МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени М. В. Ломоносова
ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

*На правах рукописи*

**Подчасова Татьяна Андреевна**

# ЭКОЛОГО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПРИРОДНЫХ БИОМИНЕРАЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ В ПРЕДЕЛАХ ИССЛЕДОВАННЫХ ОХРАНЯЕМЫХ ТЕРРИТОРИЙ ВОСТОЧНО-СИХОТЭ-АЛИНСКОГО ВУЛКАНИЧЕСКОГО ПОЯСА, ТЕЛЕЦКОЙ И ПШЕКИШ-ТЫРНЫАУЗСКОЙ РАЗЛОМНЫХ ЗОН

Специальность 25.00.36 − Геоэкология

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Москва – 2021

Работа выполнена на кафедре инженерной и экологической геологии геологического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова

**Научные руководители** – ***Григорьева Ия Юрьевна,***
*кандидат геолого-минералогических наук, доцент*
– ***Паничев Александр Михайлович,***
*доктор биологических наук*

**Официальные оппоненты** – ***Галицкая Ирина Васильевна,*** *доктор геолого-минералогических наук, ФГБУН «Институт геоэкологии имени Е.М. Сергеева Российской академии наук» (ИГЭ РАН), главный научный сотрудник, и.о. зав. лабораторией гидрогеоэкологии*
– ***Гуман Ольга Михайловна****, доктор геолого-минералогических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет», профессор кафедры гидрогеологии, инженерной геологии и геоэкологии*
– ***Миронова Варвара Андреевна****, кандидат географических наук, ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова», Географический факультет, старший научный сотрудник кафедры биогеографии*

Защита диссертации состоится 19 ноября 2021 г. в 14 часов 30 минут на заседании диссертационного совета МГУ.04.01 Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова по адресу: 119234, РФ, Москва, Ленинские горы, д. 1, главное здание МГУ, корпус «А», геологический факультет, аудитория 415.

E-mail: mgu.04.01@mail.ru

С диссертацией можно ознакомиться в отделе диссертаций научной библиотеки МГУ имени М.В. Ломоносова (Ломоносовский просп., д. 27) и на сайте ИАС «ИСТИНА»: https://istina.msu.ru/dissertations/393957076/

Автореферат разослан 13 октября 2021 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
доктор геолого-минералогических наук, доцент Н.А. Харитонова

***Актуальность работы***

Дикие животные в различных регионах мира периодически потребляют горные породы и минерализованные подземные воды, выходящие на поверхность в виде источников. В международной научной литературе это явление обозначается термином *geophagy* (геофагия), в русскоязычной литературе большее распространение получил термин литофагия. Места регулярного потребления литогенных веществ выделяются на местности по характерным признакам жизнедеятельности крупных травоядных животных. Для обозначения подобных мест потребления в русскоязычной научной литературе встречаются ряд синонимичных терминов: зверовый солонец, кудюр, кудур и т.д. (Насимович, 1938; Капланов, 1949; Паничев, 2011). В иностранных публикациях эти термины заменяет обощенное – *natural lick* (Best et. al., 2013). Названия различаются в зависимости от региона и языковой принадлежности исследователей, из-за чего иногда возникает «терминологическая путаница». В данной работе автор обосновывает применение обобщенного русскоязычного термина – природные биоминеральные комплексы (БМ-комплексы).

Исследование БМ-комплексов относится к междисциплинарной, активно растущей научной области и затрагивает знания и методы как геологии, так и биологии с элементами медицины. Изучением данной тематики занимались такие зарубежные специалисты как Abrahams P.W., Beath O.A., Blair-West I.R., Bolton K.A., Denton D.A, Ketch L.A., Krishnamani R., Mahaney W.C. Risenhoover K.L., Vermeer D.E., Stockstad D.S.. В России наибольший вклад в данное направление внесли: Бгатов В.И., Капланов Л.Г., Ливеровский Ю.А., Матюшкин Е. Н., Насимович А.А., Паничев А.М., Шапошников Ф.Д. Актуальность изучения БМ-комплексов обусловлена повышенным вниманием к проблемам биогеохимических взаимодействий между живыми организмами и компонентами литосферы.

Причины, побуждающие животных потреблять минеральные вещества, однозначно не установлены. Степень разработанности данной темы в настоящее время можно охарактеризовать следующим образом: существует множество исследований, стремящихся объяснить причину потребления животными горных пород, однако комплексные ***эколого-геологические*** исследования БМ-комплексов ранее не производились.

***Объект исследования.*** В качестве объектов исследования выбраны природные биоминеральные комплексы:

1. **Восточно-Сихотэ-Алинского вулканического пояса**

- Солонцовский БМ-комплекс (склон кальдеры палеовулкана Солонцовский, бассейн реки Таёжная);
- Верхнеколумбинский БМ-комплекс (верховья реки Левая Колумбе);
- Каплановские БМ-комплексы (левобережные притоки реки Колумбе).

**2. Телецкой разломной зоны**

− БМ-комплексы береговой зоны Телецкого озера (республика Алтай).

**3. Пшекиш-Тырныаузской разломной зоны**

− БМ-комплексы горы Алоус (долина реки Ачипста, Западный Кавказ, республика Адыгея);

− БМ-комплексы горы Атамажи (Западный Кавказ, республика Адыгея);

− БМ-комплексы долины реки Ачипста (Западный Кавказ, республика Адыгея).

***Предметом исследования*** являются знания о строении природных биоминеральных комплексов и закономерностях их формирования.

***Цели и задачи***

***Цель работы*** – охарактеризовать и сравнить природные БМ-комплексы, сформированные на различных геологических структурах и выявить их эколого-геологические особенности.

Для решения поставленной цели были поставлены следующие ***задачи***:

1. Проанализировать существующие представления о геофагии и сформулировать обобщенный термин для обозначения исследуемых объектов.
2. Определить положение природных БМ-комплексов в эколого-геологической системе.
3. Разработать методику эколого-геологического исследования БМ-комплексов.
4. Проанализировать состав горных пород и вод, потребляемых на БМ-комплексах.
5. Выявить эколого-геологические особенности и закономерности формирования БМ-комплексов на различных геологических структурах.
6. Разработать эколого-геологическую систематику изученных БМ-комплексов.

***Научная новизна***

1. Обоснован и определен научный термин для исследуемых объектов. Природный биоминеральный комплекс является элементарной эколого-геологической системой, отличающейся неполнотой компонентов и особенностями состава литотопа и зооценоза, в пределах которой животные потребляют полиминеральные смеси, представляющие собой продукты выветривания различных горных пород, а также воды смешанного генезиса с примесью взвешенных минеральных частиц.

2. Предложена методика изучения эколого-геологических особенностей литоморфных и гидроморфных природных БМ-комплексов, основанная на комплексном анализе полевых и лабораторных данных, отражающих специфические особенности компонентов БМ-комплекса: литотопа, гидротопа и слаборазвитого эдафотопа, фито- и микробиоценоза, а также зооценоза, проявляющего геофагию.

3. В результате проведенного сравнительного анализа веществ, потребляемых животными на природных БМ-комплексах (в пределах различных геологических структур и условий тепло-/влагообеспеченности), установлены их общие признаки:

- в составе потребляемых полиминеральных смесей преобладают минералы с высокими сорбционными и ионообменными свойствами (цеолиты, глинистые минералы), кварц;
- потребляемые минеральные вещества и воды БМ-комплексов отличаются повышенным содержанием биодоступных форм редкоземельных элементов, преимущественно из подгруппы легких (*La, Ce, Pr, Nd, Sm*);
- в потребляемых водах изученных БМ-комплексов установлено повышенное содержание ионов натрия.

4. Экспериментально установлено развитие в полиминеральных смесях нескольких изученных БМ-комплексов сообщества микроорганизмов рода стрептомицетов (*Streptomyces*), а также их приуроченность к минеральным частицам глинистой фракции.

