

Наименование ткани		Место отбора образца			
Перидерма	феллема				
	феллоген				
	феллодерма				
Склеренхима					
Флоэма	первичная				
	вторичная				
Камбий					
Ксилема	первичная				
	вторичная				
Сердцевина	перимедулярная зона				
	паренхима				

На основе полученных данных описывают характер распределения тяжелых металлов по тканям растения, особо выделяя группы тканей наибольшего и наименьшего накопления металлов. Выдвигают предположение о причинах такого распределения тяжелых металлов по тканям.

По количественному содержанию тяжелых металлов в тканях растений делают вывод о загрязненности различных участков города.

Контрольные вопросы к работе № 6

1. Какие преимущества и недостатки можно отметить у гистохимического метода исследования по сравнению с аналитическими методами исследований (физическими, химическими, физико-химическими)?
2. Для каких целей может быть использована в биогеохимии гистохимическая дитизоновая методика?

6 БИОГЕОХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ

6.1 Кларк

Кларк – это среднее содержание химического элемента в той или иной вещественной среде (космическом объекте, Земле в целом, литосфере, гидросфере, атмосфере, различных типах горных пород, почв, живом веществе и др.), полученное по данным изучения его естественной вариации. Термин введен в геохимию в 1923 г. русским геохимиком и минералогом, академиком А. Е. Ферсманом в честь Ф. У. Кларка – американского геохимика, положившего начало статистическому изучению распределения химических элементов в природных объектах (земной коре, природных водах и проч.). Различают глобальные, региональные (местные) и локальные кларки химических элементов. Единицами их измерения являются г/т, г/г, мг/кг, %. Анализ значений кларков позволяет понять закономерности распределения химических элементов в природных объектах Земли и доступной нашим наблюдениям части Вселенной.

Содержание различных элементов в земной коре, а следовательно, и их кларки, меняются в миллиард раз (на десять математических порядков) (табл. 6.1). При этом в составе земной коры преобладают одиннадцать химических элементов (O, Si, Al, Fe, Ca, K, Na, Mg, Ti, H, Mn), высокое содержание которых позволяет им образовывать самостоятельные химические соединения – минералы, слагающие горные породы. Эти химические элементы получили название *главных элементов (макроэлементов)*. Остальные элементы с малыми кларками преимущественно распылены, рассеяны среди химических соединений этих элементов, вследствие чего их называют *рассеянными (редкими, следовыми, микро-) элементами*. Среди них преобладают: P, F, Ba, S, C, Sr, Rb, Cl, Zr, Nb. Условной границей между группами главных и рассеянных элементов в земной коре может служить величина 0,1%.

Таблица 6.1. Кларки химических элементов в верхней части континентальной земной коры и почвах мира

Химический элемент	Кларк	Химический элемент	Кларк
O	47,00* / – ** / – ***	Zn	0,0083 / 75 / 0,005
Si	29,0 / – / 33,0	Cr	0,0083 / 92 / 0,02
Al	8,05 / 76100 / 7,13	Ce	0,0070 / – / 0,005
Fe	4,65 / 40600 / 3,8	Ni	0,0058 / 50 / 0,004
Ca	3,96 / 25660 / 1,37	Cu	0,0047 / 27 / 0,002
K	2,50 / 23240 / 1,36	Li	0,0032 / – / 0,003
Na	2,50 / 24260 / 0,63	La	0,0029 / 32 / 0,004
Mg	1,87 / 14950 / 0,63	Y	0,0029 / – / 0,005
Ti	0,45 / 3900 / 0,46	Nb	0,0021 / – / –
H	0,14 / 1670 / –	N	0,0019 / 83 / 0,1
Mn	0,10 / 770 / 0,085	Ga	0,0019 / – / 0,003
P	0,093 / 690 / 0,08	Co	0,0018 / 15 / 0,0008
F	0,066 / 557 / 0,02	Pb	0,0016 / 17 / 0,001
Ba	0,065 / 628 / 0,05	Th	0,0014 / – / 0,0006
S	0,047 / 953 / 0,001	Sc	0,0011 / – / 0,0007
Sr	0,034 / 270 / 0,03	B	0,0010 / 34 / 0,001
C	0,023 / 3240 / –	Be	0,00038 / 2,3 / 0,0006
Cl	0,017 / 640 / 0,01	Cs	0,00037 / 4,9 / 0,0005
Zr	0,017 / – / 0,03	Sn	0,00025 / 2,5 / 0,001
Rb	0,015 / – / 0,01	U	0,00025 / – / 0,0005
V	0,009 / 106 / 0,01	Ta	0,00025 / – / –

Химический элемент	Кларк	Химический элемент	Кларк
Br	0,00021 / 1,6 / 0,0005	In	0,000025 / – / –
As	0,00017 / 5,6 / 0,0005	Cd	0,000013 / 0,09 / 0,00005
Ge	0,00014 / 1,3 / 0,000n	Hg	0,000008 / 0,065 / 0,000001
W	0,00013 / 2,03 / –	Ag	0,000007 / 0,053 / 0,0000n
Mo	0,00011 / 1,1 / 0,0002	Se	0,000005 / – / 0,000001
Hf	0,00010 / – / 0,006	Au	0,0000009 / 0,0015 / –
I	0,00004 / 0,49 / 0,0005	Bi	0,00000043 / 0,23 / –
Yb	0,00003 / – / –	Te	0,00000010 / 0,027 / –
Sb	0,000050 / 0,81 / –	Re	0,00000007 / – / –

Примечание: *значение кларка в земной коре, массовые % [Виноградов 1957]; **значение кларка в земной коре, мг/кг [Касимов, Власов 2015]; ***значение кларка в почвах мира, массовые % [Виноградов 1957].

О среднем химическом составе гидросферы судят по химическому составу морской (океанической) воды. Ее современный состав представляет собой результат длительных изменений под влиянием жизнедеятельности организмов. В отличие от земной коры, разброс значений кларка элементов в гидросфере выражен сильнее – на уровне пятнадцати математических порядков. К числу главных элементов принадлежат лишь четыре – О, Н, Cl и Na, на долю которых приходится 99,69% от массы всех элементов гидросферы. Среди прочих элементов доминируют Mg, S, Ca, K, Br и C (табл. 6.2).

Таблица 6.2. Кларки химических элементов в гидросфере, массовые % [Ярошевский 1990]

Химический элемент	Кларк	Химический элемент	Кларк
O	85,90	Se	0,000000016
H	10,80	Cu	0,000000013
Cl	1,919	Cd	0,0000000084
Na	1,067	Hf	0,0000000034
Mg	0,1280	Fe	0,0000000033
S	0,0898	Al	0,0000000027
Ca	0,0408	Zr	0,0000000018
K	0,0396	Mn	0,0000000016
Br	0,0067	Y	0,0000000013
C	0,0028	W	0,00000000105
N	0,000868	Ti	0,00000000062
Sr	0,000780	La	0,00000000056
B	0,000440	Ge	0,00000000051
Si	0,000309	Sn	0,00000000047
F	0,000130	Ag	0,00000000032
Ar	0,000062	Pb	0,00000000027
Li	0,0000178	Ta	< 0,00000000025
Rb	0,0000124	Re	0,00000000019
P	0,0000062	Ce	0,00000000013
I	0,0000057	Co	0,00000000012
Ba	0,00000165	Yb	0,00000000012
Mo	0,00000110	Ga	0,00000000010
U	0,00000032	Nb	< 0,00000000005
V	0,00000020	Sc	0,000000000067
As	0,00000017	Hg	0,000000000040
Ni	0,000000047	Be	0,000000000020

Химический элемент	Кларк	Химический элемент	Кларк
Zn	0,000000039	Pt	0,0000000000195
Cs	0,000000031	Te	0,0000000000071
Cr	0,000000026	Th	0,0000000000046
Sb	0,000000024	Bi	0,0000000000031
Ne	0,000000016	Au	0,0000000000020

Подобно химическому составу гидросферы, состав атмосферы Земли в значительной мере обусловлен деятельностью живых организмов. В настоящее время ее газовое вещество на 99,96% состоит из N, O и Ar. Среди компонентов, содержащихся в малых количествах, выделяются пары воды, инертные газы и соединения, обусловленные биологическими процессами и фотохимическими реакциями (табл. 6.3).

Таблица 6.3. Химический состав атмосферы, объемные % [Справочник... 1990]

Компонент	Содержание	Компонент	Содержание
N ₂	78,08	H ₂	0,000050
O ₂	20,95	N ₂ O	0,000030
Ar	0,93	CO	0,000012
CO ₂	0,032	He	0,0000087
Ne	0,00182	NH ₃	0,0000010
He	0,000524	NO ₂	0,0000001
CH ₄	0,000150	H ₂ S	0,00000002
Kr	0,000114		

Кларки химических элементов в живом веществе Земли (табл. 6.4) получены, исходя из данных об их содержании в организмах высших растений Мировой суши, которые преобладают над другими группами организмов по своей массе. Главные химические элементы в живом веществе – это O, C, H, N, Ca, K, S, Mg и Si (в сумме 99,23%). Среди других элементов по массе выделяются P, Cl, Na, Al. Таким образом, для большинства химических элементов кларки в живом веществе значительно ниже, чем в земной коре. Большая степень корреляции химического состава живого вещества наблюдается с составами гидросферы и атмосферы, о чем свидетельствует преобладание в живом веществе элементов, образующих на поверхности Земли пары и газы (O, C, H, N).

Таблица 6.4. Кларки химических элементов в живом веществе, массовые % [Ярошевский 1990]

Химический элемент	Кларк	Химический элемент	Кларк
O	69,10	Cl	0,08
C	18,50	Na	0,0480
H	9,39	Al	0,0120
N	0,76	Mn	0,0096
Ca	0,60	Fe	0,0080
K	0,44	Zn	0,0020
S	0,19	Sr	0,0016
Mg	0,13	Ti	0,0013
Si	0,12	B	0,0010
P	0,08	Ba	0,0008

Химический элемент	Кларк	Химический элемент	Кларк
Zr	0,0003	As	0,000005
Rb	0,0002	Cs	0,000005
Br	0,00015	Be	0,000004
F	0,00014	W	0,000003
Ge	0,00010	Se	0,000002
Ni	0,00008	Ga	0,000002
Cr	0,00007	Bi	0,000002
Li	0,00006	Ag	0,000001
V	0,00006	U	0,0000008
Co	0,00004	Hg	0,0000005
Cu	0,00004	Sc	0,0000003
Y	0,00003	Cd	0,0000002
La	0,00003	Sb	0,0000002
Mo	0,000024	Yb	0,00000006
I	0,00001	Au	0,00000001
Sn	0,00001		

Работа № 7. Использование понятия «кларк» для оценки содержания и распределения химических элементов в природных средах

Задание. Используя данные табл. 6.1-6.4, постройте столбчатые диаграммы распределения содержания пяти химических элементов (на выбор) в компонентах биосферы (земная кора, гидросфера, атмосфера, живое вещество). Сделайте вывод о чертах сходства и отличия химического состава земной коры, гидросферы, атмосферы и живого вещества по анализируемым элементам.

Оборудование: персональный компьютер или миллиметровая бумага формата А4, калькулятор, линейка, простой и цветные карандаши, ножницы, клей.

Рекомендации к работе. Для того, чтобы построить диаграмму, необходимо взять десятичный логарифм ($\lg$) от табличного значения кларка (табл. 6.1-6.4; в табл. 6.1 пользуются значением кларка, указанным перед косой чертой) каждого из пяти химических элементов. Это позволит избежать значительного разброса табличных значений, которые могут различаться между собой на несколько математических порядков. На диаграмме по оси «х» указывают наименование химического элемента, по оси «у» – величину десятичного логарифма его кларка (рис. 6.1). Также рекомендуется сохранять одну и ту же последовательность расположения химических элементов и цвет их столбцов на диаграммах разных геосфер.

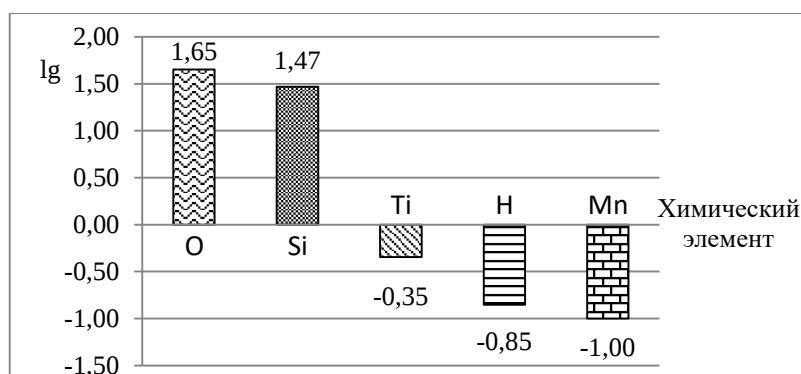


Рисунок 6.1 – Диаграмма логарифмов кларков O, Si, Ti, H и Mn в земной коре

6.2 Кларк концентрации и кларк рассеяния. Коэффициент биофильности

Химические элементы непрерывно мигрируют в природных средах. Следствием этой миграции нередко является возникновение участков и объектов повышенных либо пониженных содержаний тех или иных элементов по сравнению с их кларками. Чтобы оценить неоднородность такого распределения, в 1937 г. В. И. Вернадский предложил использовать специальный показатель – *кларк концентрации* (K_k), который показывает, как отличается содержание химического элемента в изучаемом природном объекте от его кларка.

Кларк концентрации рассчитывают по формуле:

$$K_k = \frac{C_i}{K}, \quad (6.1)$$

где C_i – содержание химического элемента в исследуемой геохимической системе (горной породе, почве) или ее таксономической части (типе горной породы, руде, минерале, типе почвы); K – кларк этого же элемента в земной коре²¹.

Величина кларка концентрации всегда больше единицы ($K_k > 1$), что указывает на накопление (концентрирование) химического элемента в исследуемом природном объекте по сравнению с земной корой.

При $K_k = 1$ содержание элемента в природном объекте и земной коре сходно.

Если C_i значительно меньше K , то при математическом расчете обнаруживают, что $K_k < 1$. Тогда для получения целых чисел и большей контрастности показателя целесообразно воспользоваться понятием «*кларк рассеяния*» (K_p), а не «кларк концентрации», так как химический элемент в изучаемом объекте рассеивается, а не накапливается. Кларк рассеяния – это величина обратная кларку концентрации, представляющая собой отношение кларка элемента в земной коре к его содержанию в исследуемом природном объекте (6.2); она показывает, во сколько раз кларк химического элемента в земной коре (K) больше его содержания в данном объекте (C_i):

$$K_p = \frac{K}{C_i}. \quad (6.2)$$

На основе рассчитанных кларков концентрации составляют геохимическую ассоциацию накапливающихся химических элементов; в этой ассоциации элементы располагают в порядке уменьшения их значений K_k . Для тех химических элементов, для которых были рассчитаны кларки рассеяния, составляют геохимическую ассоциацию рассеивающихся химических элементов; в ней элементы располагают в порядке увеличения значений K_p . Например, в почвах Правобережья Самарской области ассоциация накапливающихся химических элементов имеет вид: $Cu_{(5,95)}^{22}$ – $Pb_{(1,94)}$ – $Zn_{(1,68)}$ – $Co_{(1,49)}$ – $Ti_{(1,32)}$ – $Cr_{(1,23)}$ – $Ni_{(1,19)}$. К числу рассеивающихся элементов в Правобережье относятся Sr и Fe : $Fe_{(1,70)}^{23}$ – $Sr_{(2,22)}$. Если значения кларков концентрации и кларков рассеяния получаются близкими к единице (1,01 ... 1,09), то для таких элементов можно составить третью геохимическую ассоциацию – ассоциацию химических элементов, близких по своему содержанию к кларкам в земной коре.

²¹ Расчет кларка концентрации и кларка рассеяния химических элементов может проводиться как относительно кларков химических элементов в земной коре, так и их кларков в почвах мира.

