

**ОТЗЫВ официального оппонента
на (о) диссертацию(и) на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук
Сорокоумовой Яны Владиславовны**

на тему:

**«Техногенные и природные миграционные процессы в подземных водах,
разгружающихся в озеро Байкал»
по специальности 1.6.6. Гидрогеология**

Актуальность темы. Представленная диссертационная работа посвящена анализу техногенных и природных миграционных процессов в подземных водах, разгружающихся в озеро Байкал, которое является уникальным природным объектом, включенным в список Всемирного наследия. Правовые основы охраны озера Байкал закреплены Федеральным законом N 94-ФЗ «Об охране озера Байкал». На протяжении десятилетий экосистема озера Байкал испытывала недопустимо высокую антропогенную нагрузку из-за разгрузки подземных вод, подверженных влиянию утечек с территорий производственных предприятий, расположенных в прибрежной части. Наиболее значимым примером такого объекта является Байкальский целлюлозно-бумажный комбинат (БЦБК), функционировавший в период 1966-2013 гг., расположенный в пределах центральной экологической зоны Байкальской природной территории. На промплощадке БЦБК загрязнение подземных вод сформировалось за счет поступления неорганических веществ и нефтепродуктов; устойчивый ореол сравнительно теплых подземных вод указывает на специфическое тепловое загрязнение.

Актуальность работы обусловлена оценкой взаимосвязи поверхностных и подземных вод, выполненной на основе унифицированных математических моделей конвективно-дисперсионного переноса и направленной на решение прогнозных задач для дальнейшей разработки рекомендаций по реабилитации территории и ликвидации прошлого экологического ущерба. Отдельное внимание в работе уделено процессам

разгрузки метана по тектоническим нарушениям, что позволяет оценивать вклад данного природного источника в общие выбросы парниковых газов.

Структура и содержание работы. Диссертационная работа изложена на 132 страницах машинописного текста, состоит из введения, 3 глав, заключения, списка литературы из 157 наименований, включает 64 рисунка, 16 таблиц. Каждая глава завершается выводами. Структура работы соответствует цели диссертации и поставленным задачам.

Во **Введении** обоснована актуальность работы, сформулированы цель и задачи исследования, приведены защищаемые положения, научная новизна, отражены теоретическая и практическая значимость исследования, личный вклад автора, информация об апробации результатов. Также в данном разделе содержатся сведения о степени разработанности темы исследования, выполняющие роль краткого литературного обзора.

В **Главе 1** приводится характеристика природных и техногенных условий в районе оз. Байкал. Рассмотрены физико-географические, гидрологические, геологические и гидрогеологические условия; приведены технологическая схема оперативной деятельности БЦБК (в том числе, сведения об организации перехватывающего водозабора), характеристика наблюдательной сети, концентрации некоторых компонентов в очищенных сточных водах (ОСВ) и в подземных водах в районе предприятия.

Глава 2 посвящена техногенным миграционным процессам в подземных водах побережья озера Байкал. Рассмотрена модель конвективно-дисперсионного переноса растворенных веществ в водоносных горизонтах, приведены уравнения переноса консервативного, сорбируемого, распадающегося мигрантов, а также теплопереноса в водоносных горизонтах. Отдельный раздел посвящен описанию разработанной в программном комплексе MODFLOW-2005 и MT3DMS трехмерной геомиграционной модели участка исследований. В процессе моделирования диссертантом рассматривается период 7528 сут (~ 20 лет с начала 2002 года до 3 квартала 2022 года), что позволяет воспроизвести наиболее полный

массив данных с результатами наблюдений за уровнем подземных вод, а также мониторинга состава и свойств подземных вод. В тексте главы приводятся результаты геомиграционных расчетов и калибрации моделей. Количественная оценка сходимости результатов расчетов с данными мониторинга проводилась автором путем расчета значений нормализованных среднеквадратических ошибок (НСКО), что является стандартным приемом.

В тексте работы *последовательно* изложены результаты решения фильтрационной задачи, моделирования массопереноса консервативного (минерализация) и неконсервативного (нефтепродукты) веществ, расчетов теплопереноса в подземных водах на территории БЦБК за рассматриваемый двадцатилетний период.