5. Установлены эколого-геологические закономерности формирования изученных БМ-комплексов: образование веществ, привлекающих животных, происходит в процессе физико-химического и биологического выветривания материнских горных пород литотопа и последующего переноса материала, т.е. геологическое строение и климат территории во многом будут определять конечный состав потребляемых животными полиминеральных смесей (цеолит-кварцевый, глинисто-полевошпатовый, глинисто-кварцевый, кварц-полевошпатовый).

***Теоретическая и практическая значимость***

1. Результаты, изложенные в диссертации, представляют интерес для сотрудников Сихотэ-Алинского, Алтайского и Кавказского государственных природных биосферных заповедников, так как позволяют расширить знания в области геологического строения исследованных территорий и эколого-геологических особенностей природных биоминеральных комплексов.
2. Полученные данные могут использоваться специалистами, занимающимися региональными и глобальными вопросами изучения биоминеральных комплексов.
3. Результаты изучения химического состава пород и вод биоминеральных комплексов расширяют банк данных для специалистов экологов.
4. Результаты диссертационного исследования могут быть использованы при разработке лекционных и учебных материалов в рамках направления экологической геологии и геоэкологии.

***Фактический материал и личный вклад автора.***

В работе используются материалы полученные автором в период с 2014 по 2019 год, в ходе самостоятельных полевых и лабораторных исследований.

В полевой сезон 2014 года автор участвовал в экспедиции по Приморскому краю, для исследования БМ-комплексов Восточно-Сихотэ-Алинского вулканического пояса. Работы проводились на территории Сихотэ-Алинского заповедника, где автором были исследованы: Солонцовский БМ-комплекс и Каплановские БМ-комплексы.

В полевой сезон 2015 года автор участвовал в экспедиции в республику Адыгею, для исследования БМ-комплексов Пшекиш-Тырныаузской разломной зоны. Работы проводились на территории Кавказского заповедника, где были исследованы крупнейшие природные биоминеральные комплексы (г. Алоус, г. Атамажи, долина р. Ачипста).

В полевой сезон 2016 года автор провел часть лабораторных исследований образцов горных пород БМ-комплексов Телецкой разломной зоны, отобранных А.М. Паничевым в береговой зоне Телецкого озера. Полевые работы проходили на территории Алтайского заповедника.

В период с 2017 по 2019 год автор провел ряд лабораторных исследований образцов, отобранных С.А. Трепетом и К.В. Бибиной на территории Кавказского заповедника.

Анализ информации, полученной в ходе всех полевых и лабораторных исследований, выполнен автором и послужил основой для данной работы.

***Основные методы исследований.*** Для решения поставленных задач использовались теоретические и экспериментальные методы исследований. В ходе работы автор разработал комплексную методику эколого-геологического исследования природных БМ-комплексов. Методика подробно изложена во второй главе диссертации.

***Основные защищаемые положения:***

1. Природный биоминеральный комплекс (БМ-комплекс) – это элементарная эколого-геологическая система, отличающаяся неполнотой компонентов и особенностями состава литотопа и зооценоза, в пределах которой животные потребляют полиминеральные смеси, представляющие собой продукты выветривания различных горных пород, а также воды смешанного генезиса с примесью взвешенных минеральных частиц.
2. Методика изучения природного биоминерального комплекса должна базироваться на комплексном анализе полевых и лабораторных данных, отражающих специфические особенности его компонентов: литотопа, гидротопа и слаборазвитого эдафотопа, фито- и микробиоценоза, а также зооценоза, проявляющего геофагию.

3. Потребляемые горные породы БМ-комплексов обладают сорбционными и антибактериальными свойствами и разнообразным микроэлементным составом, а также обогащены высокими содержаниями редкоземельных элементов в биодоступной форме.
4. Потребляемые воды изученных БМ-комплексов по типу минерализации относятся к пресным и ультрапресным и характеризуются повышенными содержаниями ионов натрия, микроэлементов и редкоземельных элементов относительно поверхностных вод соответствующих регионов.

***Публикации и апробация работы***

Основные положения работы были ***доложены*** автором в Институте геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского (ГЕОХИ РАН), в лаборатории моделирования гидрохимических и гидротермальных процессов совместно с отделом биогеохимии и экологии, а также ***на конференциях***: Пятнадцатая межвузовская молодежная научная конференция «Школа экологической геологии и рационального недропользования» (СПбГУ, Санкт-Петербург, 2015 г.); Международная научная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Ломоносов» (МГУ, Москва, 2015, 2016 гг.); VII Международная конференция по медицинской геологии «МедГео-2017» (Москва, 2017 г.); «Ломоносовские чтения» (МГУ, Москва, 2018 г.).

Основные идеи и положения работы изложены в 8 научных статьях, в том числе в 6 публикациях в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных для защиты в диссертационном совете МГУ по специальности 25.00.36.

***Степень достоверности работы*** подтверждается квалифицированным рецензированием публикаций, а также полнотой и представительностью литературного и фактического материала, полученного в ходе полевых и лабораторных исследований; применением современных методов геоэкологических и эколого-геологических исследований и их обработкой с помощью современных компьютерных технологий.

***Структура работы***. Диссертационная работа содержит два тома. Том 1 (диссертация) изложен на 168 страницах машинописного текста и состоит из введения, 7 глав, заключения и списка литературы из 181 наименований. Текст Тома 1 содержит 15 таблиц и 77 рисунков. Том 2 (приложения к диссертации) изложен на 112 страницах машинописного текста и состоит из 6 приложений.

Автор выражает ***благодарность*** своим научным руководителям – ***Григорьевой И.Ю.*** и ***Паничеву А.М.*** за идею данной работы, моральную поддержу, ценные советы, внимание и помощь в проведении исследований и написании работы; профессорам кафедры инженерной и экологической геологии ***Трофимову В.Т., Королеву В.А. и Вознесенскому Е.А.,*** кафедры

гидрогеологии – ***Харитоновой Н.А.,*** и сотрудникам кафедры геохимии – ***Яблонской Д.А.*** *и* ***Лубковой Т.Н.*** за внимание, консультации и ряд важнейших замечаний в ходе представления данной работы; всем сотрудникам Сихотэ-Алинского, Алтайского и Кавказского заповедников, в особенности – ***Заумысловой О.Ю. и Трепету С.А.,*** за помощь в организации и проведении полевых исследований; сотрудникам биологического и почвенного факультетов МГУ имени М.В. Ломоносова – ***М.В. Бирюкову и Ю.В. Закалюкиной*** – за помощь в проведении микробиологических исследований; ***Б.Н. Рыженко*** – заместителю директора ГЕОХИ РАН и заведующему лаборатории моделирования гидрохимических и гидротермальных процессов – за ценные советы и замечания по теме исследования.

# СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

## Глава 1. Современные представления о природных биоминеральных комплексах (БМ-комплексах)

В данной главе изложены основные понятийно-терминологические положения в определении термина «природный биоминеральный комплекс» и его аналогов. Проведен обзор научной литературы по теме диссертационной работы: рассмотрена история изучения феномена геофагии различными исследователями и приведены существующие на данный момент гипотезы ее возникновения у диких животных. Также в главе рассмотрены закономерности формирования двух видов природных БМ-комплексов – гидроморфных и литоморфных. Подробно рассмотерено экологичекое значение природных БМ-комплексов в жизни животных, в том числе – влияние минеральных веществ на их организм. Отдельный раздел посвящен роли редкоземельных элементов в функционировании живых организмов и «редкоземельной» гипотезе возникновения геофагии. В заключении главы, в рамках учения об экологических функциях литосферы, природные БМ-комплексы рассматриваются как элементарные неполные эколого-геологические системы.

Исследуемые в работе объекты подразделяются на две категории – литоморфные и гидроморфные. ***Гидроморфные*** комплексы формируются на основе минерализованных источников подземных вод и структурно приурочены к различным разрывным нарушениям. ***Литоморфные*** комплексы могут формироваться по горным породам различного генезиса, и чаще всего, структурно приурочены к вулканическим поясам, либо к областям горных складчатостей. В результате процесса выветривания и цеолитизации материнских пород образуется минеральное вещество, привлекающее животных.