²² В скобках указаны значения кларков концентрации химических элементов.

²³ В скобках указаны значения кларков рассеяния химических элементов.

Таким образом, кларки концентрации и кларки рассеяния являются показателями, характеризующими относительную распространенность химических элементов в природе и позволяющими судить о концентрировании или рассеянии элементов в исследуемой системе (объекте) относительно земной коры.

Частным случаем кларка концентрации, рассчитываемого для живых организмов, является *коэффициент биофильности*, или *биофильность химического элемента* (Б). Термин «биофильность» предложил в 1975 г. А. И. Перельман. Коэффициент биофильности показывает, насколько содержание того или иного химического элемента в живом организме отличается от его содержания в земной коре, и рассчитывается по формуле:

$$Б = \frac{Ж}{К}, \quad (6.3)$$

где Ж – содержание химического элемента в живой (сырой) массе организма или группы организмов; К – кларк элемента в земной коре.

Наиболее биофильны такие химические элементы, как С (Б = 7800), N (160) и Н (70). Биофильность остальных химических элементов чуть больше единицы [О (1,5), Cl (1,1), S (1,0)] либо меньше единицы (все остальные элементы). Наименее биофильны Fe (0,002) и Al (0,0006).

Работа № 8. Использование кларков концентрации и рассеяния

для сравнительного анализа биогеохимических особенностей почв Самарской области

Задание. Работа выполняется в двух вариантах (*вариант а*, *вариант б*). Используя данные табл. 6.1, 6.5 (для *варианта а*) и табл. 6.1, 6.6 (для *варианта б*), рассчитайте кларки концентрации и кларки рассеяния: *вариант а*) для почв двух природно-территориальных комплексов Самарской области (по выбору – Правобережье в целом, Самарская Лука, Левобережье в целом, лесостепь Левобережья, подзона богаторазнотравно-типчаково-ковыльных степей Левобережья, подзона разнотравно-типчаково-ковыльных степей Левобережья, подзона типчаково-ковыльных степей Левобережья); *вариант б*) для двух типов региональных почв (по выбору – черноземы, аллювиальные дерновые насыщенные почвы, серые лесные почвы, дерново-карбонатные почвы, темно-каштановые почвы, солонцы, слабогумусированные пески, техногенные грунты). В обоих вариантах выделите ассоциации накапливающихся и рассеивающихся химических элементов. Сделайте заключение о геохимических особенностях почвенного покрова Самарской области, сопоставив между собой почвы природно-территориальных комплексов (в *варианте а*) и типы анализируемых почв (в *варианте б*).

Оборудование: калькулятор.

Ход работы

Прежде, чем приступить к расчету кларков концентрации и кларков рассеяния, необходимо, чтобы значения кларков Ti, Mn, Fe, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Sr, Rb, Pb в земной коре (табл. 6.1) и почвах (табл. 6.5 и 6.6) были выражены в одной единице измерения – мг/кг. В табл. 6.1 кларки некоторых химических элементов выражены только в массовых процентах, поэтому такие значения нужно умножить на 10000. Например, кларк рубидия (Rb) в земной коре составляет 0,015 массовых процентов (табл. 6.1). Умножив эту величину на 10000, получим 150, – в среднем именно столько мг химического элемента содержит 1 кг континентальной земной коры.

Таблица 6.5. Среднее содержание некоторых химических элементов в почвах различных природно-территориальных комплексов Самарской области, мг/кг [Прохорова 1998]

Химический элемент	Региональное фоновое содержание*	Правобережье		Левобережье				
		в целом	Самарская Лука	в целом	лесостепь	степь		
						1	2	3
Ti	<u>4674,3</u> ** 58,56***	<u>6190,26</u> 57,44	<u>6170,98</u> 39,31	<u>4453,64</u> 59,67	<u>4057,66</u> 54,90	<u>4768,85</u> 71,12	<u>4634,39</u> 75,57	<u>4895,26</u> 53,31
Mn	<u>687,7</u> 493,07	<u>700,78</u> 483,07	<u>814,55</u> 549,64	<u>673,00</u> 503,06	<u>797,55</u> 623,16	<u>571,58</u> 416,50	<u>599,97</u> 400,23	<u>539,62</u> 349,44
Fe	<u>33592,0</u> 888,60	<u>27403,30</u> 898,04	<u>29990,67</u> 893,57	<u>34620,90</u> 879,16	<u>35388,04</u> 1015,95	<u>32041,50</u> 902,50	<u>35771,29</u> 848,31	<u>37841,15</u> 582,22
Cr	<u>102,0</u> 49,64	<u>125,55</u> 48,24	<u>153,82</u> 49,19	<u>97,63</u> 51,03	<u>104,09</u> 52,09	<u>114,07</u> 45,18	<u>70,66</u> 47,28	<u>63,18</u> 52,68
Co	<u>12,4</u> 6,44	<u>18,49</u> 6,55	<u>17,91</u> 3,11	<u>10,15</u> 6,33	<u>13,18</u> 3,71	<u>10,61</u> 9,98	<u>9,16</u> 8,01	<u>9,73</u> 7,94
Ni	<u>28,6</u> –	<u>33,79</u> –	<u>38,34</u> –	<u>27,50</u> –	<u>38,12</u> –	<u>22,79</u> –	<u>12,70</u> –	<u>9,15</u> –
Cu	<u>26,5</u> –	<u>157,67</u> –	<u>188,34</u> –	<u>36,04</u> –	<u>37,46</u> –	<u>28,43</u> –	<u>25,50</u> –	<u>24,67</u> –
Zn	<u>75,5</u> 24,98	<u>126,49</u> 27,43	<u>131,74</u> 25,43	<u>70,86</u> 22,53	<u>92,05</u> 20,75	<u>45,38</u> 29,42	<u>45,79</u> 23,00	<u>47,65</u> 19,21
Sr	<u>171,9</u> 47,89	<u>152,81</u> 42,17	<u>164,32</u> 28,80	<u>176,79</u> 53,60	<u>179,29</u> 36,76	<u>174,03</u> 50,89	<u>173,84</u> 55,54	<u>176,85</u> 85,35
Rb	<u>82,9</u> 1,47	= 1,39	<u>88,55</u> 1,07	<u>78,65</u> 1,55	<u>83,08</u> 1,04	<u>70,24</u> 1,71	<u>85,01</u> 1,96	<u>91,97</u> 2,42
Pb	<u>11,2</u> 2,25	<u>21,73</u> 2,28	<u>22,45</u> 2,36	<u>9,79</u> 2,21	<u>10,34</u> 2,51	<u>8,34</u> 2,20	<u>8,73</u> 2,04	<u>5,65</u> 1,63

Примечание: 1 – подзона богаторазнотравно-типчаково-ковыльных степей Левобережья; 2 – подзона разнотравно-типчаково-ковыльных степей Левобережья; 3 – подзона типчаково-ковыльных степей Левобережья; * – среднее содержание химических элементов в почвах Самарской области; ** в числителе – валовое содержание элемента; *** в знаменателе – содержание подвижных форм элемента (экстрагент 1Н HNO₃).

Таблица 6.6. Фоновое содержание некоторых химических элементов в почвах Самарской области, мг/кг [Прохорова 1998]

Элемент	Черноземы	Аллювиальные дерновые насыщенные почвы	Серые лесные почвы	Дерново-карбонатные почвы	Темно-каштановые почвы	Солонцы	Слабогумусированные пески	Техногенные грунты
Ti	4804,6	4013,8	4510,5	4759,4	5155,2	4142,6	7215,7	4594,0
Mn	688,6	630,2	706,2	489,0	573,1	599,3	736,5	647,3
Fe	35010,0	29644,0	26696,0	22760,0	38420,0	38745,0	25225,0	23806,0
Cr	96,9	94,3	178,6	117,1	50,9	68,4	125,5	106,4
Co	11,3	10,4	13,3	15,5	7,4	8,5	12,4	16,1
Ni	28,2	27,9	31,4	32,7	7,4	11,9	28,2	57,1
Cu	45,3	29,0	71,8	218,9	24,2	23	82,2	318,9
Zn	76,8	58,9	88,2	133,9	44,9	55,1	73,7	229,9
Sr	173,8	183,1	148,9	155,0	177,6	183,6	136,7	201,5
Rb	69,0	84,2	68,1	59,0	–	90,3	–	–
Pb	10,8	10,0	12,1	27,5	6,1	7,0	16,5	39,9

Выберете из табл. 6.5 два любых природно-территориальных комплекса (для *варианта а*) или из табл. 6.6 два любых типа почвы (для *варианта б*). Затем для каждого химического элемента, указанного в табл. 6.5 и 6.6, рассчитайте либо кларк концентрации, либо кларк рассеяния. Понять, какой именно показатель необходимо рассчитать, можно так: если C_i (значение этого показателя указано над «дробной» чертой в табл. 6.5, а также в табл. 6.6) больше K (эта величина указана после косой черты в табл. 6.1 или получена при умножении значения кларка в массовых процентах из табл. 6.1 на 10000), то рассчитывают кларк концентрации по формуле 6.1. Если C_i меньше K , то рассчитывают кларк рассеяния по формуле 6.2. Например, в *варианте а* был выбран природно-территориальный комплекс Правобережье в целом. Для химического элемента Ti сравнивают величину C_i (это значение 6190,26 мг/кг в табл. 6.5) с величиной K (3900 мг/кг в табл. 6.1) и видят, что $C_i > K$. Значит для Ti рассчитывают кларк концентрации по формуле 6.1. Он будет следующим:

$$K_{к(Ti)} = \frac{6190,26}{3900,00} = 1,59.$$

Для химического элемента Ni сравнивают величину C_i (33,79 мг/кг) с величиной K (50 мг/кг) и отмечают, что $C_i < K$. Поэтому для Ni рассчитывают кларк рассеяния по формуле 6.2:

$$K_{р(Ni)} = \frac{50,00}{33,79} = 1,48.$$

Аналогично для *варианта б*. Были выбраны почвы черноземы. Для химического элемента Ti сопоставляют величину C_i (это значение 4804,6 мг/кг в табл. 6.6) с величиной K (3900 мг/кг в табл. 6.1) и обнаруживают, что $C_i > K$. Значит для Ti следует рассчитать кларк концентрации формуле 6.1:

$$K_{к(Ti)} = \frac{4804,6}{3900,0} = 1,23.$$

Для химического элемента Mn сравнивают величину C_i (688,6 мг/кг в табл. 6.6) с величиной K (770 мг/кг в табл. 6.1) и отмечают, что $C_i < K$. Поэтому для Mn рассчитывают кларк рассеяния по формуле 6.2. Он будет таким:

$$K_{р(Mn)} = \frac{770,0}{688,6} = 1,12.$$

И так далее.

После расчета кларков концентрации и кларков рассеяния для всех химических элементов, указанных в табл. 6.5 (*вариант а*) и табл. 6.6 (*вариант б*), составляют геохимические ассоциации накапливающихся и рассеивающихся химических элементов. При составлении ассоциаций руководствуются теоретическим материалом, представленным в подглаве «6.2 Кларк концентрации и кларк рассеяния. Коэффициент биофильности». Обратите внимание, что значения кларков концентрации и кларков рассеяния для некоторых химических элементов могут быть близкими к единице (1,01 ... 1,09). А значит, такие элементы выделяют в отдельную, третью по счету геохимическую ассоциацию – ассоциацию химических элементов, близких по своему содержанию к кларку в земной коре.

Наконец, на основе составленных геохимических ассоциаций элементов сопоставляют между собой почвы двух природно-территориальных комплексов Самарской области (*вариант а*) или два анализируемых типа почв Самарской области (*вариант б*), выделяя существующие между ними черты сходства и отличия.

Контрольные вопросы к работам № 7 и № 8

1. Дайте определение понятию «кларк». Какова практическая значимость этого показателя?
2. Дайте определение понятиям «кларк концентрации» и «кларк рассеяния». Напишите формулы для их расчета.
3. Охарактеризуйте понятие «биофильность химического элемента».

6.3 Коэффициент концентрации. Геохимический индекс почв

Коэффициент концентрации, или *относительная концентрация химического элемента* (K_c) – это ландшафтно-геохимический показатель, позволяющий судить о том, во сколько раз содержание химического элемента в почве в точке опробования (фактическое содержание элемента) (C_i) отличается от его среднего содержания в почве на фоновом участке (регионального фонового содержания) ($C_{\Phi i}$):

$$K_c = \frac{C_i}{C_{\Phi i}} . \quad (6.4)$$

На основе коэффициентов концентрации может быть составлен *геохимический индекс почв*. Он позволяет наглядно оценить особенности накопления ряда химических элементов в почвенном покрове конкретного региона. Так, геохимический индекс почв левобережной части Самарской области имеет вид:

$$Fe_{(1,03)} Sr_{(1,03)} V_{(1,02)} Mn_{(0,98)} Cr_{(0,98)} Ni_{(0,96)} Ti_{(0,95)} Zn_{(0,94)} \frac{Cu_{(1,36)} Rb_{(1,14)}}{Pb_{(0,87)} Co_{(0,82)}} .$$

В числителе такого индекса указывается ассоциация химических элементов, накапливающихся в данном ландшафте, в знаменателе – ассоциация рассеивающихся элементов, а в части, предваряющей дробь, – перечисляются элементы, концентрации которых не отличаются либо слабо отличаются от их фоновых значений. В скобке рядом с элементом указывается значение его коэффициента концентрации.

Обычно к числу накапливающихся относят химические элементы с $K_c > 1$, к числу рассеивающихся – элементы с $K_c < 1$. Однако, насколько больше и насколько меньше единицы должны быть значения коэффициентов концентрации, чтобы химические элементы могли быть включены в ассоциации накапливающихся и рассеивающихся элементов, решают сами исследователи. Отправным моментом в разрешении этого вопроса становится степень выраженности региональной геохимической дифференциации по изучаемым элементам. Например, И. С. Михайлов с соавторами [1967] в своей работе по Среднему Уралу предложил объединять

в ассоциацию накапливающихся химические элементы с $K_c > 1,5$, в ассоциацию рассеивающихся – элементы с $K_c < 0,5$. Содержание элементов, относительная концентрация которых колебалась в пределах от 0,5 до 1,5, считалось авторами близким к фоновому содержанию.

В условиях Самарского региона геохимическая дифференциация почвенного покрова по большинству изучаемых элементов выражена слабо, поэтому накапливающимися можно считать элементы с $K_c > 1,1$, рассеивающимися – с $K_c < 0,9$. Содержание химических элементов с $0,9 < K_c < 1,1$ считают близким к фоновому содержанию. Следовательно, в почвах Левобережья Самарской области большинство анализируемых элементов (Fe, Sr, V, Mn, Cr, Ni, Ti, Zn) содержится на уровне региональных фоновых концентраций. В группу рассеивающихся элементов попадают Pb и Co. Накапливаются Cu и Rb. Источником повышенного содержания в почвах Левобережья Cu и Rb могут служить почвообразующие горные породы, на продуктах выветривания которых формируются эти почвы, а также перемещение элементов ветровыми потоками от техногенных источников. Существенный вклад могут также вносить процессы латеральной²⁴ и радиальной²⁵ миграции этих элементов.

Работа № 9. Составление геохимического индекса для почв Самарской области

Задание. Используя табл. 6.5, составьте геохимические индексы почв двух природно-территориальных комплексов (на выбор – Правобережье в целом, Самарская Лука, Левобережье в целом, лесостепь Левобережья, подзона богаторазнотравно-типчаково-ковыльных степей Левобережья, подзона разнотравно-типчаково-ковыльных степей Левобережья, подзона типчаково-ковыльных степей Левобережья). Сравните между собой почвенный покров анализируемых природно-территориальных комплексов.

Оборудование: калькулятор.

