Развитие физиологической геохимии

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова

Кафедра геохимии

Год: 2025

# ВВЕДЕНИЕ

\*\*Введение\*\*
Физиологическая геохимия представляет собой междисциплинарное направление науки, исследующее взаимодействие химических элементов и их соединений с живыми организмами в контексте геохимических процессов. Эта область знаний объединяет принципы геохимии, биологии, экологии и медицины, формируя целостное понимание роли химических элементов в функционировании биологических систем и их адаптации к изменяющимся условиям окружающей среды. Актуальность исследований в данной сфере обусловлена необходимостью изучения механизмов биогенной миграции элементов, их влияния на физиологические процессы, а также последствий антропогенного воздействия на природные экосистемы.
Исторически развитие физиологической геохимии связано с работами В.И. Вернадского, который заложил основы учения о биосфере и биогеохимических циклах. Его идеи о взаимосвязи живого вещества с геохимическими процессами стали фундаментом для последующих исследований. В XX веке значительный вклад в развитие дисциплины внесли А.П. Виноградов, разработавший концепцию биогеохимических провинций, и В.В. Ковальский, исследовавший роль микроэлементов в физиологии растений и животных. Современные достижения в области аналитических методов, таких как масс-спектрометрия и хроматография, позволили углубить понимание механизмов накопления, трансформации и токсичности химических элементов в живых организмах.
Ключевыми направлениями физиологической геохимии являются изучение биологической роли макро- и микроэлементов, анализ их дефицита или избытка в различных экосистемах, а также оценка влияния загрязнения окружающей среды на здоровье человека и биоразнообразие. Особое внимание уделяется исследованию эволюционной адаптации организмов к геохимическим аномалиям, что имеет значение для решения проблем экологической безопасности и рационального природопользования.
Целью настоящего реферата является систематизация современных представлений о развитии физиологической геохимии, анализ её методологических основ и практических приложений. В работе рассматриваются исторические этапы становления дисциплины, ключевые теоретические концепции, а также перспективные направления исследований, связанные с глобальными экологическими вызовами. Изучение этих аспектов позволяет не только расширить научные знания, но и разработать стратегии минимизации негативного воздействия антропогенных факторов на биосферу.

# ИСТОРИЯ ВОЗНИКНОВЕНИЯ И СТАНОВЛЕНИЯ ФИЗИОЛОГИЧЕСКОЙ ГЕОХИМИИ

Физиологическая геохимия как научное направление сформировалась на стыке биологии, геохимии и медицины, что обусловлено необходимостью изучения влияния химического состава окружающей среды на живые организмы. Её возникновение связано с работами учёных XIX–XX веков, которые заложили основы понимания взаимосвязи между геохимическими процессами и физиологическими функциями. Первые предпосылки к развитию данной дисциплины можно проследить в исследованиях А.П. Виноградова, который в середине XX века ввёл понятие биогеохимических провинций, характеризующихся специфическим распределением химических элементов в почвах, водах и растительности, что оказывало прямое воздействие на здоровье человека и животных. Эти работы стали фундаментом для последующего изучения роли микро- и макроэлементов в метаболизме живых организмов.
Важным этапом в становлении физиологической геохимии стали труды В.И. Вернадского, разработавшего учение о биосфере и ноосфере. Его концепция о глобальном круговороте химических элементов и их участии в биологических процессах позволила рассматривать живые организмы как активных участников геохимических циклов. Вернадский подчеркивал, что химический состав организмов тесно связан с геохимическими особенностями среды их обитания, что позднее подтвердилось в исследованиях эндемических заболеваний, вызванных дефицитом или избытком определённых элементов.
В 1960–1970-х годах физиологическая геохимия получила новый импульс развития благодаря работам зарубежных и отечественных учёных, изучавших механизмы адаптации организмов к геохимическим аномалиям. Были установлены закономерности накопления токсичных элементов (свинец, кадмий, ртуть) в тканях живых организмов и их влияние на физиологические процессы. Параллельно развивались методы биоиндикации, позволяющие оценивать степень загрязнения окружающей среды по изменениям в метаболизме растений и животных.
Современный этап развития физиологической геохимии характеризуется междисциплинарным подходом, объединяющим достижения молекулярной биологии, экотоксикологии и геохимии. Активно исследуются механизмы транспорта и трансформации химических элементов в живых системах, а также их роль в возникновении патологий. Особое внимание уделяется изучению микроэлементозов — заболеваний, связанных с дисбалансом микроэлементов в организме. Разрабатываются методы коррекции геохимического дисбаланса через агрохимические и медицинские вмешательства. Таким образом, физиологическая геохимия продолжает развиваться, отвечая на вызовы, связанные с антропогенным изменением окружающей среды и необходимостью обеспечения экологической безопасности.

# ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ И МЕТОДЫ ФИЗИОЛОГИЧЕСКОЙ ГЕОХИМИИ

Физиологическая геохимия представляет собой междисциплинарную науку, изучающую взаимодействие химических элементов и их соединений с живыми организмами в контексте геохимических процессов. Основу данной дисциплины составляют принципы, объединяющие биологию, химию и геологию, что позволяет анализировать влияние геохимической среды на физиологические функции организмов, а также роль биоты в трансформации вещества в биосфере. Ключевым постулатом является представление о том, что химический состав организмов детерминирован не только генетическими факторами, но и геохимическими условиями среды обитания. Это положение базируется на законе Вернадского о единстве живого вещества и окружающей среды, подчеркивающем взаимозависимость биологических и геохимических циклов.
Методологический аппарат физиологической геохимии включает комплекс аналитических и экспериментальных подходов. Важнейшим инструментом является биогеохимическое картирование, позволяющее выявлять пространственные закономерности распределения элементов в почвах, водах и биологических объектах. Спектральные методы, такие как атомно-абсорбционная спектроскопия и масс-спектрометрия с индуктивно-связанной плазмой, обеспечивают точное определение микро- и макроэлементного состава биологических образцов. Для изучения механизмов биологического поглощения и трансформации элементов применяются радиоизотопные методы, включая меченые соединения, что позволяет проследить миграцию элементов в пищевых цепях.
Особое значение в физиологической геохимии имеет концепция биологического поглощения, разработанная А. П. Виноградовым. Согласно этой теории, организмы избирательно аккумулируют элементы в зависимости от их физиологической значимости и геохимической подвижности. Данный процесс описывается коэффициентами биологического поглощения, отражающими соотношение концентраций элемента в организме и среде. Другой фундаментальный принцип — закон минимума Либиха, адаптированный к геохимическим условиям: жизнедеятельность организмов лимитируется элементом, находящимся в относительном дефиците, независимо от достаточности других компонентов.
Важным направлением исследований является изучение эндемических заболеваний, связанных с дисбалансом микроэлементов в окружающей среде. Например, дефицит йода в геохимических провинциях приводит к нарушениям функций щитовидной железы, а избыток фтора — к флюорозу. Эти явления анализируются через призму геохимических барьеров, где происходит резкое изменение миграционной способности элементов, влияющее на их биодоступность. Современные методы моделирования, включая геоинформационные системы, позволяют прогнозировать распространение таких аномалий на основе корреляции биологических и геохимических данных.
Таким образом, физиологическая геохимия опирается на синтез методов точных наук для решения задач, связанных с адаптацией организмов к геохимическим условиям, а также с антропогенным воздействием на биогеохимические циклы. Дальнейшее развитие дисциплины связано с внедрением молекулярно-биологических подходов, углубляющих понимание механизмов взаимодействия живых систем с химическими элементами Земли.

# РОЛЬ ФИЗИОЛОГИЧЕСКОЙ ГЕОХИМИИ В ИЗУЧЕНИИ БИОСФЕРЫ

Физиологическая геохимия представляет собой междисциплинарное направление, исследующее взаимодействие химических элементов и их соединений с живыми организмами в контексте биосферных процессов. Её значение для изучения биосферы обусловлено способностью раскрывать механизмы адаптации организмов к геохимическим условиям среды, а также выявлять закономерности круговорота веществ в природных системах. Важнейшим аспектом является анализ роли микро- и макроэлементов в физиологических процессах, что позволяет установить связь между геохимическими аномалиями и биологическими ответами на них.
Одним из ключевых достижений физиологической геохимии стало понимание биогеохимических провинций — территорий с характерным химическим составом почв, вод и атмосферы, определяющим специфику местных экосистем. Исследования в этой области демонстрируют, как дефицит или избыток определённых элементов (например, йода, селена, фтора) влияет на здоровье организмов, включая человека. Так, в регионах с низким содержанием йода в почвах наблюдается распространение эндемического зоба, а избыток фтора приводит к флюорозу. Эти данные подчёркивают роль физиологической геохимии в прогнозировании и предотвращении экологически обусловленных заболеваний.
Кроме того, физиологическая геохимия вносит вклад в изучение глобальных биосферных циклов, таких как углеродный, азотный и фосфорный. Анализ участия живых организмов в трансформации и миграции элементов позволяет уточнить модели биогеохимических процессов. Например, исследования фитопланктона показали его ключевую роль в связывании углекислого газа, что имеет значение для понимания климатических изменений. Аналогично, изучение азотфиксирующих бактерий раскрыло механизмы пополнения биодоступного азота в почвах, что критически важно для сельского хозяйства и устойчивости экосистем.
Важным направлением является также исследование токсического воздействия тяжёлых металлов (свинца, кадмия, ртути) и радионуклидов на живые организмы. Физиологическая геохимия разрабатывает методы оценки толерантности видов к загрязнению, что применяется в биомониторинге и рекультивации нарушенных территорий. Установлено, что некоторые растения и микроорганизмы способны аккумулировать токсичные элементы, снижая их подвижность в окружающей среде. Это открывает перспективы для фиторемедиации и создания биогеохимических барьеров.
Таким образом, физиологическая геохимия служит мостом между геохимическими процессами и биологическими системами, обеспечивая комплексное понимание функционирования биосферы. Её методы и концепции позволяют не только диагностировать экологические риски, но и разрабатывать стратегии рационального природопользования, направленные на сохранение устойчивости живых систем в условиях антропогенного воздействия.

# СОВРЕМЕННЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ФИЗИОЛОГИЧЕСКОЙ ГЕОХИМИИ

Современные исследования в области физиологической геохимии демонстрируют значительный прогресс, обусловленный интеграцией междисциплинарных подходов и применением новейших технологий. Одним из ключевых направлений является изучение роли микроэлементов в метаболических процессах живых организмов, включая их влияние на ферментативную активность, гормональную регуляцию и иммунный ответ. Особое внимание уделяется механизмам биологической адаптации к геохимическим аномалиям, что актуально в контексте антропогенного загрязнения окружающей среды. Современные методы, такие как масс-спектрометрия с индуктивно-связанной плазмой (ICP-MS) и рентгеновская абсорбционная спектроскопия (XAS), позволяют детально анализировать распределение и формы нахождения элементов в биологических матрицах, что способствует углублённому пониманию их физиологической роли.
Перспективным направлением является исследование взаимодействия микро- и макроэлементов в условиях изменяющихся экологических факторов, включая климатические колебания и техногенное воздействие. Например, изучение дисбаланса селена, цинка и йода в пищевых цепях позволяет прогнозировать риски возникновения эндемических заболеваний и разрабатывать стратегии их профилактики. Важное значение приобретает моделирование геохимических циклов биогенных элементов с учётом их трансформации в биологических системах, что требует применения методов математического анализа и компьютерного прогнозирования.
Особый интерес представляет развитие нанобиогеохимии — направления, изучающего влияние наночастиц природного и антропогенного происхождения на физиологические процессы. Установлено, что наноформы металлов могут обладать уникальной биодоступностью и токсикологическими свойствами, что требует пересмотра традиционных представлений о их роли в живых организмах. Кроме того, активно исследуются механизмы биоминерализации, включая формирование биогенных минералов в тканях растений и животных, что имеет значение для понимания эволюционных адаптаций и разработки биоматериалов.
В ближайшей перспективе физиологическая геохимия будет ориентирована на решение прикладных задач, таких как биорем

# ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В заключение следует отметить, что развитие физиологической геохимии как междисциплинарного направления на стыке биологии, геохимии и экологии демонстрирует значительный прогресс в понимании взаимосвязей между химическим составом окружающей среды и физиологическими процессами живых организмов. Современные исследования в данной области позволили установить ключевые механизмы влияния микро- и макроэлементов на метаболизм, адаптационные стратегии видов и функционирование экосистем в условиях изменяющейся геохимической среды. Особое значение приобретает изучение роли биогенных элементов в эволюции биосферы, а также их дисбалансов, приводящих к патологическим изменениям у организмов, включая человека.
Дальнейшее развитие физиологической геохимии требует углублённого анализа пространственно-временной динамики химических элементов в биотических и абиотических компонентах экосистем, что возможно благодаря внедрению высокоточных аналитических методов, таких как масс-спектрометрия и синхротронная спектроскопия. Перспективным направлением является интеграция данных геохимического мониторинга с физиологическими моделями, позволяющими прогнозировать последствия антропогенного загрязнения и климатических изменений.
Кроме того, актуальной остаётся задача разработки методологических основ оценки толерантности организмов к геохимическим аномалиям, что имеет практическое значение для медицины, сельского хозяйства и природоохранной деятельности. Установление количественных закономерностей взаимодействия химических элементов с биологическими системами открывает новые возможности для управления качеством окружающей среды и минимизации её негативного воздействия на здоровье живых организмов.
Таким образом, физиологическая геохимия, базируясь на фундаментальных достижениях естественных наук, продолжает расширять границы познания, формируя научную основу для решения актуальных экологических и биомедицинских проблем. Дальнейшие исследования в этой области будут способствовать углублению понимания роли геохимических факторов в эволюции жизни и устойчивости биосферы в условиях глобальных изменений.

# СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вернадский В.И.. Очерки геохимии. 1927 (книга)

2. Перельман А.И.. Геохимия ландшафта. 1966 (книга)

3. Ковалевский А.Л.. Биогеохимия и физиологическая геохимия растений. 1991 (книга)

4. Сает Ю.Е., Ревич Б.А.. Геохимия окружающей среды. 1990 (книга)

5. Добровольский В.В.. Основы биогеохимии. 2003 (книга)

6. Башкин В.Н.. Биогеохимия: Учебник для вузов. 2004 (книга)

7. Ковальский В.В.. Геохимическая экология. 1974 (книга)

8. Фортескью Дж.. Environmental Geochemistry: A Holistic Approach. 1980 (книга)

9. Борисенко Е.П., Ямских Ю.Ф.. Физиологическая геохимия: проблемы и перспективы. 2010 (статья)

10. Ковальский В.В., Андрианова Г.А.. Физиологическая роль микроэлементов и их геохимия. 1970 (статья)