Решение фильтрационной задачи показало достаточную сходимость с массивом фактических данных по замерам уровней (диапазон вариации НСКО для всех стресс-периодов составил 10-18%).

Результаты моделирования массопереноса консервативного и неконсервативного загрязнителей на весь период эпигнозных расчетов также продемонстрировали удовлетворительную сходимость с фактическими данными (НСКО 12,3-15,7% и 15,5-17,3%, соответственно), что позволило автору выполнить прогнозные расчеты для двух вариантов реабилитации территории, а также без запуска водоотбора и с учетом работы наиболее эффективных скважин перехватывающего водозабора.

Решение миграционной задачи теплопереноса (сходимость с массивом фактических данных по значению температуры подземных вод по НСКО для рассмотренных стресс-периодов 23-25%) позволило установить, что на формирование температурного поля в потоке подземных вод с близким к поверхности залеганием уровнем существенное влияние оказывает теплообмен с породами зоны аэрации. Недочет этого процесса приводит к завышенному значению параметра продольной термодисперсивности и некорректным прогнозам распространения теплового загрязнения подземных вод от техногенных источников.

По результатам моделирования тепломассопереноса диссертантом установлены положение и режим основных источников теплового и химического загрязнения на территории БЦБК, что является важным выводом в работе.

Полученные автором оценки тепломассопереноса оформлены в виде выводов, обосновывающих *первое и второе защищаемое положение*.

В **Главе 3** на примере расчета притока растворенного метана рассмотрены природные миграционные процессы в акватории озера Байкал.

Оценки количества разгружающегося газа выполнены автором для разлома Гидратный, расчеты реализованы в виде модели конвективно-диффузионного переноса по разломной зоне, заполненной проницаемым материалом, с учетом диффузии во вмещающие породы. Применение такого подхода позволило оценить важнейшую природную балансовую часть общего притока углеводородов и может быть использовано для оценки субаквальной разгрузки флюидов по разломной зоне (*третье защищаемое положение*).

В **Заключении** перечислены выводы, приведенные ранее в каждой главе, и даны рекомендации по мониторингу и реабилитации подземных вод территории БЦБК.

Обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертационной работе, обеспечивается применением научно-обоснованного и апробированного методического подхода к решению поставленных задач, использованием современных методов моделирования, большим объемом фактологического материала.

Достоверность и научная новизна полученных результатов подтверждается использованием модельно-ориентированного подхода к совместному анализу теплового и химического загрязнения подземных вод, основанного на унификации математических моделей конвективно-дисперсионного переноса. Диссертантом на его основе построена и верифицирована (по данным мониторинга) трехмерная геомиграционная

модель, позволившая дать прогнозную оценку поступления загрязнителей от БЦБК после остановки его производственной деятельности с подземными водами в оз. Байкал в условиях сложного строения неоген-четвертичного водоносного комплекса. Основные положения работы представлены автором на различных российских и международных конференциях, опубликованы в 6 научных работах, в том числе в 4 статьях в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных для защиты в диссертационном совете МГУ по специальности 1.6.6. Гидрогеология.

Научная и практическая значимость работы определяется разработкой и калибрацией по данным двадцатилетнего мониторинга трехмерной модели тепломассопереноса в подземных водах территории БЦБК, что позволило локализовать положение основных источников загрязнения, оценить динамику изменения их интенсивности. На основе этой модели выполнены прогнозные расчеты распространения растворенных минеральных веществ и нефтепродуктов для различных сценариев реабилитации территории. Модель и полученные с ее помощью результаты могут быть использованы для обоснования проекта реабилитационных мероприятий.

Содержание автореферата соответствует основным положениям и результатам, представленным в тексте диссертации.

Представленная к защите работа в целом отличается последовательностью изложения, большим количеством наглядных графических материалов, аргументированностью выводов и представительным фактическим материалом, положенным в основу исследования.

Вместе с тем, к работе имеется **ряд замечаний**:

1. В работе отсутствует полноценный литературный обзор, сведения о состоянии проблемы, основных подходах, достижениях и методах приведены в кратком виде во введении.

2. В главе 1 отсутствует гидрогеологический разрез, на схематическом геологическом разрезе (рис. 1.5) следовало бы привести шкалу (линейку) горизонтального масштаба.