Ход работы

Выберете из табл. 6.5 два природно-территориальных комплекса Самарской области и рассчитайте по формуле 6.4 коэффициенты концентрации химических элементов для их почв. При расчетах пользуйтесь значениями валового содержания элементов, указанными в табл. 6.5 в числителях.

На основе полученных коэффициентов концентрации химических элементов составьте геохимические индексы почв двух выбранных природно-территориальных комплексов Самарской области. В геохимическом индексе накапливающиеся элементы ($K_c > 1,1$) укажите в числителе индекса, рассеивающиеся элементы ($K_c < 0,9$) – в знаменателе индекса, а элементы с содержанием близким к региональному фоновому содержанию ($0,9 < K_c < 1,1$) – перед дробной частью индекса.

Сделайте заключение об особенностях, сходстве и отличиях содержания химических элементов в почвах природно-территориальных комплексов Самарской области.

²⁴ Латеральная миграция химических элементов – это перемещение элементов по горизонтали между геохимическими сопряженными ландшафтами.

²⁵ Под радиальной миграцией химических элементов понимают их вертикальное перемещение внутри почвенного профиля.

6.4 Коэффициент биологического поглощения

Живые организмы избирательно поглощают и накапливают химические элементы в своих телах. Именно благодаря этой способности содержание элементов в минеральной составляющей организмов – золе – отличается от их содержания в природных средах.

Для оценки способности живых организмов поглощать и накапливать химические элементы Б. Б. Полыновым в 1948 г. был предложен биогеохимический показатель «*интенсивность поглощения химического элемента*», который в 1975 г. А. И. Перельман предложил называть *коэффициентом биологического поглощения* (A_x , K_b , КБП). Данный коэффициент является важным при рассмотрении вопросов, связанных с биогенной миграцией химических элементов²⁶.

Коэффициент биологического поглощения рассчитывают по формуле:

$$A_x = \frac{l_x}{n_x}, \quad (6.5)$$

где l_x – содержание химического элемента X в золе растения; n_x – содержание химического элемента X в почве или горной породе, на которой произрастает данное растение.

Коэффициент биологического поглощения дает представление об интенсивности поглощения организмом того или иного химического элемента и показывает, во сколько раз содержание элемента в золе определенного организма больше или меньше, чем в конкретной почве, горной породе или в земной коре.

Следует разграничивать понятия «коэффициент биологического поглощения» и «коэффициент биофильности», так как последний показатель рассчитывают на основе содержания элемента в живом веществе (в сырой массе организмов), а не в зольном остатке.

На основе рассчитанных коэффициентов биологического поглощения строят *ряд интенсивности поглощения*, в котором химические элементы располагают в порядке убывания значений их коэффициентов биологического поглощения. Например, ряд интенсивности поглощения химических элементов растениями ландыша майского (*Convallaria majalis*), произрастающими в лесостепном Поволжье Самарской области, имеет следующий вид:

$$\text{Cu (0,53}^{27}) > \text{Co (0,42)} > \text{Sr (0,39)} > \text{Zn (0,34)} > \text{V (0,19)} > \text{Mn (0,17)} > \\ > \text{Ni (0,15)} > \text{Rb (0,13)} > \text{Cr (0,02), Pb (0,02)} > \text{Fe (0,009)} > \text{Ti (0,001)} .$$

Представленный ряд наглядно демонстрирует, что растения ландыша интенсивнее всего поглощают Cu, Co, Sr и Zn в то время, как их потребность в Cr, Pb и, особенно, Fe и Ti минимальная.

В зависимости от величины коэффициента биологического поглощения все химические элементы можно разделить на две основные группы (табл. 6.7). Если $A_x > 1$ (то есть содержание элемента в золе больше, чем в земной коре, почве), считают, что в течение жизни организм накапливает химический элемент, в связи с чем химический элемент относят к группе биоло-

²⁶ Биогенная миграция химических элементов – это перемещение химических элементов в биосфере, происходящее при участии живых организмов (микроорганизмов, растений, животных).

²⁷ Здесь и далее в ряду в скобках дано значение коэффициента биологического поглощения, рассчитанное для соответствующего ему химического элемента.

гического накопления. Если $A_x < 1$ (содержание элемента в золе меньше, чем в земной коре, почве), то такой химический элемент на протяжении жизни лишь захватывается организмом, и его относят к группе биологического захвата.

Таблица 6.7. Ряды биологического поглощения химических элементов [Перельман 1975]

Химические элементы		Коэффициент биологического поглощения				
		100n	10n	n	0,n	0,0n-0,00n
Биологического накопления	энергичного	P, S, Cl, Br, I				
	сильного			Ca, Na, K, Mg, Sr, Zn, B, Se		
Биологического захвата	среднего			Mn, F, Ba, Ni, Ge, Cu, Ga, Co, Pb, Sn, As, Mo, Hg, Ag, Ra, Au, B		
	слабого и очень слабого				Si, Al, Fe, Ti, Zr, Rb, V, Cr, Li, Y, Nb, Th, Sc, Be, Ta, U, W, Sb, Cd	

Степень накопления и захвата элементов может быть различной (табл. 6.7). По этому признаку химические элементы делят на четыре подгруппы: I – элементы энергичного биологического накопления (имеют A_x в диапазоне 10n–100n); II – элементы сильного биологического накопления (A_x n–10n); III – элементы среднего биологического накопления и сильного захвата (A_x n–0,n); IV – элементы слабого и очень слабого захвата (A_x 0,n–0,0n и менее).

Коэффициент биологического поглощения не является константой, и даже у одного и того же биологического вида на протяжении жизни его величина может изменяться в 100-1000 раз. Подобные колебания обуславливают множество одновременно действующих факторов, все многообразие которых, тем не менее, можно свести к двум группам.

К первой группе относят факторы, связанные с самим живым организмом. Это: особенности морфологии его органов и тканей (главным образом непосредственно контактирующих с окружающей природной средой); степень взаимодействия органов с компонентами окружающей природной среды (у растений – глубина проникновения корневой системы в почву); аттрагирующая²⁸ способность органов в отношении химических элементов, обусловленная значением этих органов для поддержания жизнедеятельности организма; количественный и качественный состав эндо- и экзосметаболитов органов, участвующих в процессах фиксации химических элементов; общее физиологическое состояние и интенсивность протекающих в организме процессов; физиологическая потребность организма в конкретном химическом элементе на определенном этапе жизни; непостоянство сезонного ритма прироста биомассы; продолжительность жизни организма (и длительность вегетации у растений); экологические особенности организма (потребность в тепле и влаге) и др.

Интересно отметить, что на величину A_x , помимо перечисленных факторов, влияет и происхождение организма. В частности, согласно классификации А. Д. Айвазяна [1974], все растения можно подразделить на *гумидокатные* (ель, береза, осина, мхи и др.), центры происхождения которых находятся в гумидных областях²⁹, и *ариданитные* (полынь, ковыль, кермек,

²⁸ От лат. *attrahere* – привлекать, притягивать.

²⁹ Гумидные области (от лат. *humidus* – влажный) – территории с избыточным увлажнением, при котором атмосферных осадков выпадает больше, чем может испариться и просочиться в почвогрунты. Для ландшафтов с гумидным климатом типична разнообразная и обильная лесная растительность.

подсолнечник, кукуруза и др.), исторически возникшие в аридных регионах³⁰. Формирование гумидокатных растений в гумидных условиях привело к тому, что они приспособились накапливать катионогенные химические элементы (Zn, Mn, Cu, Pb, Co, Sr, Ni, Cd, Ag), обладающие наибольшей подвижностью в этих климатических условиях. Особенностью ариданидных растений стало накопление анионогенных химических элементов (Mo, B, Cr, V, Ti, частично Zr), а также некоторых катионогенных элементов (Cu, Ag, Pb, Co, Sr, Ni, Cd), подвижность, а, следовательно, и доступность которых для растений в этих условиях обусловлена образованием растворимых комплексов с карбонатами и бикарбонатами.

Вторую группу составляют факторы окружающей организм природной среды. В частности, для наземных растений чрезвычайно важными оказываются характеристики почвенной среды (гранулометрический состав, окислительно-восстановительный потенциал, содержание в почве гумусовых веществ, карбонатов, оксидов, гидроксидов, фосфатов, концентрация ионов водорода, влагообеспеченность, обогащенность почвы метаболитами почвенных микроорганизмов и др.). Несомненное влияние на процессы поглощения и накопления химических элементов организмами оказывают и физико-химические свойства самих элементов и их соединений, климатические условия местообитания, а также техногенная деятельность человека, ведущая к трансформации окружающей среды.

Работа № 10. Расчет коэффициентов биологического поглощения для растений Самарской области

Задание. Используя данные табл. 6.5 по фоновому содержанию химических элементов в почвах Самарской области и данные табл. 6.8, рассчитайте коэффициенты биологического поглощения для двух видов древесных растений (на выбор – сосна обыкновенная, дуб черешчатый, береза повислая, липа мелколистная, клен платановидный, осина обыкновенная) или двух видов травянистых дикорастущих растений (сныть обыкновенная, ландыш майский, чистотел большой, полынь обыкновенная, молочай прутьевидный, крапива двудомная), или двух видов травянистых культурных растений (пшеница мягкая озимая, пшеница мягкая яровая, рожь посевная озимая, овес посевной, гречиха посевная, подсолнечник однолетний), или для групп древесных и травянистых растений в целом. На основе полученных данных для каждого вида растения (группы растений) составьте ряд интенсивности поглощения химических элементов. Руководствуясь табл. 6.7, проанализируйте потребность растений в Ti, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn и Pb. Сравните между собой интенсивность поглощения химических элементов у анализируемых видов. Полученные выводы обоснуйте.

Оборудование: калькулятор.

Ход работы

Выберите из табл. 6.8 два вида древесных растений (сосну обыкновенную, дуб черешчатый, березу повислую, липу мелколистную, клен платановидный, осину обыкновенную) или два вида травянистых дикорастущих растений (сныть обыкновенную, ландыш майский, чистотел большой, полынь обыкновенную, молочай прутьевидный, крапиву двудомную), или два вида травянистых культурных растений (пшеницу мягкую озимую, пшеницу мягкую яровую,

³⁰ Аридные области (от лат. *aridus* – сухой) – территории с сухим климатом, где испарение существенно превышает количество выпадающих осадков (пустыни, полупустыни, степи, саванны, тропические зоны с резко выраженным засушливым сезоном, а также районы, замкнутые высокими горами).

рожь посевную озимую, овес посевной, гречиху посевную, подсолнечник однолетний), или группы древесных и травянистых растений в целом.

Таблица 6.8. Среднее содержание некоторых химических элементов в воздушно-сухом веществе растений Самарской области, мг/кг [Прохорова 1998]

Растения	Химический элемент							
	Ti	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Pb
Древесные растения	35,63	123,57	162,86	3,01	6,03	28,04	29,91	0,50
Травянистые растения	15,07	94,39	324,51	6,86	7,99	27,15	39,67	1,05
Сосна обыкновенная (<i>Pinus sylvestris</i>)	51,37	42,52	131,34	0,53	2,91	5,41	21,75	0,64
Дуб черешчатый (<i>Quercus robur</i>)	27,05	154,44	97,28	1,07	3,77	15,39	19,48	0,44
Береза повислая (<i>Betula pendula</i>)	29,59	56,36	120,96	2,55	5,74	31,37	42,75	0,48
Липа мелколистная (<i>Tilia cordata</i>)	44,89	101,92	173,74	2,46	4,97	23,89	15,82	0,55
Клен платановидный (<i>Acer platanoides</i>)	45,34	229,24	173,15	2,28	3,06	15,43	22,81	0,43
Осина обыкновенная (<i>Populus tremula</i>)	60,95	141,16	75,86	2,96	6,23	17,11	61,24	0,75
Сныть обыкновенная (<i>Aegopodium podagraria</i>)	6,00	137,60	551,17	12,79	10,84	34,39	46,12	1,45
Ландыш майский (<i>Convallaria majalis</i>)	5,06	127,07	222,42	4,77	4,52	23,51	24,69	0,45
Чистотел большой (<i>Chelidonium majus</i>)	56,95	192,42	242,46	7,81	8,31	51,39	48,63	1,90
Полынь обыкновенная (<i>Artemisia vulgaris</i>)	3,26	99,82	312,76	3,80	11,54	19,63	60,47	0,30
Молочай прутьевидный (<i>Euphorbia virgata</i>)	1,81	54,73	198,00	5,77	9,19	17,14	40,90	0,40
Крапива двудомная (<i>Urtica dioica</i>)	5,64	121,52	376,96	9,30	4,37	49,87	61,90	1,64
Пшеница мягкая озимая (<i>Triticum aestivum</i>)	14,29	58,42	99,38	0,23	1,16	5,44	20,66	0,55
Пшеница мягкая яровая (<i>Triticum aestivum</i>)	13,93	76,72	119,92	0,18	0,55	6,70	21,66	0,78
Рожь посевная озимая (<i>Secale cereale</i>)	14,19	58,45	105,24	0,20	1,33	7,44	17,06	0,31
Овес посевной (<i>Avena sativa</i>)	14,04	66,60	89,30	0,21	1,48	7,80	17,04	0,65
Гречиха посевная (<i>Fagopyrum esculentum</i>)	8,65	73,13	106,92	0,28	1,76	8,00	12,28	0,88
Подсолнечник однолет- ний (<i>Helianthus annuus</i>)	11,73	51,18	102,54	0,33	1,84	9,67	15,77	0,72

Пересчитайте содержание химических элементов в 1 кг воздушно-сухого вещества растений (оно представлено в табл. 6.8) на 1 кг золы этих растений. Помните, что средняя зольность³¹ деревьев составляет 8%, дикорастущих трав – 9%, культурных трав – 10%. Например, выбрано дикорастущее травянистое растение – чистотел большой. Рассчитаем содержание Ti в 1 кг золы, образующейся после сжигания 1 кг сухого вещества чистотела большого. Для это-

³¹ Зольность – это масса золы, образующейся после сжигания организма.

го, во-первых, найдем, какое количество золы образуется при сжигании 1 кг воздушно-сухого вещества чистотела. Принимая во внимание, что при сжигании 1 кг чистотела (из 100% исходного вещества) образуется 9% золы, составим пропорцию:

$$\begin{array}{lcl} 1 \text{ кг воздушно-сухого вещества} & - & 100\% \\ x \text{ кг золы} & - & 9\% \end{array} \quad x = 0,09 \text{ кг.}$$

То есть при сжигании 1 кг чистотела образуется 0,09 кг золы.

Во-вторых, рассчитаем, какое количество Ti содержится в 1 кг (1000000 мг) золы чистотела. С учетом того, что 0,09 кг (90000 мг) золы содержат, согласно табл. 6.8, 56,95 мг Ti (содержание химического элемента не изменилось после сжигания растения), составим пропорцию:

$$\begin{array}{lcl} 90000 \text{ мг золы} & - & 56,95 \text{ мг Ti} \\ 1000000 \text{ мг золы} & - & x \text{ мг Ti} \end{array} \quad x = 632,78 \text{ мг.}$$

Таким образом, содержание Ti в 1 кг золы чистотела составляет 632,78 мг.

Теперь рассчитаем, какое количество Mn содержится в 1 кг золы чистотела:

$$\begin{array}{lcl} 90000 \text{ мг золы} & - & 192,42 \text{ мг Mn} \\ 1000000 \text{ мг золы} & - & x \text{ мг Mn} \end{array} \quad x = 2138,00 \text{ мг.}$$

Следовательно, в 1 кг золы чистотела содержится 2138,00 мг Mn.

И так далее в отношении всех химических элементов, указанных в табл. 6.8.

Рассчитайте коэффициенты биологического поглощения химических элементов по формуле 6.5. С этой целью полученные числовые значения содержания химических элементов в 1 кг золы чистотела большого подставляйте в числитель формулы. В знаменатель формулы подставляйте значения регионального фонового содержания химических элементов, указанные над «дробной» чертой во втором столбце табл. 6.5. Например, для химического элемента Ti коэффициент равен:

$$A_{(Ti)} = \frac{632,78}{4674,30} = 0,14.$$

Для химического элемента Mn:

$$A_{(Mn)} = \frac{2138,0}{687,7} = 3,11.$$

И так далее.