Однозначное научное объяснение причин потребления дикими животными минеральных веществ отсутствует. Однако существует ряд гипотез, часть из которых основывается на дисбалансе химических элементов в организме, например, натрия и калия

(«натриевая» гипотеза) или железа (Abrahams, 1997). Большое количество исследователей придерживается гипотезы, основанной на сорбционной способности потребляемых глинистых минералов (Gilardi, 1999; Mahaney, 1993; Knezevich, 1998). Предполагается их употребление животными для: избавления от паразитов, лечения диареи, а также вывода из организма различных растительных токсинов. Существует также и «микробиологическая» гипотеза геофагии, основанная на высоком содержании мицелиальных прокариот (представителей порядка *Actinomycetales*, продуцирующих две трети всех ныне известных антибиотиков) в почвах. Предлагаются и другие объяснения геофагии, в ряде которых весомое место занимает «редкоземельная» гипотеза, предложенная А.М Паничевым (2016).

Породы природных биоминеральных комплексов, потребляемые животными, могут оказывать как сорбционное действие, так и обогащать организм недостающими химическими элементами. В связи с широким распространением различных биогеохимических эндемий, с особыми наборами избыточных и дефицитных микро- и макроэлементов, возможно, истиной причиной геофагии является поиск животными элементов *редкоземельной группы* и/или определенных видов микроорганизмов, развивающихся на поверхностях потребляемых горных пород БМ-комплексов.

Автором настоящей работы установлено, что природные БМ-комплексы играют важную роль в функционировании природных экосистем, являясь ***элементарной, неполной, природной эколого-геологической системой*** (рис. 1). Рассмотрены их эколого-ресурсная, эколого-геодинамическая, эколого-геохимическая и эколого-геофизическая функции.

## Глава 2. Методика исследований

В главе излагаются основные положения предложенной автором методики исследования природных БМ-комплексов.

Данная методика включает в себя полевой и лабораторный этапы. Полевые исследования проводились по алгоритму, представленному на рисунке 2. Применяемая в данной работе схема лабораторных исследований в зависимости от типа отобранного образца приведена на рисунке 3. Всего было отобрано и проанализировано: в Сихотэ-Алинском заповеднике — 31 образец горных пород, 6 проб воды; в Алтайском заповеднике — 8 образцов горных пород, 4 образца воды; в Кавказском заповеднике — 20 образцов горных пород, 4 пробы воды и 2 пробы растительности. Полный список отобранных образцов и выполненных для них исследований приведен в Приложениях 3 и 4 к диссертации. Обработка и анализ результатов всех полученных данных были выполнены автором, и легли в основу диссертационной работы.

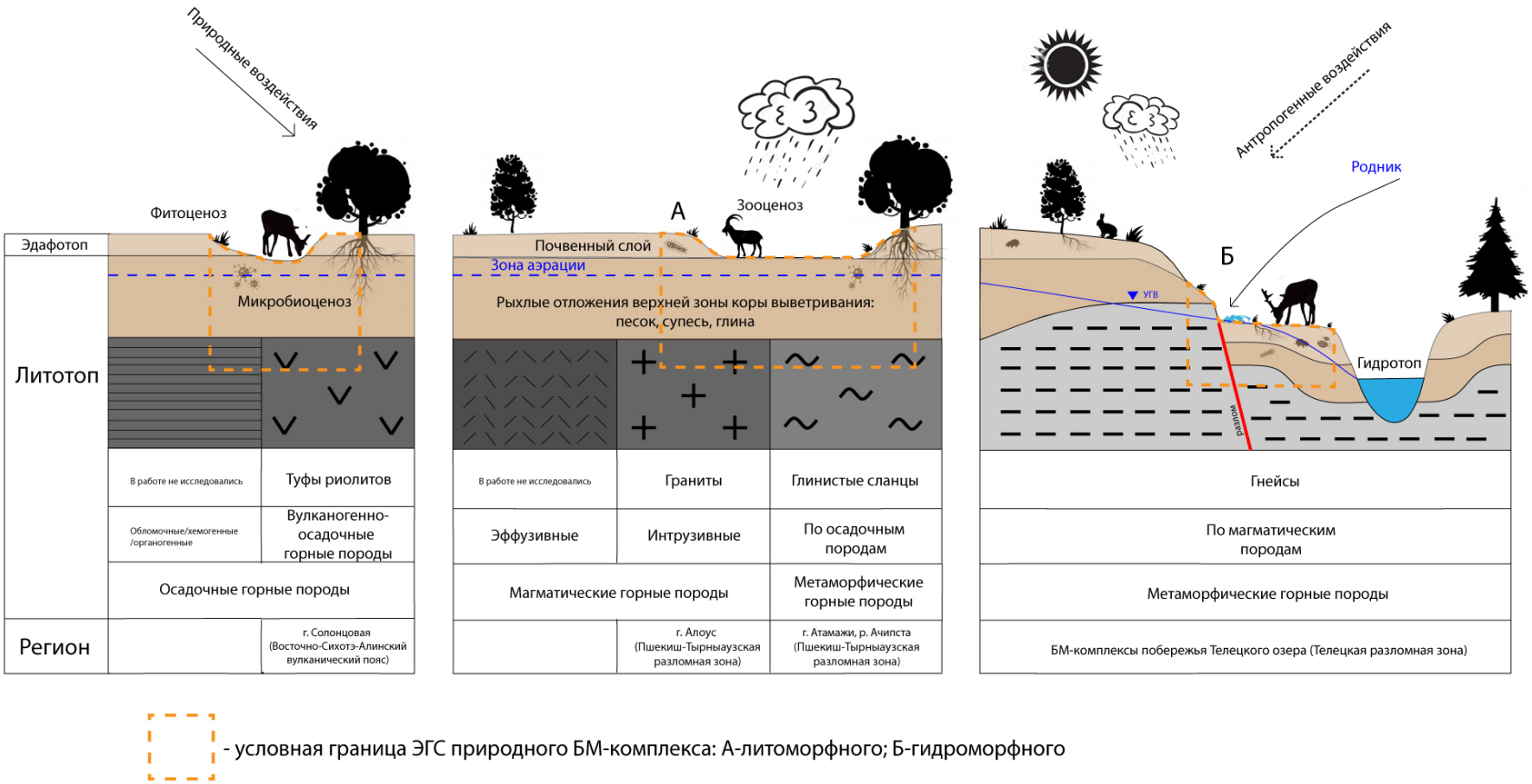


Рисунок 1. Схема строения эколого-геологических систем БМ-комплексов различных регионов

