

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное
учреждение науки

**БАЙКАЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ
СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
(БИП СО РАН)**

ул. Сахьяновой, д. 6, г. Улан-Удэ
Республика Бурятия, 670047
Телефон (301-2) 43-36-76, 43-33-80
Факс: (301-2) 43-47-53, 43-11-40
E-mail: info@binm.ru
<http://www.binm.ru>
ОКПО 26748641 ОГРН 1020300904007
ИНН/КПП 0323050947/032301001

15.01.2025 № 273-01/03-28-10

На № _____ от _____

УТВЕРЖДАЮ:
Директор БИП СО РАН
чл.-корр. РАН

Е.Ж. Гармаев



ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертацию Полетаевой Веры Игоревны

«Геоэкологическая оценка сопряженных сред «вода – донные отложения» и геохимический отклик крупной водной системы на антропогенное воздействие (р. Ангара и каскад ее водохранилищ)», представленную на соискание ученой степени доктора геолого-минералогических наук по специальности 1.6.21 – Геоэкология

Представленная на рассмотрение диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы, включающего 358 наименований, и двух приложений. Общий объем работы составляет 279 страниц, в том числе 53 рисунка и 53 таблицы.

Актуальность темы исследования

Актуальность работы определена глобальной трансформацией геохимических циклов элементов в биосфере в период антропогенеза. Исследование пространственно-временных закономерностей эволюции существующих и вновь образованных природно-антропогенных водных экосистем в созданных человеком водоемах – водохранилищах, негативные преобразования в которых определяются как самим зарегулированием реки и связанными с ним изменениями гидрологического, гидрохимического, биологического и др. режимов водоема, так и дополнительным привнесом элементов антропогенного происхождения с территорий промышленных зон, расположенных на их побережье,

является важным как с научной, так и практической точек зрения. Последствия таких преобразований невозможно определить с помощью разового отбора проб, а требуют проведения долговременных наблюдений с выделением источников поступления элементов и их межгодовых изменений, определения и детального анализа факторов, влияющих на геохимические циклы элементов. Только на основе таких исследований можно выработать научно-обоснованные стратегии для предотвращения деградации водных экосистем. Изучение изменений жизнеобеспечивающих ресурсов геосферных оболочек Земли под влиянием природных и антропогенных факторов, их охрана, рациональное использование и контроль с целью сохранения для человека продуктивной природной среды является одним из приоритетных направлений экологической политики РФ. В данном контексте не вызывает сомнений актуальность научных исследований, проведенных на крупнейшей пресноводной реке России – р. Ангаре, гидрологический режим которой коренным образом изменен после создания на ней каскада водохранилищ. Кроме того, расположенные на ее побережье крупные промышленные агломерации значительно усугубляют антропогенное воздействие на состояние уникальной пресноводной Ангарской системы.

Цель работы заключается в выявлении закономерностей, определяющих функционирование крупной природно-антропогенной водной системы (р. Ангары и каскада ее водохранилищ), и основных факторов, обуславливающих геохимические циклы элементов в период антропогенеза.

Научная новизна диссертационной работы

Впервые осуществлено комплексное изучение химического состава сопряженных сред «водная толща – поровая вода – донные отложения» на взаимосвязанных между собой водоемах единой пресноводной Ангарской системы (исток р. Ангары, Иркутском, Братском, Усть-Илимском и Богучанском водохранилищах). Фундаментальным звеном при этом является огромный фактический материал, полученный в разных по функционалу антропогенной нагрузки водоемах (общей протяженностью более 1300 км). Исследования, проведенные на взаимосвязанных между собой водоемах, позволили оценить трансформацию гидрохимического состава р. Ангары после стока из оз. Байкал с учетом воздействия на нее природных и антропогенных источников. Комплексное изучение сопряженных сред позволило установить основные факторы, влияющие на формирование и трансформацию геосферных циклов элементов в созданной человеком крупной пресноводной экосистеме. К наиболее значимым из них относится выделение роли седиментационных геохимических барьеров в миграции элементов антропогенного

происхождения и процессов самоочищения водных экосистем. Полученные впервые на современном научно-методическом уровне результаты позволяют по-новому взглянуть на процессы, проходящие в водных экосистемах в период антропогенеза.