Постройте ряд интенсивности поглощения химических элементов чистотелом большим, располагая в нем коэффициенты биологического поглощения в порядке убывания их значений. Руководствуясь табл. 6.7, проанализируйте потребность этого вида растения в Ti, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn и Pb.

Прodelайте ту же самую работу в отношении второго выбранного вида растения.

Сравните между собой интенсивность поглощения химических элементов у анализируемых видов. Используя теоретический материал подраздела 6.4 «Коэффициент биологического поглощения», предположите, какие факторы могли оказать влияние на формирование химического состава растений.

Контрольные вопросы к работе № 10

1. Что отражает коэффициент биологического поглощения и для характеристики каких процессов, протекающих в биосфере, используется? Напишите формулу для расчета коэффициента.
2. Что представляет собой ряд интенсивности поглощения химических элементов живыми организмами?
3. Перечислите группы химических элементов в зависимости от интенсивности их накопления организмами.

6.5 Коэффициент биогеохимической подвижности

При всей важности коэффициента биологического поглощения следует отметить, что он отражает лишь потенциальную биогеохимическую подвижность элементов, а, следовательно, и потенциальную доступность химических элементов растениям. Актуальную доступность элементов растениям характеризует *коэффициент биогеохимической подвижности*, предложенный Н. С. Касимовым [Перельман 1999]. Его рассчитывают с учетом содержания в почве подвижных, доступных для поглощения растениям водно-растворимых, солевых и органо-минеральных форм элементов, извлекаемых слабыми растворителями, а не их валового (суммарного) содержания, как это происходит в случае A_x . Таким образом, коэффициент биогеохимической подвижности (B_x) представляет собой отношение содержания химического элемента X в воздушно-сухой массе растения (a_x) к содержанию подвижных форм элемента X в горной породе или почве, на которой произрастает растение (m_x):

$$B_x = \frac{a_x}{m_x} \quad (6.6)$$

Если $B_x > 1$, то содержание химического элемента X в сухом веществе растения выше содержания его доступных форм в почве, а значит, доступные формы химического элемента X активно извлекаются растением. При $B_x \approx 1$ содержание элемента в сухом веществе растения находится примерно на одном уровне с содержанием его доступных форм в почве. Наконец, при $B_x < 1$ содержание в почве доступных форм химического элемента X больше, чем в растении; подвижные формы элемента не полностью извлекаются растением из почвы в связи с избыточностью их содержания, физиологическим ограничением в поглощении или транспорте к надземным органам.

Для большинства химических элементов $B_x > A_x$.

Работа № 11. Расчет коэффициентов биогеохимической подвижности для растений Самарской области

Задание. Используя табл. 6.5 и 6.8, рассчитайте коэффициенты биогеохимической подвижности для растений, произрастающих на территории Самарской области. Проанализируйте актуальную доступность химических элементов растениям. Сравните между собой показатели коэффициентов биологического поглощения и биогеохимической подвижности.

Оборудование: калькулятор.

Ход работы

Выберите из табл. 6.8 два таких же вида древесных или травянистых растений, или группы древесных и травянистых растений в целом, что и в работе № 10 «Расчет коэффициентов биологического поглощения для растений Самарской области».

Рассчитайте коэффициенты биогеохимической подвижности по формуле 6.6. Для этого числовые значения содержания химических элементов в воздушно-сухом веществе растений из табл. 6.8 подставляйте в числитель формулы. В знаменатель формулы подставляйте значения регионального фоновое содержания химических элементов, указанные во втором столбце табл. 6.5 под «дробной» чертой и представляющие собой содержание подвижных форм элементов. Например, было выбрано растение – чистотел большой. Для химического элемента Ti коэффициент биогеохимической подвижности равен:

$$B_{(Ti)} = \frac{56,95}{58,56} = 0,97.$$

Для химического элемента Mn:

$$B_{(Mn)} = \frac{192,42}{493,07} = 0,39.$$

И так далее для всех химических элементов, данных в табл. 6.8.

Укажите химические элементы активно ($B_x > 1$) и слабо ($B_x < 1$) извлекаемые растениями из почвы, а также те элементы, содержание которых в воздушно-сухом веществе растений находится примерно на одном уровне с содержанием их подвижных форм в почве ($B_x \approx 1$).

Составьте для выбранных растений ряды химических элементов по величине коэффициента биогеохимической подвижности. Расположите коэффициенты в рядах в порядке убывания их значений (так же, как при построении рядов интенсивности поглощения химических элементов в работе № 10).

Сравните между собой величины коэффициентов биологического поглощения и биогеохимической подвижности. Сделайте заключение о том, у каких химических элементов актуальная доступность растениям выше их потенциальной доступности.

6.6 Биогенность и биотичность химических элементов

Близким к коэффициенту биологического поглощения является такой показатель, как *биогенность химического элемента*. Биогенность позволяет охарактеризовать особенности химического состава растения, способность растения к накоплению химических элементов. Если

же необходимо оценить влияние растения на состав конкретной почвы, то используют коэффициент биологического поглощения.

Различают *общую биогенность* (B_o) и *специальную (частную) биогенность* (B_c) *химического элемента*. Общую биогенность рассчитывают для растений континентов, в связи с чем она представляет собой биогеохимическую константу. Специальную биогенность рассчитывают для живых организмов конкретных регионов, местообитаний или для отдельных систематических групп организмов; она меняется в пространстве и времени под влиянием разнообразных экологических и систематических факторов, и может существенно отличаться от общей биогенности.

Биогенность определяют по формуле:

$$B = \frac{Ж}{К}, \quad (6.7)$$

где Ж – среднее содержание химического элемента в золе растения; К – кларк химического элемента в земной коре.

Действительно, за время формирования вида отдельные его особи произрастали на разных субстратах, в связи с чем химический состав золы отражает не столько состав горной породы и почвы, на которой теперь произрастает это растение, сколько состав пород и почв, на которых произрастали предыдущие поколения представителей данного вида, особенно в эпоху видообразования. Именно поэтому биогенность рассчитывают на кларк земной коры, а не на содержание химического элемента в конкретной почве или горной породе [Перельман 1975: 37].

Для оценки биогенности справедливы те же методические подходы, что и для коэффициента биологического поглощения (подраздел 6.4).

Еще одним показателем, характеризующим накопление химических элементов организмами, является *биотичность*, или *коэффициент биотичности элемента* (КБЭ). Биотичность представляет собой отношение содержания химического элемента в сухом веществе организма к кларку биосферы, включающему в себя значительную часть атмосферы, гидросферы, почву и часть литосферы [Глазовский 1985].

Помимо вышеперечисленных существуют и другие коэффициенты, позволяющие охарактеризовать интенсивность поглощения химических элементов живым организмом и тесноту биогеохимической связи состава живого организма с компонентами окружающей природной среды. В частности, А. Л. Ковальский [1969] предлагает использовать *растительно-почвенный коэффициент* (РПК, является аналогом A_x), *растительно-водный корневой коэффициент* (РВК, представляет собой отношение содержания элемента в золе растения к его содержанию в водном растворе) и *растительно-газовый некорневой коэффициент* (РГК, равен отношению содержания элемента в золе растения к его содержанию в почвенном или приземном воздухе).

Работа № 12. Расчет показателя биогенности химических элементов

Задание. Используя табл. 6.1 и 6.8, охарактеризуйте специальную биогенность химических элементов для древесных и травянистых растений Самарской области.

Оборудование: калькулятор.

Ход работы

Выберите из табл. 6.8 два таких же вида древесных или травянистых растений, или группы древесных и травянистых растений в целом, что и в работе № 10 «Расчет коэффициентов биологического поглощения для растений Самарской области». Определите специальную биогенность химических элементов для этих растений по формуле 6.7. При этом расчет содержания химических элементов в золе растений сделайте так же, как в работе № 10. Значения кларков элементов в земной коре, выраженные в массовых процентах (табл. 6.1), переведите в мг/кг так же, как в работе № 8 «Использование кларков концентрации и рассеяния для сравнительного анализа биогеохимических особенностей почв Самарской области».

Постройте ряды биогенности химических элементов для выбранных растений, располагая в нем показатели частной биогенности по убыванию (так же, как при построении рядов интенсивности поглощения химических элементов в работе № 10). Выделите ассоциации накапливающихся ($B_c > 1$) и захватывающихся ($B_c < 1$) элементов. Используя специальную литературу, охарактеризуйте роль Fe, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, Pb и Ti в структурной и функциональной организации растительных организмов.

Контрольные вопросы к работам № 11 и № 12

1. С какой целью производят расчет коэффициента биогеохимической подвижности? В чем заключается принципиальное отличие этого коэффициента от коэффициента биологического поглощения?
2. Какой биогеохимический смысл вкладывают в понятие «биогенность химического элемента»? Напишите формулу для расчета биогенности. Чем показатель биогенности отличается от коэффициента биологического поглощения?
3. Что такое биотичность?

КОНТРОЛЬНАЯ САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА: МЕТОДИКА ПОДГОТОВКИ И ОФОРМЛЕНИЯ

Контрольная самостоятельная работа представляет собой средство приобретения, углубления и закрепления знаний, полученных обучающимся в процессе освоения учебной дисциплины «Биогеохимия», а также является одной из форм контроля за его самостоятельной работой. В процессе подготовки контрольной работы обучающийся совершенствует навыки по сбору и критическому осмыслению имеющегося по теме исследования литературного материала и учится оформлять ее в соответствии с требованиями, предъявляемыми к текстовым документам в Самарском университете [Общие требования... 2019]. Качество контрольной самостоятельной работы оценивается преподавателем дисциплины по глубине раскрытия выбранной темы.

Задание. Подготовьте контрольную самостоятельную работу по теме «Геохимические особенности и биогеохимическая роль химического элемента (*по выбору*)». В контрольной самостоятельной работе представьте развернутую характеристику выбранного химических элементов. В процессе сбора информации рекомендуется обратить внимание на следующие узловые положения, отражение которых в контрольной работе повысит ее качество.

1. Общая характеристика химического элемента (происхождение названия, историческая справка об элементе, его физические и химические свойства).
2. Содержание элемента в геосферах Земли (земной коре, педосфере, гидросфере, атмосфере) и их компонентах (горных породах, типах почв, океанических, морских и речных водах и др.). Региональные особенности содержания элемента в почвах, водах, воздухе. Природные и техногенные источники поступления элемента в окружающую среду; формы поступающих соединений и их влияние на окружающую среду.
3. Миграция (круговорот) химического элемента в природных средах.
4. Биологическая роль элемента. Нормальные и аномальные уровни содержания химического элемента в живых организмах (грибы, растения, животные). Симптомы недостаточного и избыточного содержания элемента в организмах. Элементы-антагонисты и синергисты при поглощении элемента организмом. Организмы-концентраторы элемента. Региональные особенности содержания элемента в растениях.
5. Содержание химического элемента в организме человека (суточное потребление с пищей, оптимальная, токсичная и летальная дозы элемента в организме, период полувыведения, ткани-концентраторы). Физиологическое значение элемента для человека. Заболевания, вызванные избытком и недостатком элемента. Факторы, способствующие избыточному поступлению элемента в организм человека и др.

Контрольную самостоятельную работу выполняют на персональном компьютере на одной стороне белой бумаги формата А4. Требования к оформлению текста следующие: гарнитура шрифта – Time New Roman; кегль – 14; полужирный шрифт нигде не применяется; абзацный отступ – 1,25 см; расстояние между строк – 1,5 интервала; выравнивание текста – по ширине страницы. Размер полей: слева – 30 мм, сверху и снизу – 20 мм, справа – 15 мм. Страницы нумеруют в нижней части листа по центру; на титульном листе номер страницы не ставят, но этот лист учитывают при общей нумерации листов.

Листы контрольной самостоятельной работы протыкают дыроколом и вставляют в мягкий пластиковый скоросшиватель без использования прозрачных файлов.

Контрольная самостоятельная работа должна включать в себя следующие структурные элементы: титульный лист; содержание; введение; основную часть (в виде отдельных глав и подглав); заключение; определения, обозначения и сокращения (при наличии); список использованных источников; приложения (при наличии). Заголовки большинства структурных элементов, таких как «СОДЕРЖАНИЕ», «ВВЕДЕНИЕ», «ЗАКЛЮЧЕНИЕ», «ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ», «СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ» и «ПРИЛОЖЕНИЯ», печатают заглавными буквами без точки в конце и размещают по центру страницы. Использование полужирного шрифта и подчеркиваний в заголовках структурных элементов не допускается. Образец оформления титульного листа и пример «Содержания» представлены в прилож. 2 и 3.

«Введение» должно быть написано кратко и емко и содержать общую оценку современного состояния разрабатываемой темы.

В *основной части (обзоре источников информации)* анализируются все обнаруженные студентом публикации отечественных и зарубежных ученых по теме исследования. Здесь же желательно выделить неизученные или слабо изученные вопросы, высказать свое мнение по выбранной теме.

Необходимо помнить, что все заимствованные для написания работы данные других авторов (фразы, выражения, куски текста, термины, цифры, карты, таблицы и прочие фактические материалы) в обязательном порядке должны сопровождаться ссылками на этих авторов и занесены в «Список использованных источников». Ссылку на источник информации располагают в квадратных скобках, например: «... было показано, что ... [3, 15, 18]». Номер ссылки указывает на номер публикации в «Списке использованных источников». Если номера расположены подряд, то их указывают как «[3-5]», а не путем последовательного перечисления «[3, 4, 5]». В тексте в конце каждого абзаца, а много лучше – и внутри абзаца, обязательно должна стоять ссылка на использованные источники. В случае допущения компиляции (списывания с работ авторов без ссылок на их публикации) контрольная самостоятельная работа не зачитывается.

Структура обзора литературы (деление обзора литературы на разделы и подразделы) определяется особенностями работы. Однако излишне мелкое дробление (использование фрагментов ниже подраздела) обычно нежелательно. Если подраздел включает логически завершенные части, и учащийся все же желает их обособить, то в тексте их можно выделить непронумерованными заголовками. При этом такие заголовки в «Содержание» работы не выносятся.

Заголовки разделов и подразделов печатают с абзацного отступа 1,25 см (как и основной текст контрольной работы) строчными буквами, начиная с заглавной буквы. Точку в конце заголовков не ставят. Если заголовок состоит из двух предложений, то их разделяют точкой. Набор заголовка полужирным шрифтом, подчеркивание и перенос слов в заголовке не допускаются.

Разделы и подразделы работы нумеруют арабскими цифрами без точки после номера. Номер подраздела складывается из номера раздела и подраздела, отделенных друг от друга точкой. Например, заголовок второго раздела имеет следующий вид: «2 Содержание цинка в

геосферах Земли и их компонентах» (в тексте работы заголовки печатают без кавычек). Заголовок первого подраздела второго раздела выглядит так: «2.1 Земная кора» (прилож. 3).

Каждый раздел начинают с новой страницы.

Все *иллюстрации*, кроме таблиц, обозначают словом «рисунок». Иллюстрацию располагают непосредственно после текста, в котором она упоминается впервые, или на следующей странице. На каждую иллюстрацию должна быть ссылка в тексте, например: «В результате химической реакции образуются кристаллы, имеющие форму трапеций и призм (рисунок 2.1)». Иллюстрации последовательно нумеруют арабскими цифрами. Номер иллюстрации должен состоять из номера раздела, в котором она находится, и собственного порядкового номера, разделенных точкой. В конце номера точка не ставится. Подрисовочная подпись (название рисунка) выглядит так: «Рисунок 2.7 – Содержание меди в воздушно-сухой фитомассе растений в разные периоды онтогенеза» (без кавычек). Если в работе приведена одна иллюстрация, то ее обозначают «Рисунок 1 – ...». Название рисунка выравнивают по центру страницы. Перенос слов в названии рисунка не допускается. Если название рисунка занимает 2 и более строк текста, то для него используют одинарный межстрочный интервал, а не полуторный, как в остальном тексте.