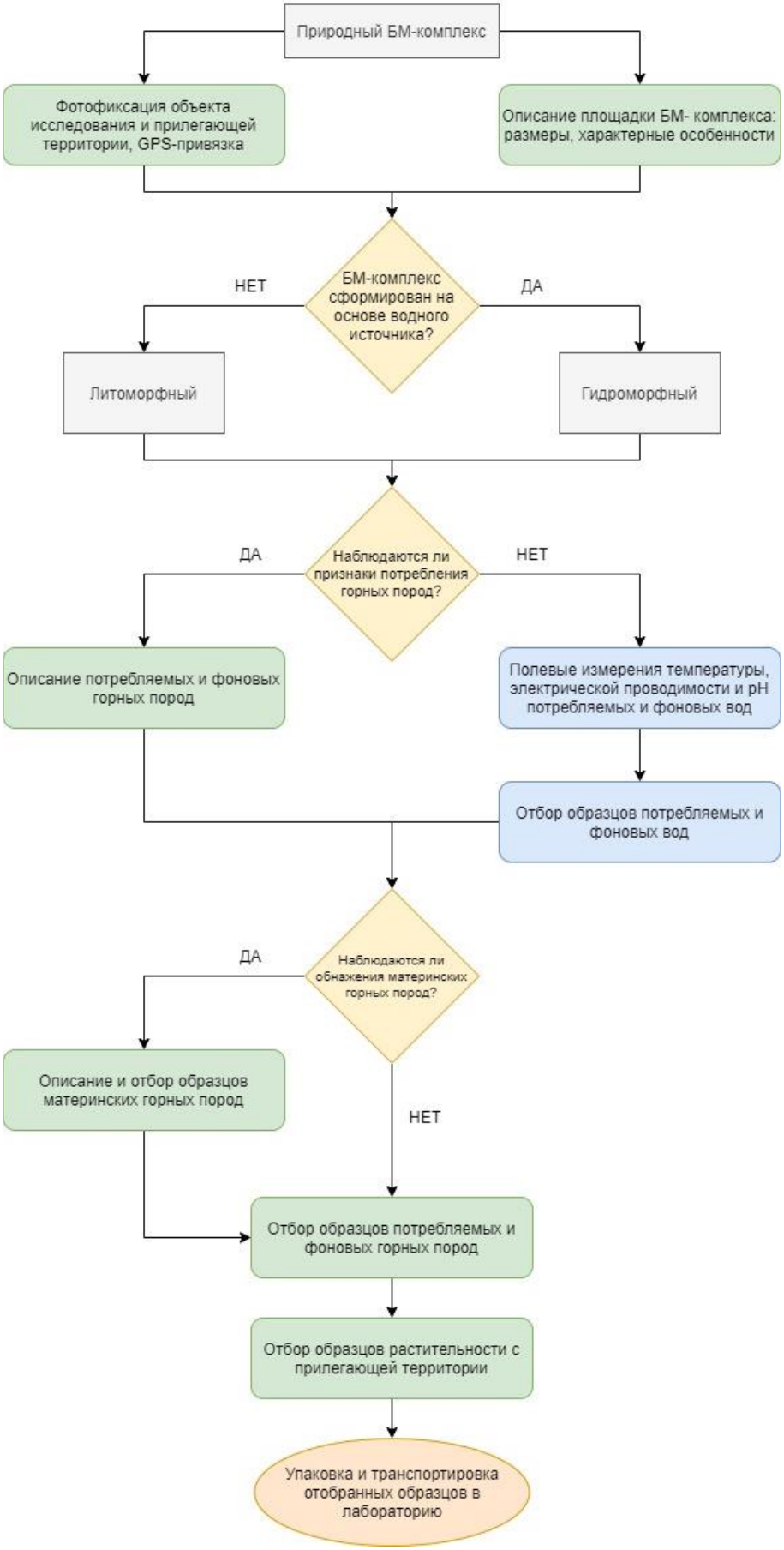


Рисунок 2. Алгоритм методики полевых исследований природных БМ-комплексов

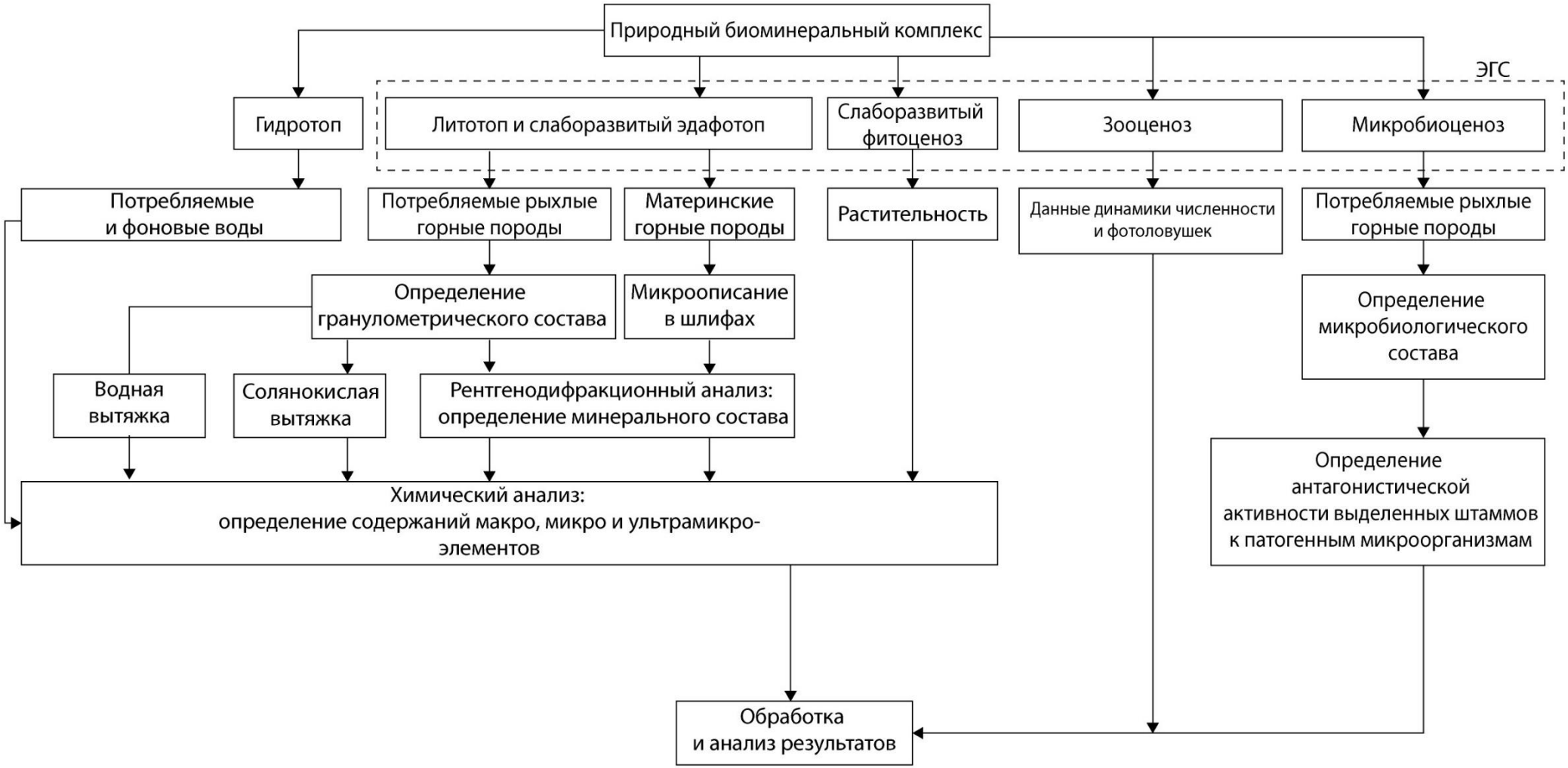


Рисунок 3. Схема методики лабораторных исследований образцов отобранных с БМ-комплексов

Дополнительные исследования ***микробиологического состава*** образцов с г. Алоус (Кавказский биосферный заповедник), проводились в сотрудничестве с кафедрой Микробиологии, Биологического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова, а также с Лабораторией почвенной биологии, кафедры Биологии почв, факультета Почвоведения, МГУ имени М.В. Ломоносова. Изучение химического состава ***фитоценоза*** проведено на оборудовании и при поддержке сотрудников кафедры геохимии, геологического факультета МГУ. Для изучения ***зооценоза*** использовались данные сотрудников заповедников по динамике численности копытных, а также их поведению на БМ-комплексах, полученные в результате маршрутных исследований и материалов с фотоловушек.

Таким образом, предложенная методика изучения эколого-геологических особенностей литоморфных и гидроморфных природных БМ-комплексов, основана на комплексном анализе полевых и лабораторных данных, отражающих специфические особенности компонентов БМ-комплекса: литотопа, гидротопа и слаборазвитого эдафотопа, фито- и микробиоценоза, а также зооценоза, проявляющего геофагию.

## Глава 3. Объекты исследований

В данной главе описаны основные эколого-геологические особенности исследуемых объектов. Для каждого объекта, на основе литературных данных и результатов проведенных автором исследований, детально рассмотрены особенности экотопа (климатопа, гидротопа, эдафотопа и литотопа) и биотопа (фитоценоза, зооценоза, микробиоценоза), соответствующие их местоположению. В результате сравнительного анализа, автором выявлены общие черты, характерные для всех изученных БМ-комплексов.