Теоретическая и практическая значимость диссертационной работы

Теоретическое значение результатов исследования связано с углублением знаний в области геоэкологии водных экосистем. Используемый автором в работе системный подход, ориентированный на раскрытие индивидуальности водных объектов, имеющих единое происхождение, послужит методологической основой для геоэкологических исследований, направленных на понимание механизмов эволюции и устойчивости геосферных циклов элементов в природно-антропогенных ландшафтах.

Практическое значение результатов исследования, в первую очередь, связано с оценкой эколого-геохимического состояния и степени загрязнения Ангарской водной системы, которая уникальна за счет природных особенностей ее формирования, но в тоже время находится под значительным антропогенным прессом. Научно-обоснована возможность использования результатов гидрохимических исследований истока р. Ангары в качестве индикаторных геохимических критериев (нормативов качества вод), позволяющих достоверно оценить антропогенное воздействие на водоемы Ангарской системы.

Достоверность результатов исследований обеспечена обширным фактическим материалом (в период с 1998 по 2022 г.г.), полученным при непосредственном участии автора диссертации, который позволил обоснованно подойти к изучению геохимических циклов элементов. Химический анализ образцов поверхностных, глубинных и придонных вод, поровых вод и донных отложений осуществлен по аттестованным методикам в аналитическом отделе ИГХ СО РАН, аккредитованном на техническую компетентность в национальной системе аккредитации.

Личный вклад Полетаевой В.И. определен участием в экспедиционных работах, постановкой цели, формулированием задач и разработкой концепции работы, выбором методик исследования и способов интерпретации полученных результатов. Результаты работ прошли всестороннюю апробацию на всероссийских и международных совещаниях, симпозиумах и конференциях. Всего по теме диссертации было опубликовано 110 научных трудов. К основным публикациям относится 32 статьи в рецензируемых изданиях из перечня ВАК и баз цитирования WoS и Scopus.

Во **введении** автор описывает актуальность проблемы, ставит цель и задачи, выделяет объекты и методы исследования, новизну работы, теоретическое значение

результатов исследования, предлагает практическое применение полученных результатов, выносит на защиту положения, обозначает достоверность, апробацию и личный вклад.

В **главе 1** «Основные характеристики и условия формирования р. Ангары и каскада ее водохранилищ» подробно описываются природные условия формирования и приводятся основные гидрологические характеристики истока р. Ангары, Иркутского, Братского, Усть-Илимского и Богучанского водохранилища. Особое внимание уделяется основным антропогенным источникам, потенциально влияющим на эколого-геохимическую обстановку каждого изучаемого водоема.

В **главе 2** «Методология исследования» автор подробно останавливается на обосновании проблемы и принципах исследований, вносящих вклад в развитие научных основ об изменяющихся в период антропогенеза геохимических циклах элементов. Приводится литературный обзор, посвященный предшествующим исследованиям водоемов Ангарской водной системы. Большое внимание в главе уделено описанию методов отбора проб, пробоподготовки и химического анализа фактического материала.

В **главе 3** «Пространственно-временная динамика гидрохимического состава Ангарской системы» анализируются данные, полученные для вод истока р. Ангары, Иркутского, Братского, Усть-Илимского и Богучанского водохранилищ. Для каждого водоема представлена пространственно-временная характеристика основного ионного состава вод, для истока реки, Иркутского, Братского и Усть-Илимского водохранилища – характеристика микроэлементного состава вод в разные по антропогенной нагрузке периоды. Пространственная характеристика гидрохимического состава дана в сравнительном аспекте со смежными водоемами Ангарской системы. Для каждого водоема детально рассмотрены основные источники поступления элементов, а также природные и антропогенные факторы, влияющие на современный состав их вод. Наиболее подробно проанализирован гидрохимический состав Братского и Усть-Илимского водохранилищ, нагрузка на которые значительна в связи с многолетним поступлением в них веществ техногенного происхождения с территорий крупных промышленных зон. В главе рассмотрены миграционные характеристики главных ионов, поступающих со сточными водами предприятия «Усольехимпром» (г. Усолье-Сибирское) в экосистему Братского водохранилища, главных ионов и микроэлементов, поступающих с Братской промышленной зоны (г. Братск) в экосистему Усть-Илимского водохранилища. Отдельно выделяется изучение форм переноса ртути – приоритетного экотоксиканта Братского водохранилища. При этом, миграционные характеристики этого чрезвычайно опасного элемента рассматриваются на всех этапах его эмиссии (в