Таблицы также нумеруют арабскими цифрами в пределах раздела. Надпись «Таблица» помещают в левом верхнем углу таблицы без абзацного отступа. Затем ставят тире и с заглавной буквы пишут название таблицы с выравниванием текста по ширине страницы. Точку в конце заголовка не ставят. Номер таблицы должен состоять из номера раздела и порядкового номера таблицы, разделенных точкой; в конце номера точку не ставят. Например: «Таблица 1.3 – Фоновое содержание некоторых химических элементов в почвах Самарской области». Если в документе одна таблица, то она обозначается «Таблица 1 – ...».

Заголовки граф таблицы должны начинаться с заглавной буквы, подзаголовки – со строчной (если они составляют одно предложение с заголовком) или с заглавной буквы, если они самостоятельные. Пример оформления таблицы дан в прилож. 4.

Если текст, повторяющийся в графах таблицы, состоит из одного слова, то его допускается заменять кавычками; если из двух и более слов, то при первом повторении его заменяют словами «то же», а далее – кавычками («»). Не допускается ставить кавычки вместо повторяющихся цифр, знаков, математических и химических символов. Если цифры или иные данные в какой-либо строке таблицы не приводятся, то в этой строке ставят прочерк.

В таблицах допускается использование более мелкого шрифта, чем в основном тексте, и одинарного межстрочного интервала.

Примечания к таблице (если есть) нумеруют арабскими цифрами. Если примечание одно, его не нумеруют и после слова «Примечание» ставят тире. Если примечаний несколько, то после слова «Примечание» ставят двоеточие, например: «Примечание: 1 – ... ; 2 – ... ».

Таблицу размещают в тексте сразу после первого упоминания о ней таким образом, чтобы ее можно было читать без поворота текста работы. Таблицу с большим количеством строк допускается переносить на другой лист. При переносе таблицы на другой лист пишут: «Продолжение таблицы 6.1» или «Окончание таблицы 6.1». При этом каждый столбец таблицы обозначают цифрой, и на следующей странице эти цифры проставляют вместо названий столбцов.

Формулы в тексте (если их больше одной) нумеруют арабскими цифрами в пределах раздела. Номер формулы состоит из номера раздела и порядкового номера формулы в разделе,

разделенных точкой. Номер указывают с правой стороны листа на уровне формулы в круглых скобках.

Формулы следует выделять из текста свободными строчками, выше и ниже формулы должно быть оставлено не менее одной свободной строчки. Пояснения значений символов и числовых коэффициентов следует приводить непосредственно под формулой в той же последовательности, в какой они даны в формуле. Значение каждого символа и числового коэффициента следует давать с новой строки. Первую строку объяснения начинают со слова «где» без двоеточия. Например:

$$K_k = \frac{C_i}{K}, \quad (2.1)$$

где K_k – кларк концентрации;

C_i – содержание химического элемента в исследуемой геохимической системе (горной породе, почве) или ее таксономической части (типе горной породы, руде, минерале, типе почвы);

K – кларк этого же элемента в земной коре.

Логическим итогом работы является «Заключение». В нем в обобщенной форме излагаются основные положения по теме контрольной самостоятельной работы.

При первом упоминании в тексте контрольной работы какого-то *специального термина*, применяемого далее неоднократно, необходимо в круглых скобках приводить его сокращение, например: «коэффициент биологического поглощения (A_x) – это ...». При повторном применении термина необходимо употреблять введенное сокращение. Если в работе приводится много определений, обозначений и сокращений, то необходимо сразу после «Заключения» привести полный их список, сопроводив его заголовком «Определения, обозначения и сокращения». Перечень определений, обозначений и сокращений должен располагаться столбцом: слева в алфавитном порядке приводятся сокращения, условные обозначения, символы, единицы физических величин и термины, использованные в документе, а справа через тире – их детальная расшифровка с указанием размерности (при наличии).

«Список использованных источников» должен включать в себя все цитируемые в работе источники (книги, статьи, авторефераты диссертаций, рукописные работы, электронные ресурсы и др.). Не допускается цитирование в тексте работы источников, которых нет в списке литературы, и, наоборот, в этом списке не должно быть источников, на которые не было ссылок в тексте выполненной работы.

Источники в списке располагаются в порядке их упоминания в тексте документа, а не по алфавиту.

Каждый тип источника информации (книга, статья, электронный ресурс и др.) имеет свою специфику оформления, согласно действующему в Самарском университете стандарту. Она показана ниже.

а) *Книги* оформляют так:

Алексеев, В. А. Экологическая геохимия [Текст]: учебник / В. А. Алексеев. – М.: Логос, 2000. – 627 с.

Рэуце, К. Борьба с загрязнением почвы [Текст]. Пер. с румын. / К. Рэуце, С. Кырстя; под ред. В. К. Штефана. – М.: ВО Агропромиздат, 1986. – 221 с.

Матеев, Н. М. Вовлечение тяжелых металлов в основные трофические цепи в агрофитоценозах Высокого Заволжья [Текст] / Н. М. Матеев, В. Н. Матвеев, Н. В. Прохорова. – Самара: Изд-во «Самарский университет», 2008. – 144 с.

Forman, R.T.T. Landscape Ecology [Текст] / R. T. T. Forman, M. Gordon. – N.-Y., 1986. – 240 p.

Если книга имеет четырех и более авторов, то она описывается не по автору, а по названию. Тогда после косой черты среди авторов указывается только первый. Например:

Почвы Куйбышевской области [Текст] / В. А. Носин [и др.]; редкол.: Г. Г. Лобов (отв. ред.) [и др.]. – Куйбышев: Куйбыш. кн. изд-во, 1985. – 392 с.

б) Статьи из журналов и сборников:

Серегин, И. В. Физиологическая роль никеля и его токсическое действие на высшие растения / И. В. Серегин, А.Д. Кожевникова // Физиология растений. – 2006. – Т. 53, № 2. – С. 285-308.

Бажанова, Л. М. Тяжелые металлы в техногенных почвах как показатель состояния экологической среды [Текст] / Л. М. Бажанова, И. В. Прокопенко // Самарская Лука: бюлл. – 2002. – № 12. – С. 244-248.

Ruano, A. Growth and biomass partitioning in zinc-toxic bush beans [Текст] / A. Ruano, Ch. Poschenrieder, J. Barcelo // J. Plant Nutr. – 1988. – Vol. 11, № 5. – P. 577-588.

В описании статьи после косой черты перечисляют всех авторов статьи.

в) Материалы конференций:

Арнаутовский, И. Д. Взаимосвязь между уровнями загрязнения тяжелыми металлами почв и кормовых угодий [Текст] / И. Д. Арнаутовский, Н. Ф. Хохлов, А. Н. Метелкин // Миграция тяжелых металлов и радионуклидов в звене: почва – растение (корм, рацион) – животное, продукт животноводства – человек: матер. IV Междунар. конф. – Великий Новгород, 2003. – С. 207-218.

г) Диссертации и авторефераты:

Макарова, Ю. В. Гистохимическая оценка накопления и распределения тяжелых металлов в органах и тканях сельскохозяйственных растений в зависимости от условий произрастания [Текст]: дис. ... канд. биол. наук: 03.00.16: защищена 26.12.06 / Макарова Юлия Владимировна. – Тольятти, 2006. – 415 с.

д) Источники из сети Internet:

ГБУ СО «Природоохранный центр» [Электронный ресурс] // <http://www.priroda.samregion.ru/>: Министерство лесного хозяйства, охраны окружающей среды и природопользования Самарской области. – 2010. – URL: http://www.priroda.samregion.ru/ministry/dependent_organizations/naturesafe/naturesafe_about (дата обращения: 21.02.2025).

После списка использованных источников располагают «Приложения». В них выносятся таблицы, диаграммы, рисунки, схемы, карты и др., не имеющие первостепенного значения для восприятия основного текста. Это освобождает основную часть текста от нагромождения фактических данных и делает ее более четкой и лаконичной. На все приложения обязательно должны быть ссылки в тексте работы (например, «... характеристики этого процесса даны в приложении А»).

Приложение должно иметь заголовок, который записывают ниже слова «ПРИЛОЖЕНИЕ» по центру относительно текста, начиная с заглавной буквы. Приложения обозначают за-

главными буквами русского алфавита, начиная с буквы «А» (за исключением «Ё», «З», «Й», «О», «Ч», «Ъ», «Ы», «Ь»). Если документ имеет только одно приложение, то оно обозначается «ПРИЛОЖЕНИЕ А».

Текст приложения при необходимости может быть разделен на разделы, подразделы, пункты, подпункты, которые нумеруются арабскими цифрами в пределах каждого приложения. При этом перед номером ставят буквенное обозначение данного приложения. Например, четвертый раздел приложения Б имеет обозначение «Б.4».

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ, РЕКОМЕНДОВАННЫХ ДЛЯ НАПИСАНИЯ КОНТРОЛЬНОЙ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

- 1 Абдурахманов, Г. М. Экологические особенности содержания микроэлементов в организме животных и человека / Г. М. Абдурахманов, И. В. Зайцев. – М.: Наука, 2004. – 279 с.
- 2 Агаджанян, Н. А. Химические элементы в среде обитания и экологический портрет человека / Н. А. Агаджанян, А. В. Скальный. – М.: Изд-во КМК, 2001. – 83 с.
- 3 Башкин, В. Н. Биогеохимия / В. Н. Башкин, Н. С. Касимов – М.: Научный мир, 2004. – 648 с.
- 4 Безуглова, О. С. Биогеохимия: учебник для вузов, обучающихся по направлениям «Почвоведение», «Биология», «География», «Агроэкономика», «Агрохимия и агропочвоведение» / О. С. Безуглова, Д. С. Орлов. – Ростов н/Д.: Феникс, 2000. – 307 с.
- 5 Биккулова, А. Т. Биоэлементология s-, p-, d- элементов / А. Т. Биккулова, Г. М. Ишмуратова. – СПб.: Наука, 1999. – 255 с.
- 6 Битюцкий, Н. П. Микроэлементы высших растений / Н. П. Битюцкий. – 2-е изд. – СПб.: Изд-во Санкт-Петербургского университета, 2020. – 370 с.
- 7 Волков, С. Н. Геохимическая эволюция кадмия в естественном и техногенном циклах миграции / С. Н. Волков // Техногенез и биогеохимическая эволюция таксонов биосферы. Труды Биогеохимической лаборатории. – 2003. – Т. 24. – С. 113-141.
- 8 Вредные химические вещества. Неорганические соединения элементов I-IV групп: справочник / А. Л. Бандман [и др.]; под общ. ред. В. А. Филова. – Ленинград: Химия: Ленингр. отделение, 1988. – 512 с.
- 9 Вредные химические вещества. Неорганические соединения элементов V-VIII групп: справочник / А. Л. Бандман [и др.]; под общ. ред. В. А. Филова. – Ленинград: Химия: Ленингр. отделение, 1989. – 592 с.
- 10 Давыдова, С. Л. Тяжелые металлы как супертоксиканты XXI века: учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по направлению «Экология и природопользование», а также специальностям «Экология» и «Природопользование» / С. Л. Давыдова, В. И. Тагасов. – М.: Изд-во Рос. ун-та дружбы народов, 2002. – 138 с.
- 11 Гавриленко, В. В. Геохимические циклы токсичных элементов: учебное пособие / В. В. Гавриленко, Н. А. Сорокина. – Ленинград: ЛГУ, 1988. – 84 с.
- 12 Геологическая библиотека GeoKniga: [сайт]. – 2011-2025. – URL: <https://www.geokniga.org/> (дата обращения: 28.03.2025).
- 13 Жаворонков, А. А. Микроэлементозы – новый класс болезней человека, животных и растений // А. А. Жаворонков, Л. М. Михалева, А. П. Авцын // Проблемы биогеохимии и геохимической экологии. Труды Биогеохимической лаборатории. – 1999. – Т. 23. – С. 183-199.
- 14 Иванов, В. В. Экологическая геохимия элементов: справочник. В 6 кн. / В. В. Иванов; под ред. Э. К. Буренкова. – Кн. 1: S-элементы. – М.: Недра, 1994. – 304 с.
- 15 Иванов, В. В. Экологическая геохимия элементов: справочник. В 6 кн. / В. В. Иванов; под ред. Э. К. Буренкова. – Кн. 2: Главные p-элементы. – М.: Недра, 1994. – 303 с.
- 16 Иванов, В. В. Экологическая геохимия элементов: справочник. В 6 кн. / В. В. Иванов; под ред. Э. К. Буренкова. – Кн. 3: Редкие p-элементы. – М.: Недра, 1996. – 352 с.

- 17 Иванов, В. В. Экологическая геохимия элементов: справочник. В 6 кн. / В. В. Иванов; под ред. Э. К. Буренкова. – Кн. 4: Главные *d*-элементы. – М.: Экология, 1996. – 416 с.
- 18 Иванов, В. В. Экологическая геохимия элементов: справочник. В 6 кн. / В. В. Иванов; под ред. Э. К. Буренкова. – Кн. 5: Редкие *d*-элементы. – М.: Экология, 1997. – 576 с.
- 19 Иванов, В. В. Экологическая геохимия элементов: справочник. В 6 кн. / В. В. Иванов; под ред. Э. К. Буренкова. – Кн. 6: Редкие *f*-элементы. – М.: Экология, 1997. – 607 с.
- 20 Кабата-Пендиас, А. Микроэлементы в почвах и растениях / А. Кабата-Пендиас, Х. Пендиас; пер. с англ. Д. В. Гричук, Е. П. Янин; ред. Ю. Е. Саэт. – М.: Мир, 1989. – 439 с.
- 21 Ковда, В. А. Биогеохимия почвенного покрова / В. А. Ковда; отв. ред. С. В. Зонн. – М.: Наука, 1985. – 263 с.
- 22 Кулагин, А. А. Древесные растения и биологическая консервация промышленных загрязнителей / А. А. Кулагин, Ю. А. Шагиева. – М.: Наука, 2005. – 190 с.
- 23 Матеев, Н. М. Вовлечение тяжелых металлов в основные трофические цепи в агро-фитоценозах Высокого Заволжья / Н. М. Матеев, В. Н. Матвеев, Н. В. Прохорова. – Самара: Изд-во «Самарский университет», 2008. – 144 с.
- 24 Матвеев, Н. М. Экологические основы аккумуляции тяжелых металлов сельскохозяйственными растениями в лесостепном и степном Поволжье / Н. М. Матвеев, В. А. Павловский, Н. В. Прохорова. – Самара: Издательство «Самарский университет», 1997. – 215 с.
- 25 Протасова, Н. А. Микроэлементы: биологическая роль, распределение в почвах, влияние на распространение заболеваний человека и животных / Н. А. Протасова // Соросовский образовательный журнал. – 1998. – № 12. – С. 32-37.
- 26 Протасова, Н. А. Химические элементы в жизни растений / Н. А. Протасова, А. Б. Беляев // Соросовский образовательный журнал. – 2001. – Т. 7, № 3. – С. 25-32.
- 27 Протасова, Н. А. Микроэлементы (Cr, V, Ni, Mn, Zn, Cu, Co, Ti, Zr, Ga, Be, Ba, Sr, B, I, Mo) в черноземах и серых лесных почвах Центрального Черноземья. Microelements (Cr, V, Ni, Mn, Zn, Cu, Co, Ti, Zr, Ga, Be, Ba, Sr, B, I, Mo) in Chernozems and Grey Forest Soils within Central Chernozemic Region / Н. А. Протасова, А. П. Щербаков. – Воронеж: Воронеж. гос. ун-т, 2003. – 367 с.
- 28 Прохорова, Н. В. Распределение тяжелых металлов в посевах важнейших сельскохозяйственных культур в Самарской области / Н. В. Прохорова, Н. М. Матвеев. – Самара: Издательство «Самарский университет», 2006. – 142 с.
- 29 Прохорова, Н. В. Аккумуляция тяжелых металлов дикорастущими и культурными растениями в лесостепном и степном Поволжье / Н. В. Прохорова, Н. М. Матвеев, В. А. Павловский. – Самара: Издательство «Самарский университет», 1998. – 131 с.
- 30 Растения в экстремальных условиях минерального питания: эколого-физиологические исследования / А. В. Косицин [и др.]; под ред. М. Я. Школьника, Н. В. Алексеевой-Поповой. – Ленинград: Наука: Ленингр. отд-ние, 1983. – 177 с.
- 31 Серегин, И. В. Физиологические аспекты токсического действия кадмия и свинца на высшие растения / И. В. Серегин, В. Б. Иванов // Физиология растений. – 2001. – Т. 48, № 4. – С. 606-630.