В качестве объектов исследования в данной работе выступают природные биоминеральные комплексы, расположенные на территории трех геологических структур: Сихотэ-Алинского вулканического пояса, Телецкой разломной зоны и Пшекиш-Тырныаузской разломной зоны. Среди исследованных БМ-комплексов присутствуют, как литоморфные, так и гидроморфные их разновидности. Литоморфные БМ-комплексы представлены в виде сухих обнажений рыхлых горных пород (иногда слабо сцементированных) с участием тонкодисперсных фракций с характерными выеденными и вылизанными животными нишами.

Гидроморфные БМ-комплексы представляют собой обводненные площадки, питаемые подземными источниками и атмосферными осадками, в некоторых местах наблюдаются «грязевые ванны». Животные потребляют здесь воду, а также водонасыщенные глинистые породы (рис. 4).

Рисунок 4. Потребление пород БМ-комплексов копытными: А - Горные туры на литоморфном биоминеральном комплексе. Юго-западный склон г. Алоус (2015 г.); Б - Олени и лоси на Большом Каплановском БМ-комплексе. Автоматическая фотокамера одновременно зафиксировала 14 благородных оленей и 3 лося.

***Сравнительный анализ эколого-геологических особенностей*** природных биоминеральных комплексов в пределах трех исследуемых территорий, позволил выделить их ***общие черты***:

- Пространственная локализация гидроморфных и некоторых литоморфных БМ-комплексов связана с тектоническим строением территории. Большинство литоморфных БМ-комплексов образовано на корах выветривания материнских горных пород с маломощным почвенным покровом. Большинство гидроморфных БМ-комплексов приурочено к зонам разрывных нарушений.
- Поверхностные воды рек и озер, используемые животными в качестве источника питья, характеризуются пониженными значениями минерализации – ультрапресные и пресные.
- Почвенный покров представлен преимущественно бурыми горно-лесными почвами, однако, в результате деятельности копытных животных и притока подземных вод (на гидроморфных комплексах) – почвенный слой на площадках БМ-комплексов практически отсутствует.
- Климатические условия районов способствует активному протеканию процессов выветривания горных пород, в ходе которого образуются минеральные вещества, привлекающие животных.
- В пределах исследуемых территорий произрастают различные виды растительных сообществ, однако, из-за активной деятельности животных и притока подземных вод, непосредственно на площадках потребления растительность, как правило, отсутствует.

- Исследуемые природные БМ-комплексы посещают преимущественно дикие копытные животные — олени (*Cervus elaphus*), лоси (*Alces alces*), горные козлы *(Capra Caucasica)* и зубры *(Bison bonasus caucasicus).*

# Глава 4. Особенности состава природных биоминеральных комплексов эколого-геологических систем Восточно-Сихотэ-Алинского вулканического пояса

В данной главе приведены результаты исследований горных пород и природных вод, отобранных на площадках БМ-комплексов, исследованных автором на территории Сихотэ-Алинского заповедника. Установлены эколого-геологические закономерности формирования БМ-комплексов.

***Литоморфные*** БМ-комплексы формируются вследствие выветривания по цеолитизированным вулканическим и вулканогенно-осадочным породам риолитового, трахитового и дацитового составов, являющимися продуктами бимодального вулканизма в пределах вулканических кальдер кайнозойского возраста.

Породы, потребляемые животными на литоморфном БМ-комплексе в пределах Сихотэ-Алинского заповедника, представляют собой цеолитизированные (содержание клиноптилолита 54%) туфы риолитового состава (рис. 6А). На гидроморфных БМ-комплексах - глинистые образования, состоящие преимущественно из смектитов и оксидов кремния, а также из цеолит-смектитовых ассоциаций с примесью кварца и полевых шпатов.

Исследованные образцы горных пород отличаются высокими содержаниями микро-и ультрамикроэлементов. Из потребляемых пород наиболее активно переходят в раствор (кислотную вытяжку, моделирующую условия пищеварения жвачных млекопитающих) кальций (от 30 до 50% от валовых содержаний), натрий (около 25%), магний (около 10%) и марганец (от 5 до 30%). В составе микроэлементов наиболее подвижны *Be, Co, Sr, Cd* и *Pb*. В составе редкоземельных элементов (РЗЭ) наиболее подвижными оказались элементы из подгруппы легких (*La, Ce, Pr, Nd, Sm*), а также *Gd, Tb, Y* и *Sc*.

Также стоит отметить, что в сычуге жвачных животных кислотное (*HCl,* pH=1) воздействие на потребляемые породы при соотношении порода/кислый раствор как 1/10 концентрация РЗЭ в растворе достигает значений, превышающих их содержание в природных водах региона в десятки и сотни раз.

***Гидроморфные*** комплексы формируются при выходе на поверхность подземных вод, обогащенных натрием и рядом других макро- и микроэлементов, которые накапливаются на геохимических барьерах, и привлекают растительноядных копытных животных. Прослеживается их связь с разрывной тектоникой района, что подтверждается повышенной

минерализацией опробованных источников, а также анализом сведений о геологическом строении данной территории.

Изученные воды, потребляемые животными на гидроморфных БМ-комплексах, относятся к гидрокарбонатно-натриевому и гидрокарбонатно-кальций-магний-натриевому типу.

Установлено также, что состав микроэлементов в данных водах может существенно изменяться в зависимости от года и сезона. При этом в составе микроэлементов наиболее подвержены изменчивости показатели по *Al, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Ba, Sr*, а также – по составу некоторых редких элементов и лантаноидов.

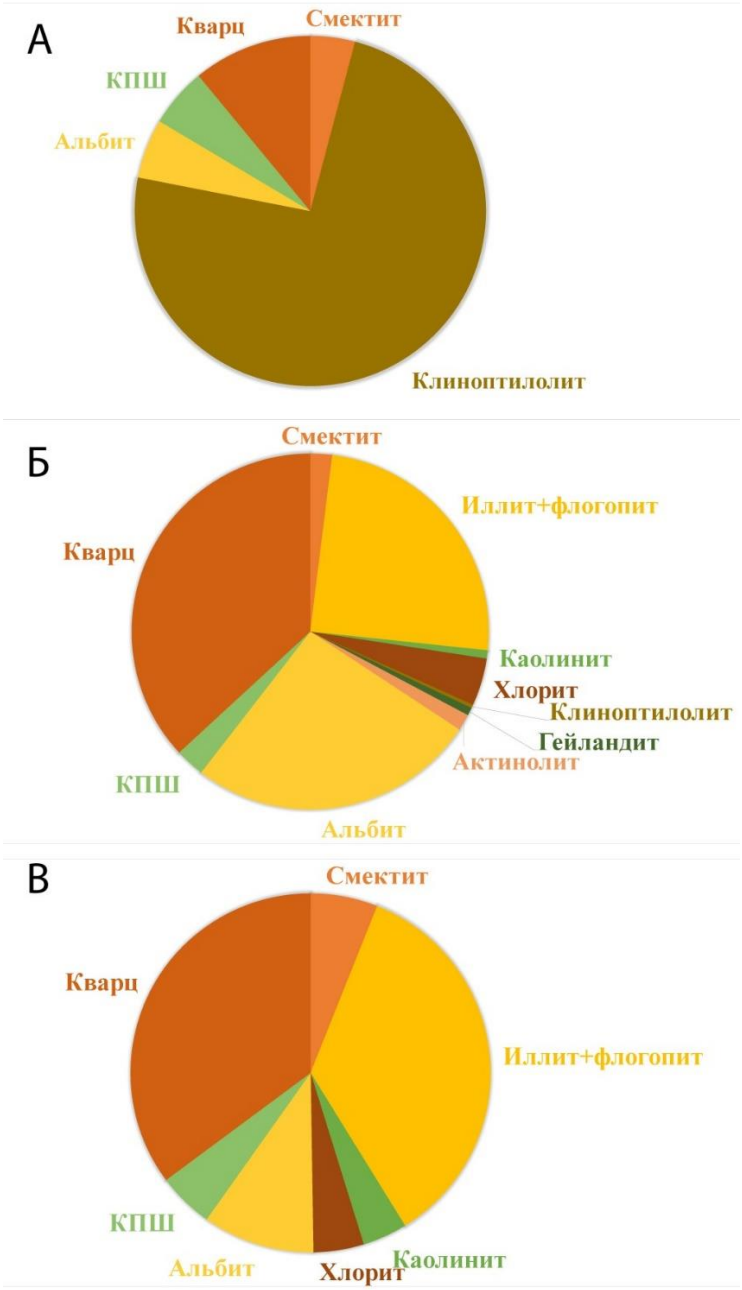


Рисунок 6. Средние значения минерального состава потребляемых пород литоморфных БМ-комплексов: А – Сихотэ-Алинь; Б – Алтай; В – Кавказ

## Глава 5. Особенности состава природных биоминеральных комплексов эколого-геологических систем Телецкой разломной зоны

В данной главе приведены результаты исследований горных пород и природных вод, отобранных на площадках БМ-комплексов, на территории Алтайского заповедника. Установлены эколого-геологические закономерности формирования БМ-комплексов.