коллекторной сети и организованных выпусках предприятия «Усольехимпром»), а также в воде Братского водохранилища на разном удалении от источника загрязнения. К одному из основных антропогенных факторов, влияющих на гидрохимический состав Братского водохранилища, Полетаева В.И. относит работу лесозаготовительных организаций, использующих заливы водоема для транспортировки древесины. В большей степени, негативные преобразования от этой деятельности связаны с трансформацией кислородного режима вод, а также с влиянием на концентрации биогенных компонентов, органического вещества, фенолов и нефтепродуктов в водах заливов водоема. Отдельно следует выделить исследования, проведенные на р. Ангаре до создания Богучанского водохранилища и во время его заполнения. Полученные результаты являются неповторимыми наборами данных, с помощью которых можно доказательно оценить последствия, связанные с переходом водоемов от речного режима в режим водохранилища.

Представленные в главе 3 результаты исследования легли в основу **первого защищаемого положения**, а именно: «анализ пространственно-временной динамики химического состава вод и изучение факторов формирования Ангарской системы показали, что каждый водоем имеет свои гидрохимические особенности, обусловленные поступлением элементов из природных и антропогенных источников».

На основе результатов горизонтальной и вертикальной дифференциации концентраций элементов в водной среде, полученных в главе 3, в **главе 4 «Факторы, определяющие миграционные потоки элементов, и процессы самоочищения в пресноводной системе»** автор выделяет основные механизмы, определяющие геохимические особенности миграции вещества и оценивает процессы самоочищения, проходящие внутри водной экосистемы. Эта обширная глава подразделяется на подглавы.

В подглаве 4.1 рассматриваются донные отложения верхней, наиболее техногенно нагруженной части Братского водохранилища. Автором подробно изучены концентрации основных поллютантов Zn, Pb, Cu, As и рассмотрены факторы, влияющие на их распределение и накопление в пространственно-временном аспекте. Проводится сравнение аккумуляции этих элементов с аналогичными данными, полученными ранее для Hg. На основе этих данных, а также данных по условиям осадконакопления по акватории водоема, диссертант выделяет основной седиментационный геохимический барьер и рассматривает его, как главный фактор, определяющий миграцию элементов антропогенного происхождения в Братском водохранилище. Важным результатом этой подглавы являются результаты, полученные при изучении форм нахождения элементов в

донных отложениях, поскольку именно ими определяется потенциальная токсичность и биодоступность элементов.

В подглаве 4.2 выделен еще один седиментационный геохимический барьер «приток–залив водохранилища», сформированный после зарегулирования р. Ангары плотиной Усть-Илимской ГЭС. Определено, что изменение гидродинамических параметров в пограничной зоне слияния двух разных водных потоков (р. Вихорева и Усть-Илимское водохранилище) в условиях замедления водобмена сформировалась зона с высокой скоростью седиментации, на которой оседает значительная часть взвешенного вещества, поступающего с Братской промышленной зоны. На основе результатов распределения концентраций основных ионов, микроэлементов, органического вещества, окислительно-восстановительных условий и процессов, проходящих в сопряженных средах «водная толща–поровая вода–донные отложения», автор, также как для Братского водохранилища, выделяет этот барьер, как главный фактор, определяющий миграцию элементов антропогенного происхождения для Усть-Илимского водохранилища.

Взаимосвязь результатов исследования гидрохимического состава вод, химического состава донных отложений, а также форм нахождения элементов в этих сопряженных средах позволили автору сделать очень важный с точки зрения эволюции водных экосистем вывод: основные седиментационные геохимические барьеры выполняют, с одной стороны, позитивную функцию, т.к. выведение токсикантов из водной среды в донные отложения, их последующее «захоронение» и высокие доли прочносвязанных форм элементов отражают процессы самоочищения экосистемы водохранилища, с, другой стороны, повышенные концентрации микроэлементов в придонной воде барьера, а также присутствие элементов в донных отложениях в потенциально подвижных и подвижных формах определяют геохимических барьеры, как самостоятельные источники загрязнения водных экосистем.