- 32 Серегин, И. В. Физиологическая роль никеля и его токсическое действие на высшие растения / И. В. Серегин, А. Д. Кожевникова // Физиология растений. – 2006. – Т. 53, № 2. – С. 285-308.
- 33 Устойчивость к тяжелым металлам дикорастущих видов / Под ред. Н. В. Алексеевой-Поповой. – Ленинград: Ботан. ин-т им. В.Л. Комарова АН СССР, 1991. – 214 с.
- 34 Факультет почвоведения МГУ им. М. В. Ломоносова: [сайт]. – 2004-2016. – URL: <https://web.archive.org/web/20210302113833/http://www.pochva.com/> (дата обращения: 28.03.2025).
- 35 Чертко, Н. К. Биологическая функция химических элементов: справочное пособие / Н. К. Чертко [и др.]. – Минск: Издательство «Четыре четверти», 2012. – 172 с.
- 36 Школьник, М. Я. Микроэлементы в жизни растений / М. Я. Школьник. – Ленинград: Наука: Ленингр. отд-ние, 1974. – 324 с.
- 37 Школьник, М. Я. Физиологические причины тератологических изменений у растений / М. Я. Школьник // Ботанический журнал. – 1981. – Т. 66, № 2. – С. 153-168.
- 38 Эмсли, Дж. Элементы / Дж. Эмсли; пер. с англ. Е. А. Краснушкиной. – М.: Мир, 1993. – 255 с.
- 39 Kabata-Pendias, A. Trace elements in soils and plants / A. Kabata-Pendias. – Boca Raton, London, New York: CRC Press. – 2011. – 533 p.

ТЕМЫ РЕФЕРАТОВ

- 1 В. И. Вернадский – основатель биогеохимии.
- 2 Возникновение и синтез химических элементов во Вселенной.
- 3 Возникновение и распространенность органических соединений во Вселенной.
- 4 Химическая эволюция литосферы Земли и ее современный химический состав.
- 5 Химическая эволюция атмосферы Земли и ее современный химический состав.
- 6 Химическая эволюция гидросферы Земли и ее современный химический состав.
- 7 Возникновение и химическая эволюция биосферы Земли.
- 8 Сравнительная характеристика химического состава различных компонентов биосферы.
- 9 Биогеохимические функции микроорганизмов.
- 10 Биогеохимические функции растений.
- 11 Биогеохимические функции животных.
- 12 Биогеохимические свойства почвы.
- 13 Сравнительный анализ химического состава животных и растительных организмов.
- 14 Природные и техногенные факторы, влияющие на химический состав живых организмов.
- 15 Особенности распределения химических элементов по органам и тканям растений.
- 16 Понятие геохимического ландшафта.
- 17 Геохимические и биогеохимические аномалии.
- 18 Биогеохимическое районирование территорий (работы А. П. Виноградова, В. В. Ковальского, М. А. Глазовской, А. И. Перельмана и др.).
- 19 Элементозы: понятие, распространенность, специфика.
- 20 Техногенез и его влияние на процессы миграции химических элементов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

Раздел 1

1. Алексеенко, В. А. Химические элементы в геохимических системах. Кларки почв селитебных ландшафтов: монография / В. А. Алексеенко, А. В. Алексеенко. – Ростов н/Д.: Издательство Южного федерального университета, 2013. – 380 с.
2. Бакланов, И. А. Накопление, распределение и действие никеля на растения-гипераккумуляторы и исключатели из рода *Alyssum*: дис. ... канд. биол. наук: 03.01.05 / Бакланов Илья Андреевич; науч. рук. В. Б. Иванов; Учреждение Российской академии наук Институт физиологии растений им. К. А. Тимирязева РАН. – Москва, 2011. – 164 с.
3. Баргальи, Р. Биогеохимия наземных растений. Экофизиологический подход к биомониторингу и биовосстановлению / Р. Баргальи; пер. с англ. И. Н. Михайловой. – М.: ГЕОС, 2005. – 457 с.
4. Башкин, В. Н. Экологические риски: расчет, управление, страхование: учебное пособие для студентов, обучающихся по специальностям «Экология», «Природопользование», «Геология» и направлению «Экология и природопользование» / В. Н. Башкин. – М.: Высшая школа, 2007. – 358 с.
5. Башкин, В. Н. Биогеохимия: учебное пособие / В. Н. Башкин. – М.: Высшая школа, 2008. – 423 с.
6. Башкин, В. Н. Биогеохимия полярных экосистем в зонах влияния газовой промышленности / В. Н. Башкин. – М.: Газпром ВНИИГАЗ, 2013. – 302 с.
7. Башкин, В. Н. Биогеохимия / В. Н. Башкин, Н. С. Касимов – М.: Научный мир, 2004. – 648 с.
8. Безель, В. С. Экологическая токсикология: популяционный биоценотический аспект / В. С. Безель. – Екатеринбург: Издательство «Гощицкий», 2006. – 280 с.
9. Биогеохимические основы экологического нормирования / В. Н. Башкин, Е. В. Евстафьева, В. В. Снакин [и др.]; отв. ред. М. В. Иванов [и др.]; Рос. АН, Ин-т почвоведения и фотосинтеза, Всерос. ин-т охраны природы и заповед. дела. – М.: Наука, 1993. – 304 с.
10. Вернадский, В. И. Значение биогеохимии для познания биосферы / В. И. Вернадский. – Л.: Издательство академии наук СССР, 1934. – 48 с.
11. Виноградов, А. П. О генезисе биогеохимических провинций / А. П. Виноградов // Труды Биогеохимической лаборатории. – 1960. – Т. 11. – С. 3-7.
12. Виноградов, Б. В. Биотические критерии выделения зон экологического бедствия России / Б. В. Виноградов, В. П. Орлов, В. В. Снакин // Известия РАН. Сер. География. – 1993. – № 5. – С. 77-89.
13. Воробьев, Д. В. Влияние микроэлементов на биохимические процессы животных в условиях низкого уровня селена, йода и меди в среде / Д. В. Воробьев // Проблемы биогеохимии и геохимической экологии. – 2011. – № 3 (17). – С. 85-88.
14. Добровольский, В. В. Основы биогеохимии учебник / В. В. Добровольский. – М.: Издательский центр «Академия», 2003. – 400 с.
15. Ермаков, В. В. Биогеохимическое районирование континентов / Е. Е. Ермаков // Биогеохимические основы экологического нормирования. – М.: Наука, 2003. – С. 5-24.

16. Ермаков, В. В. Геохимическая экология и биогеохимические критерии оценки экологического состояния таксонов биосферы / В. В. Ермаков // Геохимия. – 2015. – № 3. – С. 203-221.
17. Ермаков, В. В. Экологические аспекты биогеохимии / В. В. Ермаков // Ноосфера. – 2023а. – № 1. – С. 30-45.
18. Ермаков, В. В. Современные проблемы биогеохимии – нового научного направления, созданного В. И. Вернадским / В. В. Ермаков // Современное развитие идей В. И. Вернадского: труды Междунар. конф., посвященной 160-летию со дня рождения В. И. Вернадского и 100-летию его статьи «Начало и вечность жизни». – М.: Неправительственный экологический фонд имени В. И. Вернадского, 2023б. – С. 7-23.
19. Ермаков, В. В. Геохимическая экология животных / В. В. Ермаков, С. Ф. Тютиков. – М.: Наука, 2008. – 315 с.
20. Ермаков, В. В. Биогеохимическая индикация микроэлементов / В. В. Ермаков, С. Ф. Тютиков, В. А. Сафонов. – М.: ГЕОХИ РАН, 2018. – 386 с.
21. Ковальский, В. В. Геохимическая экология. Очерки / В. В. Ковальский. – М.: Наука, 1974. – 229 с.
22. Ковальский, В. В. Геохимическая среда, микроэлементы, реакции организмов / В. В. Ковальский // Труды Биогеохимической лаборатории. – 1991. – Т. 22. – С. 5-23.
23. Критерии оценки риска для здоровья населения приоритетных химических веществ, загрязняющих окружающую среду. Методические рекомендации. – М.: НИИ ЭЧ и ГОС им. А. Н. Сысина, ММА им. И. М. Сеченова, ЦГСЭН в г. Москве, 2000. – 53 с.
24. Критерии оценки экологической обстановки территорий для выявления зон чрезвычайной экологической ситуации и зон экологического бедствия. – М.: Министерство охраны окружающей среды и природных ресурсов РФ, РД ГНТУ, 1992. – 58 с.
25. Кузьмич, В. Н. О совершенствовании системы природоохранного нормирования / В. Н. Кузьмич // Вопросы экологического нормирования и разработка системы оценки состояния водоемов. – М.: Товарищество научных изданий КМК, 2011. – С. 143-150.
26. Левич, А. П. Теоретические и методические основы технологии регионального контроля природной среды по данным экологического мониторинга / А. П. Левич, Н. Г. Булгаков, В. Н. Максимов. – М.: НИА-Природа, 2004. – 271 с.
27. Моисеенко, Т. И. Рассеянные элементы в поверхностных водах суши: технофильность, биоаккумуляция и экотоксикология / Т. И. Моисеенко, Л. П. Кудрявцева, Н. А. Гашкина. – М.: Наука, 2010. – 400 с.
28. Нефедов, В. П. Гомеостаз на различных уровнях организации биосистем / В. П. Нефедов, А. А. Ясайтис, В. Н. Новосельцев. – Новосибирск: СО Наука, 1991. – 232 с.
29. Сает, Ю. Е. Геохимия окружающей среды / Ю. Е. Сает, Б. А. Ревич, Е. П. Янин. – М.: Недра, 1990. – 335 с.
30. Скальный, А. В. Химические элементы в физиологии и экологии человека / А. В. Скальный. – М.: Издательский дом «ОНИКС 21 век»: Мир, 2004. – 216 с.
31. Ферсман, А. Е. Геохимия: учебное пособие для ун-тов / Акад. А. Е. Ферсман. – Л.: ОНТИ-ХИМТЕОРЕТ, 1934. – Т. II. – 354 с.
32. Ферсман, А. Е. Избранные труды / А. Е. Ферсман. – М.: АН СССР, 1955. – Т. 3. – 199 с.

33. Янин, Е. П. Экологическая геохимия и проблемы миграции химических элементов 3-го рода / Е. П. Янин // Техногенез и биогеохимическая эволюция таксонов биосферы. – М.: Наука, 2003. – С. 37-76.
34. Agarwal, P. Role of root exudates on the soil microbial diversity and biogeochemistry of heavy metals / P. Agarwal, R. Vibhandik, R. Agrahari, A. Daverey, R. Rani // Applied Biochemistry and Biotechnology. – 2023. – Vol. 196. – P. 2673-2693. – URL: <https://doi.org/10.1007/s12010-023-04465-2> (дата обращения: 11.03.2025).
35. Bianchi, T. S. The evolution of biogeochemistry: revisited / T. S. Bianchi // Biogeochemistry. – 2021. – Vol. 154. – P. 141-181. – URL: <https://doi.org/10.1007/s10533-020-00708-0> (дата обращения: 10.03.2025).
36. Campbell, M. O. Biogeochemistry and conservation biology/ O. M. Campbell // Biogeochemistry and the Environment. – Switzerland: Springer, 2024. – P. 279-363. – URL: <https://doi.org/10.1007/978-3-031-47017-2> (дата обращения: 11.03.2025).
37. Mukherjee, A. B. Behavior of heavy metals and their remediation in metalloferous soils / A. B. Mukherjee // Metals in the Environment (ed. by M.N.V. Prasad). – New-York – Basel: Marcel Dekker Inc., 2001. – P. 433-471.
38. Musah, B. I. Effects of heavy metals and metalloids on plant-animal interaction and biodiversity of terrestrial ecosystems – an overview / B. I. Musah // Environ Monit Assess. – 2025. – Vol. 197, № 12. – URL: <https://doi.org/10.1007/s10661-024-13490-5> (дата обращения: 11.03.2025).
39. Pacyna, J. M. Contribution of elements to the atmosphere from natural sources / J. M. Pacyna // Chemical climatology and geomedical problems (ed. by J. Lag). – Oslo: The Norwegian Academy of Sciences and Letters, 1992. – P. 91-104.

Раздел 2

1. Билимович, М. С. Металлоаккумулятивная способность плодовых тел некоторых видов базидиальных грибов в Самарской области / М. С. Билимович, Ю. В. Макарова, Н. В. Прохорова // Фундаментальные и прикладные научные исследования в современном мире: сборник научных статей по материалам II Международной научно-практической конференции (г. Уфа, 9 июня 2023 г.). – Ч. 3. – Уфа: Общество с ограниченной ответственностью «Научно-издательский центр «Вестник науки», 2023. – С. 281-287.
2. Богданова, Я. А. Особенности накопления тяжелых металлов и металлоидов в фитомассе бокоплодного мха *Pleurosium schreberi* (Brid.) Mitt. в условиях Красносамарского лесного массива (Самарская область) и Национального парка «Бузулукский бор» (Оренбургская область) / Я. А. Богданова, Н. В. Прохорова, К. Н. Вергель, М. В. Фронтасьева // Самарский научный вестник. – 2022. – Т. 11, № 1. – С. 24-30.
3. Бугров, С. В. Особенности накопления тяжелых металлов и металлоидов в почвах крупных рекреационных зон городов Самара и Сызрань / С. В. Бугров, Ю. В. Макарова, Н. В. Прохорова // Самарский научный вестник. – 2020. – Т. 9, № 2 (31). – С. 26-31.
4. Дергачева, М. И. К вопросу изучения динамики тяжелых металлов в почвах Самарской области / М. И. Дергачева, А. И. Иванов // Взаимодействие человека и природы на границе Европы и Азии: тезисы докладов конференции (г. Самара, 18-20 декабря 1996 г.). – Самара: Самарский государственный педагогический университет, 1996. – С. 77-80.
5. Дергачева, М. И. Микроэлементный состав палеопочв разного возраста как основа изучения эволюции эколого-геохимического состояния почв в голоцене / М. И. Дергачева,

Г. В. Мотузова, Е. А. Карпова // Современные методы эколого-геохимической оценки состояния и изменений окружающей среды: тезисы докладов Международной школы. – Новороссийск, 2003. – С. 56-62.

6. Ежегодник загрязнения почв Приволжского УГКС за 1986 год. – Куйбышев, 1987. – 59 с.

7. Исупов, Б. А. Роль лесных насаждений в защите почв от загрязнения тяжелыми металлами / Б. А. Исупов // Труды Всесоюзного научно-исследовательского института агролесомелиорации. – 1988. – № 2. – С. 187-194.

8. Касимов, Н. С. Фоновая почвенно-геохимическая структура лесостепи Приволжской возвышенности / Н. С. Касимов, О. А. Самонова, Е. Н. Асеев // Почвоведение. – 1992. – № 8. – С. 5-21.