***Литоморфные*** БМ-комплексы формируются среди рыхлых береговых отложений, представленных главным образом илисто-глинистыми образованиями, часто с включениями щебнистой фракции. Данные отложения формируются вследствие выветривания и переноса материнских горных пород, представленных, в основном, гнейсами и сланцами.

В данном районе породы БМ-комплексов представлены преимущественно тонкодисперсными образованиями илисто-глинистой размерности (рис. 6Б), состоящие от 20 до 43 вес. % из частиц кварца, от 15 до 32% из частиц полевых шпатов, преимущественно альбита, и от 25 до 55% – из слюдистых, глинистых минералов и хлоритов, которые являются продуктами преобразования метаморфических сланцев в результате истирающего воздействия ледника и эолового привноса, а также последующего их водного отложения и затем выветривания в субаэральных условиях.

***Гидроморфные*** БМ-комплексы в районе береговой зоны Телецкого озера, связаны с разрывной тектоникой, что подтверждается повышенной минерализацией опробованных источников, а также геологической информацией.

Потребляемые воды гидроморфных БМ-комплексов слабоминерализованные, гидрокарбонатно-хлоридно-натриевые и гидрокарбонатно-сульфатно-кальциевые. Вторая разновидность потребляемых вод отличается существенно повышенными содержаниями РЗЭ (рис. 7).

Кислотные вытяжки из потребляемых пород наиболее активно экстрагируют кальций (от 10 до 35% от валовых содержаний). Натрий экстрагируется на уровне 1–3%. В составе микроэлементов наиболее подвижны *Cu, Be, Sr, Co, Cd, Pb*, а также *Y* и *Sc* и РЗЭ. Переход их в растворенную форму колеблется около 10% от валовых содержаний. При этом концентрация РЗЭ, переходящих в растворимое состояние, в тысячи раз превышает содержания таких элементов в воде Телецкого озера.

## Глава 6. Особенности состава природных биоминеральных комплексов эколого-геологических систем Пшекиш-Тырныаузской разломной зоны

В данной главе приведены результаты исследований горных пород и природных вод, отобранных на площадках БМ-комплексов, исследованных автором на территории

Кавказского заповедника. Установлены эколого-геологические закономерности формирования БМ-комплексов.

***Литоморфные*** БМ-комплексы формируются в процессе физико-химического и биологического выветривания горных пород на высокогорных склонах. Потребляемые животными породы представляют собой дисперсные отложения, с минеральным составом характерным для кор выветривания (кварц, глинистые минералы, полевой шпат). Суммарное содержание глинистых минералов (иллит, смектит, каолинит) в некоторых образцах достигает 75%, содержание кварца - 30% (рис.6В).

Состав породообразующих оксидов в выветрелых породах гор Алоус и Атамажи однообразен. Однако некоторые особенности обнаруживаются в их микроэлементном составе: некоторые из них по содержанию превышают кларковые значения (*Zn, Rb, Cd, Sn, Cs, Pb*). Для элементов *Cr, Co, Ni, Cu, Sr*, наоборот, наблюдаются пониженные значения кларков концентраций.

В отношении микро- и ультрамикроэлементов, по сравнению с другими, наиболее ярко себя проявляют редкоземельные элементы. Однако установить однозначную закономерность по исследованным образцам в настоящее время не представляется возможным.

Результаты проведенных дополнительных микробиологических исследований показали наличие в потребляемых породах стрептомицетов (*Streptomyces*) и их численную приуроченность к более мелкой фракции отобранных образцов. Результаты проведенных экспериментов могут служить основанием для развития микробиологической гипотезы геофагии, заключающейся в том, что благодаря стрептомицетам, породы БМ-комплексов обладают антипаразитарным и антидиарейным эффектом.

***Гидроморфные*** комплексы, вероятно, приурочены к крупному глубинному разлому, вдоль которого заложена долина реки Ачипста. Породы гидроморфных БМ-комплексов здесь представляют собой водонасыщенные суглинки, реже супеси, в минеральном составе которых преобладают такие минералы, как кварц и иллит. В породах отмечено высокое содержание альбита, который легко поддается выветриванию с высвобождением натрия, что также характерно для ранее изученных пород в Сихотэ-Алинском и Алтайском заповедниках. Потребляемые воды БМ-комплексов имеют повышенные значения минерализации, по сравнению с водой реки (в 17-20 раз более минерализованные), а также отличаются повышенными содержаниями микро- и ультрамикроэлементами в концентрациях в 20-60 раз превышающих значения для речной воды (рис. 7).