Представленные в подглавах 4.1 и 4.2 результаты исследования легли в основу **второго и третьего защищаемых положений**. «Дифференциация поступающих в водохранилища Ангарской системы элементов антропогенного происхождения начинается в водной среде. В дальнейшем геохимические преобразования связаны с аккумуляцией и мобильностью элементов в донных отложениях. Стратификация концентраций элементов по глубине донных отложений отражает динамику их поступления из водной среды в различные по антропогенной нагрузке периоды. Высокие доли прочносвязанных форм элементов показывают, что их накопление в донных отложениях является главным механизмом самоочищения вод.

Седиментационные геохимические барьеры, сформированные при создании Ангарских водохранилищ, являются основным фактором, определяющим миграцию элементов и устойчивость находящихся под высоким антропогенным воздействием природно-антропогенных водоемов. Геохимические барьеры, накапливающие элементы антропогенного происхождения и препятствующие их распространению по акватории водоема, в тоже время, являются экологически опасными объектами с потенциалом негативного пролонгированного действия на водную среду».

В подглаве 4.3 дана характеристика основного ионного состава поровых вод Братского водохранилища, что позволило более детально изучить условия циркуляции и обмена вещества между донными осадками и водной толщей, а также выявить раннедиагенетические преобразования, проходящие в условиях осадкообразования. Полетаевой В.И. детально анализируется комплекс факторов, влияющих на состав поровых вод: состав водной толщи, литологический тип донного осадка, гидрогеохимическая обстановка бассейна водоема и процессы раннего диагенеза.

Представленные в подглаве 4.3 результаты исследования легли в основу **4 защищаемого положения**: «в условиях осадкообразования Ангарских водохранилищ на формирование химического состава поровых вод, изменяющегося по акватории водоема и глубине донных отложений, влияют природные и антропогенные факторы: состав водной толщи, растворение осадочного материала, разгрузка подземных вод, поступление веществ техногенного происхождения и диагенетические преобразования».

Глава 5 «Оценка антропогенного воздействия и методические аспекты мониторинга вод Ангарской системы» направлена на решение одной из главных научно-практических задач – совершенствование системы государственного мониторинга, в частности «... разработку экологически ориентированных нормативов качества и целевого состояния водных объектов, механизмов учета факторов формирования регионального фоновое состояние водных объектов; развитие методов гидрохимического мониторинга водных объектов ... (Водная стратегия РФ)». Автором рассматриваются методические аспекты природоохранного законодательства и показывается некорректность использования официально принятых нормативов с точки зрения экологического риска и возможной деградации экосистем р. Ангары и ее водохранилищ. В главе обсуждаются вопросы, связанные с важностью правильности выбора критерия (геохимической фоновой концентрации), позволившего бы достоверно оценить качество вод. В качестве фоновое значения рекомендовано использовать медианные концентрации микроэлементов в воде истока р. Ангары, по которым

накоплена необходимая для репрезентативной оценки долговременная информация. Результаты оценки качества гидрохимического состава Ангарской водной системы, рассчитанные относительно концентраций элементов в водах истока р. Ангары, показали, что антропогенная нагрузка на водоемы, особенно Братское и Усть-Илимское водохранилища, довольно существенна. Для Братского водохранилища определено улучшение качественных характеристик воды в период снижения антропогенной нагрузки, что подтверждает правильность использования выбранных нормативов в качестве контрольных показателей.

Представленные в главе 5 результаты исследования легли в основу **5 защищаемого положения**: «для совершенствования системы мониторинга в качестве индикаторных геохимических критериев, отражающих природные условия формирования и позволяющих объективно оценить вызванные антропогенной деятельностью изменения гидрохимического состава водоемов Ангарской системы, предложено использовать концентрации микроэлементов в воде истока р. Ангары, полученные за долговременный период наблюдений».

В **Заключении** диссертант делает выводы, полученные при обобщении многолетних геоэкологических исследований по накоплению, распределению и формам нахождения элементов в сопряженных средах «водная толща – поровая вода – донные отложения» Ангарской водной системы.