9. Макарова, Ю. В. Гистохимическая оценка накопления и распределения тяжелых металлов в органах и тканях сельскохозяйственных растений в зависимости от условий произрастания: дис. ... канд. биол. наук: 03.00.16 / Макарова Юлия Владимировна; науч. рук. Г. С. Розенберг, Н. В. Прохорова; ИЭВБ РАН. – Тольятти, 2006. – 415 с.

10. Матвеев, Н. М. Вовлечение тяжелых металлов в основные трофические цепи в агрофитоценозах Высокого Заволжья / Н. М. Матвеев, В. Н. Матвеев, Н. В. Прохорова. – Самара: Издательство «Самарский университет», 2008. – 144 с.

11. Матвеев, Н. М. Экологические основы аккумуляции тяжелых металлов сельскохозяйственными растениями в лесостепном и степном Поволжье / Н. М. Матвеев, В. А. Павловский, Н. В. Прохорова. – Самара: Издательство «Самарский университет», 1997. – 215 с.

12. Микроэлементы в почвах СССР: подвижные формы микроэлементов в почвах европейской части СССР / Под ред. Н. Г. Зырина, Г. Д. Белицыной. – М.: Изд-во МГУ, 1981. – 242 с.

13. Моисеенков, О. В. Эколого-геохимический анализ промышленного города (на примере г. Тольятти): дисс. ... канд. геогр. наук: 11.00.01 / Моисеенков Олег Владимирович. – Москва, 1989. – 243 с.

14. Морозова, Н. А. Соединения азота и тяжелые металлы в почвенном покрове г. Самары // Вестник Оренбургского государственного университета. Спецвыпуск. – Окт. 2009. – С. 133-135.

15. Праздников, С. С. Содержание марганца в почвах лесостепной части Куйбышевской области и влияние сернокислого марганца на урожай яровой пшеницы и кукурузы: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.00.00 / Праздников С. С. – Уфа, 1972. – 21 с.

16. Прохорова, Н. В. Оценка полиметаллического загрязнения почвенного покрова Самарской Луки / Н. В. Прохорова // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2003. – Т. 5, № 2. – С. 295-304.

17. Прохорова, Н. В. Металлы и металлоиды в лесостепных и степных ландшафтах Самарской области / Н. В. Прохорова // Известия Самарского научного центра РАН. – 2013. – Т. 15. – № 3 (7). – С. 2328-2332.

18. Прохорова, Н. В. Перспективы использования гистохимических методов в биогеохимии тяжелых металлов / Н. В. Прохорова, Ю. В. Аксютин, А. Н. Козлов, И. В. Коротков, И. А. Бакланов // Современные методы эколого-геохимической оценки состояния и изменений

окружающей среды: доклады Международной школы (г. Новороссийск, 15-20 сентября 2003 г.). – Новороссийск, 2003. – 217-223.

19. Прохорова, Н. В. Тяжелые металлы в почвах береговой полосы и донных отложениях прудов города Самары / Н. В. Прохорова, С. В. Бугров, Ю. В. Макарова, Ю. Л. Герасимов, И. А. Платонов, М. Г. Горюнов // Самарский научный вестник. – 2022. – Т. 11, № 4. – С. 91-96.

20. Прохорова, Н. В. К эколого-геохимической оценке почв Сорочинских гор (Самарская область) / Н. В. Прохорова, А. А. Головлев, Ю. В. Макарова // Самарский научный вестник. – 2017. – Т. 6, № 3 (20). – С. 24-29.

21. Прохорова, Н. В. Тяжелые металлы в урбосреде Самарской области / Н. В. Прохорова, Ю. В. Макарова, С. В. Бугров // Трансформация экосистем под воздействием природных и антропогенных факторов: материалы международной научной конференции (г. Киров, 16-18 апреля 2019 г.). – Киров: ВятГУ, 2019. – С. 290-294.

22. Прохорова, Н. В. Распределение тяжелых металлов в посевах важнейших сельскохозяйственных культур в Самарской области / Н. В. Прохорова, Н. М. Матвеев. – Самара: Издательство «Самарский университет», 2006. – 142 с.

23. Прохорова, Н. В. Аккумуляция тяжелых металлов дикорастущими и культурными растениями в лесостепном и степном Поволжье / Н. В. Прохорова, Н. М. Матвеев, В. А. Павловский. – Самара: Издательство «Самарский университет», 1998. – 131 с.

24. Прохорова, Н. В. Влияние тяжелых металлов на рост и развитие грибов рода *Alternaria* / Н. В. Прохорова, Т. А. Панкратов, Т. А. Студнева // Успехи медицинской микологии. – М.: Национальная академия микологии. – 2004. – Т. 3. – С. 37-38.

25. Рогулева, Н. О. Эколого-геохимические особенности снежного покрова парков города Самары / Н. О. Рогулева // Вестник СамГУ. Естественнонаучная серия. – 2007. – № 8 (58). – С. 206-212.

26. Самонова, О. А. Подвижность тяжелых металлов в ландшафтах пригородной зоны г. Тольятти / О. А. Самонова // Геохимия техногенеза: тезисы докладов II Всесоюзного совещания / редкол.: В. К. Лукашев [и др.]. – Минск: ИГИГ, 1991. – С. 269-271.

27. Светличная, Г. А. Некоторые аспекты изучения урбанизированных территорий / Г. А. Светличная, И. Г. Морозова // Татищевские чтения: актуальные проблемы науки и практики: материалы Международной научной конференции (г. Тольятти, 21-24 апреля 2004 г.). – Ч. II. Актуальные проблемы экологии и охраны окружающей среды. – Тольятти: Волж. ун-т им. В. Н. Татищева, 2004. – С. 136-139.

28. Селезнева, Е. С. Экопатологический анализ распределения некоторых врожденных пороков развития в Самарской области / Е. С. Селезнева, А. В. Неретина, Н. В. Прохорова, С. А. Ненашева, Л. М. Старых // Актуальные проблемы биологии, медицины и экологии: сборник научных работ. – Т. 3, № 1. – Томск, 2004. – С. 62-63.

29. Серегин, И. В. Гистохимические методы изучения распределения кадмия и свинца в растениях / И. В. Серегин, В. Б. Иванов // Физиология растений. – 1997. – Т. 44, № 6. – С. 915-921.

30. Учватов, В. П. Геохимические потоки и геохимический баланс тяжелых металлов как показатель устойчивости ландшафта к антропогенным нагрузкам / В. П. Учватов // Современные методы эколого-геохимической оценки состояния и изменения окружающей среды: тезисы докладов Международной школы. – Новороссийск, 2003. – С. 30-31.

31. Учватов, В. П. Биогеохимия тяжелых металлов в ландшафтах Среднего Поволжья / В. П. Учватов, А. В. Учватов // Тяжелые металлы в окружающей среде: материалы Международного симпозиума «Тяжелые металлы в окружающей среде» (г. Пущино, 15-18 октября 1996 г.) / отв. ред. В. Н. Башкин. – Пущино: Изд-во ОНТИ ПНЦ РАН, 1997. – С. 145-164.

32. Экогеохимия городских ландшафтов / Н. С. Касимов, А. И. Перельман, А. В. Евсеев [и др.]; под ред. Н. С. Касимова. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1995. – 327 с.

Раздел 3

1. Березина, Н. А. Экология растений: учебное пособие / Н. А. Березина, Н. Б. Афанасьева. – М.: Издательский центр «Академия», 2009. – 400 с.

2. Водяницкий, Ю. Н. Об опасных тяжелых металлах / металлоидах в почвах / Ю. Н. Водяницкий // Бюллетень Почвенного института имени В. В. Докучаева. – 2011. – Вып. 68. – С. 56-82.

3. Глухих, М. А. Агрохимия. Практикум: учебное пособие для СПО / М. А. Глухих. – 2-е изд., стер. – Санкт-Петербург: Лань, 2023. – 104 с.

4. Матвеев, Н. М. Вовлечение тяжелых металлов в основные трофические цепи в агрофитоценозах Высокого Заволжья / Н. М. Матвеев, В. Н. Матвеев, Н. В. Прохорова. – Самара: Издательство «Самарский университет», 2008. – 144 с.

5. Мотузова, Г. В. Химическое загрязнение биосферы и его экологические последствия: учебник. Chemical contamination of biosphere and its ecological consequences: учебник для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению высшего профессионального образования 020700 «Почвоведение» / Г. В. Мотузова, Е. А. Карпова. – М.: Издательство Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова, 2013. – 302 с.

6. Мудрых, Н. М. Агрохимия: лабораторный практикум / Н. М. Мудрых, М. И. Пинаева. – Пермь: ФГБОУ ВО Пермский ГАТУ, 2020. – 77 с.

7. Практикум по агрохимии: учебное пособие / В. Г. Минеев, В. Г. Сычев, О. А. Амелянчик [и др.]; под ред. академика РАСХН В. Г. Минеева. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во МГУ, 2001. – 689 с.

8. Прожорина, Т. И. Химический анализ почв: лабораторный практикум для вузов. Часть 1 / Т. И. Прожорина, Е. Д. Затулей. – Воронеж: Изд-во ВГУ, 2008. – 32 с.

9. Прохорова, Н. В. Металлы и металлоиды в лесостепных и степных почвах Самарской области / Н. В. Прохорова // Известия Самарского научного центра РАН. – 2013. – Т. 15, № 3 (7). – С. 2328-2332.

10. Прохорова, Н. В. Науки о Земле. Практикум по общему почвоведению с основами геологии: учебное пособие / Н. В. Прохорова, Л. М. Кавеленова. – Самара: Изд-во «Самарский университет», 2008. – С. 44-46.

11. Прохорова, Н. В. Аккумуляция тяжелых металлов дикорастущими и культурными растениями в лесостепном и степном Поволжье / Н. В. Прохорова, Н. М. Матвеев, В. А. Павловский. – Самара: Издательство «Самарский университет», 1998. – 131 с.

12. Сафина, Г. Р. Государственное управление и охрана земельных ресурсов России на современном этапе: курс лекций. Часть 3. Деградация почв и земель. Мелиорация / Г. Р. Сафина, В. А. Федорова. – Казань: Казанский университет, 2020. – 135 с.

13. Kumar, N. Heavy metal toxicity / N. Kumar. – Switzerland: Springer, 2024. – 385 p. – URL: <https://doi.org/10.1007/978-3-031-56642-4> (дата обращения: 15.03.2025).

Раздел 4

1. Алексеенко, В. А. Экологическая геохимия: учебник для студентов вузов, обучающихся по естественно-науч. специальностям / В. А. Алексеенко. – М.: Логос, 2000. – 627 с.
2. Андреева, Т. А. Экология в вопросах и ответах: учебное пособие / Т. А. Андреева. – М.: Изд-во «Проспект», 2007. – 184 с.
3. Бажанова, Л. М. Тяжелые металлы в техногенных почвах как показатель состояния экологической среды / Л. М. Бажанова, И. В. Прокопенко // Самарская Лука: бюллетень. – 2002. – № 12. – С. 244-248.
4. Батоян, В. В. Биогеохимическая оценка состояния окружающей природной среды (опыт разработки методики регионального анализа) / В. В. Батоян, В. С. Вшивцев, Н. С. Касимов, О. В. Моисеенков, Ю. И. Пиковский, Ю. В. Проскуряков, О. А. Самонова // Природные и антропогенные биогеохимические циклы. Труды Биогеохимической лаборатории. – М.: Наука, 1990. – Т. 21. – С. 108-125.
5. Бондаревич, Е. А. Мониторинг загрязнения снежного покрова г. Читы тяжелыми металлами / Е. А. Бондаревич, Н. Н. Коцюржинская, О. А. Жилыева, Г. Ю. Самойленко, К. И. Климович, С. А. Игумнов // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. – 2018. – Т. 8. – С. 132-144.
6. Виноградова, А. А. Тяжелые металлы в атмосфере над северным побережьем Евразии: межгодовые вариации зимой и летом / А. А. Виноградова, Ю. А. Иванова // Геофизические процессы и биосфера. – 2016. – Т. 15, № 4. – С. 5-17.
7. ГОСТ 18826–73. Вода питьевая. Методы определения содержания нитратов. Drinking water. Methods for determination of nitrates content: межгосударственный стандарт: дата введения 1974-01-01. – Издание официальное. – М.: ИПК ИЗДАТЕЛЬСТВО СТАНДАРТОВ, 2003. – 7 с.
8. Курбатова, А. С. Экология города: учебное пособие для студентов вузов по специальностям Геоэкология, Экология, Охрана окружающей среды и др. / А. С. Курбатова, В. Н. Башкин, Н. С. Касимов. – М.: Научный мир, 2004. – 624 с.
9. Лукашев, О. В. Эколого-геохимическое состояние снеговых вод Березинского биосферного заповедника / О. В. Лукашев, В. М. Натаров, Н. Г. Лукашева, С. В. Савченко // Природопользование: сборник научных трудов. – Минск: Издатель А. Н. Вараксин, 2010. – Вып. 17. – С. 63-68.
10. Методические рекомендации по оценке степени загрязнения атмосферного воздуха населенных пунктов металлами по их содержанию в снежном покрове и почве / Министерство здравоохранения СССР, Главное санитарно-профилактическое управление. – М.: ИМГРЭ, 1990. – 16 с.
11. Пономарева, Е. М. Снег как индикатор загрязнения окружающей среды города Магнитогорска: оценка количественного содержания токсикантов / Е. М. Пономарева, Т. В. Осинкина, Г. Ф. Кольчугина // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Сер. Естественные и технические науки. – 2023. – № 6. – С. 29-33.

12. Протасов, В. Ф. Экология, здоровье и охрана окружающей среды в России. Ecology, Health and Environment Protection in Russia: учебное и справочное пособие / В. Ф. Протасов. – М.: Финансы и статистика, 1999. – 670 с.
13. Прохорова, Н. В. Эколого-геохимическая роль автотранспорта в условиях городской среды / Н. В. Прохорова // Вестник Самарского государственного университета. Естественно-научная серия. – 2005. – № 5 (39). – С. 188-199.
14. Прохорова, Н. В. Науки о Земле. Практикум по общему почвоведению с основами геологии: учебное пособие / Н. В. Прохорова, Л. М. Кавеленова. – Самара: Изд-во «Самарский университет», 2008. – С. 44-46.
15. Рогулева, Н. О. Эколого-геохимические особенности снежного покрова парков города Самары / Н. О. Рогулева // Вестник СамГУ. Естественнонаучная серия. – 2007. – № 8 (58). – С. 206-212.
16. Руководство по контролю загрязнения атмосферы РД 52.04.186-89: руководящий документ // OPENGOST.RU: Портал нормативных документов. – 1997-2014. – URL: www.opengost.ru (дата обращения: 18.03.2025).
17. Суркова, Г. В. Химия атмосферы: учебное пособие для студентов, обучающихся по специальности метеорология / Г. В. Суркова; науч. ред. Ю. К. Васильчук. – М.: Издательство МГУ, 2002. – 209 с.
18. Тарасова, Т. Ф. Комплексная оценка степени загрязнения растений придорожной территории улиц промышленного города / Т. Ф. Тарасова, М. Ю. Гарицкая, О. В. Чаловская, В. И. Панченко // Вестник ОГУ. – 2002. – № 3. – С. 15-20.
19. ФГБУ «Приволжское УГМС». Самара. – 2023. – URL: <https://pogoda-sv.ru> (дата обращения: 18.03.2025).
20. Федорова, А. И. Практикум по экологии и охране природы: учебное пособие для студентов высших учебных заведений / А. И. Федорова, А. Н. Никольская. – М.: Гуманит. изд. центр ВЛАДОС, 2003. – 297 с.