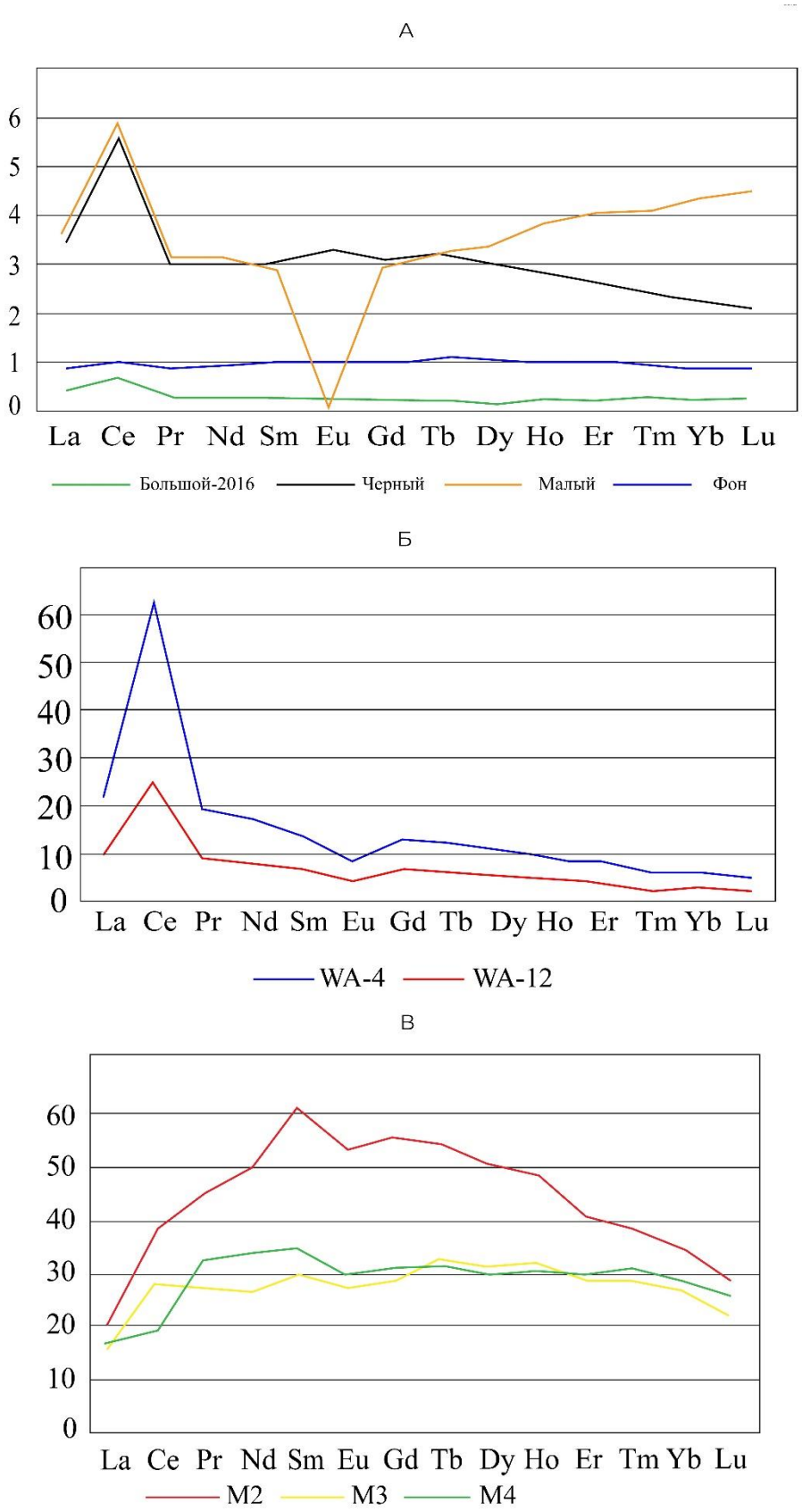


Рисунок 7. Соотношение редкоземельных элементов в водных пробах гидроморфных БМ-комплексов, нормированные к поверхностным водам изученных регионов: А – Сихотэ-Алинь; Б – Алтай; В – Кавказ

# Глава 7. Систематизация и сравнительный анализ изученных природных биоминеральных комплексов

Кратко рассмотрены существующие классификации БМ-комплексов; приведены результаты обработки полученных данных по составу потребляемых горных пород и вод природных БМ-комплексов, на основании которых, с помощью сравнительного анализа выбраны признаки-основания и произведено эколого-геологическое классифицирование.

В результате детального изучения состава горных пород и природных вод, исследуемых БМ-комплексов были выявлены их ***общие признаки***:

- повышенное содержание биодоступных форм редкоземельных элементов в потребляемых горных породах и водах БМ-комплексов;
- повышенное содержание ионов натрия в потребляемых водах БМ-комплексов;
- преобладание в составе потребляемых горных пород минералов с высокими сорбционными свойствами: цеолиты, глинистые минералы. Наибольшей сорбционной способностью отличаются породы вулканических областей (Восточно-Сихотэ-Алинский вулканический пояс).

Установлены эколого-геологические закономерности формирования комплексов: образование веществ, привлекающих животных, происходит в процессе физико-химического и биологического выветривания материнских горных пород литотопа и последующего переноса материала, т.е. геологическое строение и климат территории во многом будут определять конечный состав потребляемых животными полиминеральных смесей (цеолит-кварцевый, глинисто-полевошпатовый, глинисто-кварцевый, кварц-полевошпатовый).

Природные БМ-комплексы, как особые эколого-геологические системы, являются сложным, и многокомпонентным объектом изучения. На данном этапе исследований составление целостной эколого-геологической классификации природных биоминеральных комплексов затруднено относительно небольшой выборкой опробованных объектов и исследованных образцов. Автором была разработана эколого-геологическая систематизация БМ-комплексов (таблица 1), в основу которой было положено их подразделение по характеристикам литотопа. Данная систематизация может служить основой для составления более полной эколого-геологической классификации природных биоминеральных комплексов при условии накопления фактических данных в дальнейшем.

Эколого-геологическая систематизация изученных природных БМ-комплексов Таблица 1

| Экологическая характеристика / Геологическая характеристика | **Литоморфные** | | | | **Гидроморфные** | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Осадочные породы | Магматические породы | Метаморфические породы | | Осадочные породы | Магматические породы | Метаморфические породы | |
| | Вулканогенно-осадочные | Интрузивные | По осадочным | По магматическим | Вулканогенно-осадочные | Интрузивные | По осадочным | По магматическим |
| | Цеолитизированные риолитовые туфы | Граниты | Глинистые сланцы | Гнейсы | Цеолитизированные риолитовые туфы | Граниты | Глинистые сланцы | Гнейсы |
| | Цеолит-кварцевые | Глинисто-полевошпатовые | Глинисто-кварцевые | Кварц-полевошпатовые | Глинисто-полевошпатовые | | Глинисто-кварцевые | |
| Высокая сорбционная активность | ВСА (Солонцовский БМ-комплекс) Цеолиты (54); кварц (8); ПШ (8); глин. минер. (3) | ПТРЗ (БМ-комплексы г. Алоус) Глин. минер (55); ПШ (19); кварц (17) | ПТРЗ (БМ-комплексы г. Атамажи) Глин. минер (49); кварц (27); ПШ (12) | ТРЗ Кварц (37); ПШ (29); глин. минер. (28); цеолиты (2) | ВСА (Верхнеколумбинский и Верхний Капланов БМ-комплексы) Глин. минер (41); ПШ (27); кварц (24); цеолиты (7) | | ПТРЗ (БМ-комплексы долины р. Ачипста) Глин. минер. (45); кварц (35); ПШ (14) | |
| С повышенными содержаниями биодоступных РЗЭ | | | | ТРЗ в 10000-45000 раз выше фона* | ВСА (Верхнеколумбинский БМ-комплекс) 10-500 раз выше фона* ВСА (Малый и Черный БМ-комплексы) в 3-5 раз выше фона** | | ПТРЗ (БМ-комплексы долины р. Ачипста) в 20-60 раз выше фона** | ТРЗ в 20-60 раз выше фона** |
| Присутствуют бактерии рода *Streptomyces* | | ПТРЗ (БМ-комплексы г. Алоус) 3-9 % (доля в прокариотном комплексе) | | | | | | |
| Повышенные содержания ионов *Na* (при конц. *Na* в фоновых водах = 0,7-3 мг/л) | | | | | ВСА (Большой и Малый Капланов БМ-комплексы) 71-204 мг/л | | ПТРЗ (БМ-комплексы долины р. Ачипста) 55-223 мг/л | ТРЗ 7,3-64 мг/л |

**ВСА -** Восточно-Сихотэ-Алинский вулканический пояс

**ПТРЗ -** Пшекиш-Тырныаузская разломная зона

**ТРЗ -** Телецкая разломная зона

*Содержание РЗЭ в кислотных вытяжках по потребляемым породам, норм. к поверхн. водам

** Содержание РЗЭ в природных водах, нормированных к поверхностным водам региона

## Основные выводы

В настоящей работе изучены эколого-геологические особенности природных биоминеральных комплексов, расположенных в пределах различных геологических структур: Восточно-Сихотэ-Алинского вулканического пояса (Дальний Восток), Телецкой разломной зоны (Алтай) и Пшекиш-Тырныаузской разломной зоны (Западный Кавказ). Основные результаты проведенных исследований состоят в следующем:

1. Введен, обоснован и определен научный термин для исследуемых объектов. ***Природный биоминеральный комплекс*** является элементарной эколого-геологической системой, отличающейся неполнотой компонентов и особенностями состава литотопа и зооценоза, в пределах которой животные потребляют полиминеральные смеси, представляющие собой продукты выветривания различных горных пород, а также воды смешанного генезиса с примесью взвешенных минеральных частиц.
2. Природные БМ-комплексы определены как эколого-геологические системы, а также описаны их эколого-ресурсные, эколого-геодинамические, эколого-геохимические и эколого-геофизические особенности.
3. Предложена методика для комплексного изучения эколого-геологических особенностей литоморфных и гидроморфных природных БМ-комплексов. Особенностью данной методики является комплексный анализ полевых и лабораторных данных, отражающих специфические особенности компонентов БМ-комплекса: литотопа, гидротопа и слаборазвитого эдафотопа, фито- и микробиоценоза, а также зооценоза, проявляющего геофагию.
4. Проведен сравнительный анализ эколого-геологических особенностей природных биоминеральных комплексов и выделены их общие черты.
5. Детально изучен состав горных пород и природных вод, исследуемых БМ-комплексов.
6. Установлены эколого-геологические закономерности формирования природных биоминеральных комплексов.
7. Разработана эколого-геологическая систематизация изученных природных БМ-комплексов.