Замечания по диссертационной работе:

1. В диссертационной работе хотелось бы увидеть оценку, динамику и прогноз трофности рассматриваемых водных экосистем. К сожалению, автор не рассматривает этот важный экологический показатель, характеризующий, в том числе и антропогенную трансформацию водных объектов.
2. При оценке влияния сточных вод Усольской промышленной зоны на р. Ангару и Братское водохранилище достаточно детально изучен основной ионный состав и концентрации ртути в сточных водах. Был ли изучен их микроэлементный состав?
3. В пробах вод с повышенными солесодержанием и концентрацией растворенного органического углерода (например представленных в табл. 3.4.2., стр. 142 диссертации) явно не хватает значений интегрального показателя – ХПК, для подтверждения поступления сточных или недостаточно очищенных вод с прилегающей промзоны.
4. В качестве действующих нормативов качества вод автор рассматривает (стр. 222 диссертации) СанПиН 1.2.3685-21 "Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания"

и нормативы WHO (Всемирной организации здравоохранения). С учетом того, что рассматриваемые водоемы относятся к Байкальскому рыбохозяйственному бассейну было бы целесообразно принять во внимание действующие и более жесткие требования Приказа Министерства сельского хозяйства РФ от 13 декабря 2016 г. N 552 "Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения" и Приказ Министерства природных ресурсов и экологии РФ от 21 февраля 2020 г. N 83 "Об утверждении нормативов предельно допустимых воздействий на уникальную экологическую систему озера Байкал и перечня вредных веществ, в том числе веществ, относящихся к категориям особо опасных, высокоопасных, опасных и умеренно опасных для уникальной экологической системы озера Байкал".

5. Почему при описании донных отложений не приводится их гранулометрический состав? Как известно, концентрации многих химических элементов имеют выраженные корреляционные связи с размером и составом частиц осадка. Рассмотрение этого фактора позволило бы более обоснованно оценить процессы распределения и аккумуляции микроэлементов в донных отложениях.

6. Рассматривая основной седиментационный барьер Братского водохранилища, можно ли выделить его границы?

7. При рассмотрении роли геохимических барьеров в перераспределении веществ в работе рассматриваются только два различных по генезису седиментационных барьера Братского и Усть-Илимского водохранилищ. Есть ли другие барьерные зоны в этих и остальных водохранилищах р. Ангары?

8. При выделении факторов самоочищения водных экосистем автор подробно останавливается на главных из них – разбавление сточных вод водами водохранилищ и выведение поллютантов в донные отложения. Изучались ли биологические/микробиологические факторы самоочищения Ангарских водохранилищ?

Несмотря на отмеченные замечания, которые, в целом, не снижают научную и практическую ценность проведенных исследований, диссертационная работа Полетаевой Веры Игоревны на тему «Геоэкологическая оценка сопряженных сред «вода – донные отложения» и геохимический отклик крупной водной системы на антропогенное воздействие (р. Ангара и каскад ее водохранилищ)» является законченным научным исследованием, крупным обобщением, которое вносит значительный вклад в развитие Геоэкологии, как науки, а также имеет важное социально-экономическое значение.

Диссертация Полетаевой В.И. соответствует паспорту научной специальности 1.6.21 – «Геоэкология» и критериям, установленным в пунктах 9, 10, 11, 13, 14 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. №842, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени доктора геолого-минералогических наук по специальности 1.6.21 – Геоэкология.

Отзыв подготовлен доктором технических наук (специальность 25.00.36 – «Геоэкология») Батоевой Агнией Александровной.

Отзыв обсужден и одобрен на расширенном заседании лаборатории инженерной экологии БИП СО РАН, протокол №1 от 14.01.2025 г.

Председатель заседания:

Заведующая лабораторией инженерной экологии,

доктор технических наук,

доцент по специальности «Геоэкология»

Батоева Агния Александровна

Секретарь заседания:

Старший научный сотрудник

лаборатории инженерной экологии,

кандидат технических наук,

доцент по специальности «Геоэкология»

Сизых Марина Романовна

Подписи А.А. Батоевой и М.Р. Сизых заверяю:

Ученый секретарь Федерального государственного бюджетного учреждения науки Байкальского института природопользования Сибирского отделения Российской академии наук (БИП СО РАН), кандидат химических наук

Тинтаева Евгения Цыденовна