Раздел 5

1. Алексеенко, В. А. Геоботанические исследования для решения ряда экологических задач и поисков месторождений полезных ископаемых: учебное пособие / В. А. Алексеенко. – М.: Логос, 2011. – 244 с.
2. Баргалы, Р. Биогеохимия наземных растений. Экофизиологический подход к биомониторингу и биовосстановлению / Р. Баргалы; пер. с англ. И. Н. Михайловой. – М.: ГЕОС, 2005. – 457 с.
3. Битюцкий, Н. П. Микроэлементы высших растений / Н. П. Битюцкий. – 2-е изд. – СПб.: Изд-во Санкт-Петербургского университета, 2020. – 370 с.
4. Добровольский, В. В. Основы биогеохимии: учебное пособие. – М.: Издательский центр «Академия», 2003. – 400 с.
5. Лабораторный практикум по агрохимии: учебное пособие / А. Н. Есаулко, Е. В. Голосной, А. Ю. Ожередова [и др.]. – Ставрополь: Ставропольский государственный аграрный университет, 2019. – 170 с.
6. Макарова, Ю. В. Гистохимическая оценка накопления и распределения тяжелых металлов в органах и тканях сельскохозяйственных растений в зависимости от условий произрастания: автореф. дис. ... канд. биол. наук: 03.00.16 / Макарова Юлия Владимировна; ИЭВБ РАН. – Тольятти, 2006. – 18 с.

7. Медведев, И. Ф. Тяжелые металлы в экосистемах / И. Ф. Медведев, С. С. Деревягин. – Саратов: «Ракурс», 2017. – 178 с.
8. Ольшанская, Л. Н. Гистохимические исследования локализации тяжелых металлов в тканях высших растений в процессе фитоэкстракции / Л. Н. Ольшанская, Е. М. Баканова, Е. В. Яковлева // Известия вузов. Химия и химическая технология. – 2016. – Т. 59, вып. 5. – С. 3-15.
9. Практикум по физиологии растений: учебное пособие / В. Б. Иванов, И. В. Плотникова, Е. А. Живухина [и др.]; под ред. В. Б. Иванова. – 2-е изд., испр. – М.: Издательский центр «Академия», 2004. – С. 88-93.
10. Прохорова, Н. В. Гистохимические методы в экологическом мониторинге / Н. В. Прохорова, Ю. В. Аксютин // Региональный экологический мониторинг в целях управления биологическими ресурсами: сборник научных трудов. – Тольятти: ИЭВБ РАН, 2003. – С. 181-186.
11. Прохорова, Н. В. Перспективы использования гистохимических методов в биогеохимии тяжелых металлов / Н. В. Прохорова, Ю. В. Аксютин, А. Н. Козлов, И. В. Коротков, И. А. Бакланов // Современные методы эколого-геохимической оценки состояния и изменений окружающей среды: доклады Международной школы (г. Новороссийск, 15-20 сентября 2003 г.). – Новороссийск, 2003. – 217-223.
12. Рогулева, Н. О. Некоторые особенности накопления тяжелых металлов почвами и растениями парков г. Самары / Н. О. Рогулева // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В. И. Вернадского. – 2007. – Т. 1, № 4 (10). – С. 23-27.
13. Серегин, И. В. Гистохимические методы изучения распределения кадмия и свинца в растениях / И. В. Серегин, В. Б. Иванов // Физиология растений. – 1997. – Т. 44, № 6. – С. 915-921.
14. Храмченкова, О. М. Практикум по физиологии растений: практическое руководство. Часть 1 / О. М. Храмченкова. – Гомель: ГГУ, 2017. – 44 с.
15. Kabata-Pendias, A. Trace elements in soils and plants / A. Kabata-Pendias. – Boca Raton, London, New York: CRC Press. – 2011. – 533 p.

Раздел 6

1. Айвазян, А. Д. Геохимические особенности флоры ландшафтов юго-западного Алтая: автореф. дис. ... канд. геол. наук: 11.00.06 / Айвазян Анастасия Дмитриевна; МГУ. – М., 1974. – 24 с.
2. Алексеенко, В. А. Экологическая геохимия: учебник для студентов вузов, обучающихся по естественно-науч. специальностям / В. А. Алексеенко. – М.: Логос, 2000. – 627 с.
3. Виноградов, А. П. Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почвах / А. П. Виноградов. – 2-е изд., доп. – М.: Изд-во Акад. наук СССР, 1957. – 238 с.
4. Глазовский, Н. Ф. Ландшафтно-геохимическое значение глубокого подземного стока в аридных областях СССР: автореф. дис. ... д-ра геогр. наук: 11.00.01 / Глазовский Никита Федорович; МГУ. – Москва, 1985. – 39 с.
5. Добровольский, В. В. Геохимическое землеведение: учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности «География» / В. В. Добровольский. – М.: Гуманитар. изд. центр ВЛАДОС, 2008. – 207 с.

6. Дьяконов, К. Н. Современные методы географических исследований: книга для учителя / К. Н. Дьяконов, Н. С. Касимов, В. С. Тикунов. – М.: Просвещение: АО «Учеб. лит.», 1996. – 205 с.
7. Касимов, Н. С. Кларки химических элементов как эталоны сравнения в экогеохимии / Н. С. Касимов, Д. В. Власов // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География. – 2015. – № 2. – С. 7-17.
8. Ковальский, А. Л. Основные закономерности формирования химического состава растений / А. Л. Ковальский // Биогеохимия растений: сборник статей; отв. ред. А. Л. Ковалевский. – Улан-Удэ: Бурятское кн. изд-во, 1969. – С. 6-28.
9. Медведев, И. Ф. Тяжелые металлы в экосистемах / И. Ф. Медведев, С. С. Деревягин. – Саратов: «Ракурс», 2017. – 178 с.
10. Методические указания МУ 2.1.7.730-99 Гигиеническая оценка качества почв населенных мест. Hygienic evaluation of soil in residential areas: дата введения 1999-04-05 / Минздрав России. – М., 1999.
11. Михайлов, И. С. Опыт составления крупномасштабной ландшафтно-геохимической карты горно-таежных районов для целей поисков полезных ископаемых / И. С. Михайлов, Р. П. Михайлова, Н. П. Солнцева // География почв и геохимия ландшафтов: сборник статей; под ред. проф. М. А. Глазовской. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1967. – С. 135-168.
12. Перельман, А. И. Геохимия ландшафта. – М.: Высшая школа, 1975. – 342 с.
13. Перельман, А. И. Геохимия ландшафта: учебное пособие для студентов геогр. и экол. специальностей вузов / А. И. Перельман, Н. С. Касимов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Астрель-2000, 1999. – 762 с.
14. Побынов, Б. Б. Валовой анализ почв и его толкование / Б. Б. Побынов // Почвоведение. – 1948. – № 10. – С. 482-490.
15. Прохорова, Н. В. Аккумуляция тяжелых металлов дикорастущими и культурными растениями в лесостепном и степном Поволжье / Н. В. Прохорова, Н. М. Матвеев, В. А. Павловский. – Самара: Издательство «Самарский университет», 1998. – 131 с.
16. Справочник по геохимии / Г. В. Войткевич, А. В. Кокин, А. Е. Мирошников, В. Г. Прохоров. – М.: Недра, 1990. – 480 с.
17. Трифонова, Т. А. Экологическая геохимия: словарь-справочник / Т. А. Трифонова, Л. А. Ширкин. – Владимир: Ред.-издат. комплекс ВлГУ, 2005. – 140 с.
18. Шихова, Н. С. Биогеохимические критерии оценки экологической эффективности видов в городском озеленении / Н. С. Шихова // Вестник ДВО РАН. – 2022. – № 2. – С. 17–36. – URL: <http://vestnikdvo.ru/index.php/vestnikdvo/article/view/911> (дата обращения: 10.03.2025).
19. Ярошевский, А. А. Кларки геосфер / А. А. Ярошевский // Справочник по геохимическим поискам полезных ископаемых; под ред. А. П. Соловова. – М.: Недра, 1990. – С. 7-14.

Раздел «Контрольная самостоятельная работа: методика подготовки и оформления»

Общие требования к учебным текстовым документам: СТО 02068410-004-2018: стандарт организации: [принят 9 окт. 2007 г., с изм., утвержд. 11 сен. 2019 г.] / Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С. П. Королева» (Самарский университет); отв. за выпуск Отдел стандартизации, метрологии и технического контроля. – Самара, 2019. – 33 с.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

В районах старой застройки г. Самары (Самарском, Ленинском) антропогенных источников загрязнения атмосферы сравнительно немного, тогда как Промышленный, Кировский и Советский районы образуют почти сплошную промышленную площадку, – так называемую Безымянскую промзону. Здесь размещены не только крупные промышленные объекты, но и мощные источники тепла, электроснабжения, транспортные развязки. Так, в Промышленном районе разместились: ПАО «Завод им. А. М. Тарасова» (производство электрооборудования и запчастей для автомобилей и тракторов), ПАО «ОДК – Кузнецов», ПАО «Самарский завод «Экран», ПАО «Гидроавтоматика» и АО «Авиаагрегат» (производство авиационной и иной техники), Безымянская ТЭЦ, ЗАО «Самарский булочно-кондитерский комбинат», ЗАО «Самарский гипсовый комбинат» и др. Основной транспортный поток движется по улицам: Ново-Садовая, Московское шоссе, проспект Кирова, Стара-Загора, Ново-Вокзальная.

В Кировском районе источниками загрязнения атмосферы являются: «ЦСКБ-Прогресс» и АО «Авиакор – авиационный завод» (производство авиационной и иной техники), ОАО «Самарский металлургический завод», ПАО «ОДК – Кузнецов» (машиностроение). Наиболее интенсивное движение автотранспорта осуществляется по улицам: проспект К. Маркса, Стара-Загора, Московское шоссе, Ставропольская, Победы, проспект Metallургов, Зубчаниновское шоссе.

В Советском районе расположены: ОАО «Самарский подшипниковый завод», АО «Самарский завод котельно-вспомогательного оборудования и трубопроводов», АО «Строммашина-Щит», ООО «Самара-Авиагаз» (производством оборудования для газонефтедобывающих, газотранспортных предприятий, стационарной энергетики и нефтегазоперерабатывающего комплекса), ОАО «Завод Продмаш», ЗАО «Самарский опытно-экспериментальный завод алюминиевых сплавов» (металлургическое производство и производство готовых металлических конструкций), ЗАО «Самарская кабельная компания», АО «Самарский завод электромонтажных изделий», ЗАО «Самарская оптическая кабельная компания», АО «Самарский завод электромонтажных изделий» (производство электрооборудования, электронного и оптического оборудования), ОАО «Металлист-Самара», ЗАО «Завод аэродромного оборудования», АО «Портал», АО «Агрегат» (машиностроение), АО «Самарский комбинат керамических материалов» (производство изделий из керамики), АО «Самарский жиркомбинат», АО «ЭЙЧ ЭНД ЭН», ООО «Фабрика мороженого «Сам-По», ООО «Золушка-Металлист» (производство продуктов питания). Самыми загруженными автотранспортом улицами в Советском районе являются: Промышленности, Ю. Гагарина, Советской Армии, Антонова-Овсеенко.

В Ленинском районе находятся: Самарская ГРЭС, АО «Жигулевское пиво», АО «Самарская макаронная фабрика «Верола». Здесь автотранспорт массово движется по улицам: Самарская, Галактионовская, Вилоновская, Красноармейская, Волжский проспект.

ПО «Пегас» (производство подъемного оборудования), ООО «ПК „ВОЛГАМЕТАЛЛ“» (производство строительных металлических конструкций, изделий и их частей) – это промышленные предприятия, расположенные в Самарском районе г Самары. Наиболее интенсивно используются движущимся автотранспортом улицы Куйбышева и Л. Толстого, а также Волжский проспект.

В Октябрьском районе главным источником загрязнения является ОАО «Завод авиационных подшипников» (производство грузоподъемной техники). Основной транспортный поток идет по следующим улицам: Ново-Садовая, Московское шоссе, Мичурина, Советской Армии, проспекты Масленникова и Ленина.

Крупными загрязнителями воздуха в Куйбышевском районе являются ОАО «Волгабурмаш» (производство оборудования для нефтегазодобывающих и горнорудных предприятий) и АО «Самарский резервуарный завод» (производство металлоконструкций). Наиболее загруженные улицы – Утевская, Уральская, Пугачевский тракт, Кряжское и Новокуйбышевское шоссе.

В Железнодорожном районе разместились: АО «Самарский трансформатор» (производство электрооборудования), ОАО «Средневолжский станкостроительный завод» (станкостроение), ООО «Самараавтожгут» (производство автокомпонентов), АО «Мягкая кровля» (производство кровельных, гидроизоляционных и теплоизоляционных материалов), АО «Самаравтормет» (переработка металлического лома), ОАО ПКК «Весна» (производство косметики и бытовой химии), ООО «Самарский хлебозавод №2». Чаще всего используются автотранспортом улицы Партизанская, Аэродромная, Ю. Гагарина, Тухачевского, Пензенская и М. Тореза.

Периферия г. Самары – Красноглинский район – является местом расположения таких предприятий, как: ЗАО «Сокское карьероуправление» (добыча строительного камня), АО «Самарский завод «Электроштит» (производство строительных и металлических конструкций), ПАО «ОДК – Кузнецов» (производство двигателей и летательных аппаратов), АО «Салют» (предприятие оборонно-промышленного комплекса), ЗАО «Салют – Фильтр» (производство принадлежностей для автомобилей), филиал ООО «Пепсико Холдингс» (производство безалкогольных напитков). Автотранспорт чаще движется по улицам Волжское и Красноглинское шоссе.

В холодное время года в г. Самаре преобладают ветры следующих направлений: октябрь и ноябрь – юго-западного направления; декабрь – юго-западного направления, приближенного к южному направлению; январь – юго-западного направления; февраль и март – юго-восточного направления, приближенного к южному направлению.

Образец

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ АКАДЕМИКА С. П. КОРОЛЕВА»
(Самарский университет)

Институт естественных и математических наук
Факультет биологический
Кафедра экологии, ботаники и охраны природы

КОНТРОЛЬНАЯ САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА
«ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ И БИОГЕОХИМИЧЕСКАЯ РОЛЬ
ХИМИЧЕСКОГО ЭЛЕМЕНТА ЦИНКА»

по направлению подготовки 06.03.01 Биология
(уровень бакалавриата)
профиль (программа) «Биология»

Студент _____ И. И. Иванов

Преподаватели дисциплины:
д.б.н., профессор _____ Н. В. Прохорова

к.б.н., доцент _____ Ю. В. Макарова

Самара 2025

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
ВВЕДЕНИЕ	3
1 Общая характеристика химического элемента цинка	5
2 Содержание цинка в геосферах Земли и их компонентах	9
2.1 Земная кора	9
2.2 Гидросфера	13
2.3 Педосфера	15
3 Миграция цинка в природных средах	19
4 Биологическая роль цинка	21
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	28
ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ	30
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	31
ПРИЛОЖЕНИЯ	38

Таблица 3.1 – Показатели основных агрохимических характеристик почв на пробных площадках в окрестностях г. Самары

№ пробной площадки	Гранулометрический состав	Актуальная кислотность почвенного раствора, ед.	Общее содержание гумуса, %	Содержание общих карбонатов, баллы
1	легкий суглинок	9,03	2,87	3
2	средний суглинок	6,05	9,74	0
3	тяжелый суглинок	5,78	8,28	1

Учебное издание

*Прохорова Наталья Владимировна
Макарова Юлия Владимировна*

**ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БИОГЕОХИМИЯ.
РЕГИОНАЛЬНЫЕ АСПЕКТЫ**

Практикум

Редакционно-издательская обработка издательства
Самарского университета

Подписано в печать 02.06.2025. Формат 60×84 1/16.
Бумага офсетная. Печ. л. 12,5.
Тираж 120 экз. (1-й з-д 1-27). Заказ № . Арт. – 4(Р1ПР)/2025.

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ АКАДЕМИКА С. П. КОРОЛЕВА»
(САМАРСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)
443086, САМАРА, МОСКОВСКОЕ ШОССЕ, 34.

Издательство Самарского университета.
443086, Самара, Московское шоссе, 34.