**Статьи в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных для защиты в диссертационном совете МГУ по специальности 25.00.36:**

1. Panichev A. M., Trepet S. A., Chekryzhov I. Y., Seryodkin I. V., Vakh E. A., Makarevich R. A, Eskina T. G., Bibina K. V., Stolyarova (Podchasova) T. A., Mitina E. I., Ivanov V. V., Ostapenko D. S., Kholodov K. S., Golokhvast A. S. A study of kudurs used by wild animals located on the water sources high in REE content in the Caucasus Nature Reserve. // Environ Geochem Health, 2021. – Vol. 43. – P. 91–112. doi:10.1007/s10653-020-00670-8 Импакт-фактор Scopus (2020): 4,609. Объем публикации: 2,4 п.л., объем вклада соискателя: 0,2 п.л.

2. Panichev A. M., Seryodkin I. V., Popov V. K., Chekryzhov I. Yu, Makarevich R. A., Lutsenko T., Stolyarova (Podchasova) T. A.,. Sergievich A. A, Khoroshikh P., Maksimova D., Petrunenko Y. Zeolite containing rocks of kudurs and reasons of geophagy within the territory of Sikhote-Alin Nature Zapovednik, Far East of Russia. // Arabian Journal of Geosciences. 2020. – Vol. 13. – Is. 147. doi:10.1007/s12517-020-5174-6 Импакт-фактор Scopus (2020): 1.827. Объем публикации: 2 п.л., объем вклада соискателя: 0,1 п.л.
3. Panichev A. M., Seryodkin I. V., Zaumyslova O. Yu, Wach E. A., Stolyarova (Podchasova) T. A., Sergievich A. A., Popov V. K., Chekryzhov I. Yu, Blokhin M. G., Khoroshikh P.P. Results of geological and geochemical investigations of Kaplanov kudurs in Sikhote-Alin, Russian Far East. // Arabian Journal of Geosciences. 2018. – Vol. 11. – Is. 493. doi:10.1007/s12517-018-3820-z Импакт-фактор Scopus (2020): 1.827. Объем публ.: 1,6 п.л., объем вклада соискателя: 0,1 п.л.
4. Panichev A. M., Seryodkin I. V., Kalinkin Y. N., Makarevich R. A., Stolyarova (Podchasova) T. A., Sergievich A. A., Khoroshikh P. P. Development of the “rare-earth” hypothesis to explain the reasons of geophagy in Teletskoye lake are kudurs (Gorny Altai, Russia). // Environmental Geochemistry and Health, 2018. – Vol. 40. – Is. 4. – P. 1299-1316. doi:10.1007/s10653-017-0056-x Импакт-фактор Scopus (2020): 4,609. Объем публ.: 2 п.л., объем вклада соискателя: 0,4 п.л.
5. Panichev A. M., Chekryzhov I. Yu, Stolyarova (Podchasova) T. A., Mitina E. I., Trepet S. A., Sergievich A. A., Khoroshikh P. P. Results of mineralogical–geochemical researches of two high-mountain kudurs within territory of Caucasus. // Environmental Earth Sciences. 2017. – Vol. 76. – Is. 749. doi:10.1007/s12665-017-7012-z Импакт-фактор Scopus (2020): 2.784 (2020). Объем публикации: 1,4 п.л., объем вклада соискателя: 1 п.л.
6. Panichev A. M., Popov V. K., Chekryzhov I. Y., Seryodkin I.V., Stolyarova (Podchasova) T.A., Zakusin S.V., Sergievich A.A., Khoroshikh P.P. Rare earth elements upon assessment of reasons of the geophagy in Sikhote-Alin region (Russian Federation), Africa and other world regions. // Environmental Geochemistry and Health. 2016. – Vol.38. – Is. 6. – P.1255-1270. doi:10.1007/s10653-015-9788-7 Импакт-фактор Scopus (2020): 4,609. Объем публикации: 1,7 п.л., объем вклада соискателя: 0,7 п.л.

**Статьи в других изданиях:**

7. **Подчасова Т. А.**, Закалюкина Ю. В., Бирюков М. В., Григорьева И. Ю. Влияние состава горных пород природных биоминеральных комплексов Кавказского биосферного заповедника на их антибактериальные свойства. // Международный научно-исследовательский журнал. Intern. research journal, 2020. – Т.1. – № 4 (94). – С. 83-95. doi: 10.23670/IRJ.2020.94.4.013 Импакт-фактор РИНЦ: 0,248. Объем публикации: 1,4 п.л., объем вклада соискателя: 1 п.л.
8. Григорьева И. Ю., Трепет С. А., Митина Е. И., **Столярова (Подчасова) Т. А.** Природные биоминеральные комплексы гор Атамажи и Алоус как объекты проявления геофагии копытных на территории Кавказского заповедника / Сов. проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северного Кавказа. / Под ред. И.А. Керимова, В.Б. Заалишвили, В.И. Черкашина, гл. 8, с. 402–413. ИИЕТ РАН М.: 2018. Объем публикации: 0,1 п.л., объем вклада соискателя: 0,05 п.л.

**Иные публикации по теме исследования:**

9. Керимов И. А., Заалишвили В. Б., Черкашин В. И. …**Столярова (Подчасова) Т.А**., Григорьева И.Ю., и др. Современные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северного Кавказа, Том VIII, Коллективная монография под редакцией Керимова И.А., Заалишвили В.Б., Черкашина В.И / — ИИЕТ РАН Москва, 2018. — 547 с.
10. **Столярова (Подчасова) Т.А.,** Григорьева И.Ю. Геофагия. Эколого-геологические аспекты // Материалы Двенадцатой межвузовской молодежной научной конференции "Школа экологической геологии и рационального недропользования" (1-4 июня 2012 года). — Санкт-Петербург, 2012. – С. 276.

11. **Столярова (Подчасова) Т.А.** Особенности строения биоминеральных природных комплексов в горах Сихотэ-Алиня // Материалы шестой межвузовской конференции по итогам практик «МКИП-2014». – Москва, 2014. – С. 96.
12. **Столярова (Подчасова) Т.А.**, Митина Е. И., Григорьева И. Ю. Паничев, А. М. // Природные биоминеральные комплексы Сихотэ-
Алиня и их экологическая роль (на примере г. Солонцовая) // Материалы Пятнадцатой межвузовской молодежной научной конференции Школа экологической геологии и рационального недропользования (1-4 июня 2015 года). — Санкт-Петербург, 2015. — С. 248–249.
13. **Столярова (Подчасова) Т.А**. Гастролиты диких птиц Дальнего Востока России // XXII Международная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых Ломоносов-2015. — МАКС Пресс Москва, 2015. Режим доступа: https://lomonosov-msu.ru/archive/Lomonosov_2015/index.htm (08.09.21)
14. **Столярова (Подчасова Т.А.)** Гастролитная литофагия в жизни диких птиц Дальнего Востока России // Материалы Четырнадцатой всероссийской научно-практической конференции Студенческого Научного Общества Современные исследования в геологии. — Санкт-Петербург, 2015. — С.44.
15. **Столярова (Подчасова Т.А.)** Особенности состава и строения природных биоминеральных комплексов Сихотэ-Алиня // Материалы Международного молодежного научного форума ЛОМОНОСОВ-2016 / Отв. ред. И.А. Алешковский, А.В. Андриянов, Е.А. Антипов. — Геология. — МАКС Пресс Москва М, 2016. Режим доступа: https://lomonosov-msu.ru/archive/Lomonosov_2016/index.htm (08.09.21)
16. **Stoliarova (Podchasova) T. A.,** Mitina E. I., Grigorieva I. Y. Comparative chemical analisis and mineralogy of the soils eaten by ungulates in sikhote-alin and caucasus mountains // 7th International Conference on Medical Geology (MedGeo 2017). Conference Materials, 28 August - 01 September 2017. — Vol. 1. — Publishing House of I.M. Sechenov First MSMU Moscow, Russia, 2017. — P. 55–55.