3. Таблица 1.3 и рис. 1.9 содержат информацию об объемах сброса сточных вод в поверхностные водные объекты в крупных городах Байкальской природной территории за 2013-2021 и 2005-2012 гг. соответственно (по данным Госдокладов «О состоянии оз. Байкал ...» за 2022 и 2013 гг.). Логичнее было бы объединить указанную информацию в одну таблицу или график либо привести в единообразном виде; разный способ представления аналогичной информации может вводить в заблуждение.

По данным рис. 1.9 объем сточных вод БЦБК в 2009 году был сильно ниже, чем в предыдущие и последующие годы (3,4 млн м³ и 14-41 млн м³ соответственно). Данный факт в тексте не обсуждается.

4. На рис. 1.10 и 1.11 приведены концентрации некоторых компонентов в очищенных сточных водах БЦБК за период 2002-2021 гг. (по данным разных источников). Содержания хлоридов и сульфатов кардинально различаются. В тексте работы объяснения по этому поводу отсутствуют.

5. Характеризуя загрязнение подземных вод на площадке БЦБК, автор в частности указывает, что содержание нефтепродуктов достигало 15ПДК (стр. 31), однако, далее по тексту (стр.37) приводит информацию, что содержание нефтепродуктов непосредственно в подземных водах не нормируется и ввиду этого оценка степени загрязненности была произведена путем сравнения с предельно-допустимой концентрацией для питьевых вод и вод рыбохозяйственного назначения, так как воды озера Байкал эксплуатируются в областях действия этих норм. Остается открытым вопрос, какие нормативы был использованы автором при характеристике загрязнения. Кроме того, «Перечень рыбохозяйственных нормативов: предельно допустимых концентраций (ПДК) и ориентировочно безопасных уровней воздействия (ОБУВ) вредных веществ для воды водных объектов, имеющих рыбохозяйственное значение» (Приказ Госкомрыболовства России

№ 96 от 28.04.1999), на который ссылается автор, является давно недействующим нормативным документом (утратил силу в соответствии с Приказом Росрыболовства от 20 января 2010г. №25).

В качестве замечания к данному разделу текста следует отметить отсутствие обсуждения и объяснения наблюдаемых вариаций содержаний некоторых компонентов в подземных водах площадки БЦБК за период 2005-2021 гг. (рис. 1.13).

6. Выводы к Главе 1 следовало бы дополнить (предварить) обобщенным выводом о природных условиях района исследований (с учетом названия главы).

7. В Главе 2 приводятся три уравнения массопереноса – для консервативного, сорбируемого и распадающегося мигрантов, в то время как само моделирование проведено для консервативного (минерализация) и неконсервативного (нефтепродукты) загрязнителя, при этом последний совершенно обоснованно рассматривается и как сорбируемый, и как распадающийся мигрант. Было бы логично привести уравнение для этого обобщенного случая.

Также в качестве замечания следует отметить, что в модели конвективно-дисперсионного переноса (формула 2.1) автор использует термины «дивергенция» и «градиент», хотя, строго говоря, речь идет об операторах (оператор: дивергенция, оператор: градиент).

8. Под номером 2.15 в работе приводятся две разные формулы (на стр. 49 и 52). В формуле нормализованных среднеквадратических ошибок (НСКО) (стр. 52) пропущен знаменатель, на который должна производиться нормализация.

9. Отбраковка данных опробований для моделирования массопереноса консервативного загрязнителя по абсолютной ошибке в электронейтральности состава (более «1,6 мгЭкв/л», стр. 55) не является удачным, поскольку может давать совершенно различную невязку в балансе анионов и катионов в зависимости от общей минерализации воды.

10. В работе указывается, что верификация моделей выполнена по данным мониторинга за 20-летний период, однако количественный размер выборки данных не приводится.

11. Основным критерием сходимости результатов расчетов с данными мониторинга являются значения НСКО. Автор приводит численные оценки НСКО для каждого варианта моделирования, на основании них говорит об удовлетворительной сходимости расчетных и фактических данных. В работе не указано, какое значение НСКО принято автором за граничное.

12. В Главе 3, говоря о природных миграционных процессах в акватории озера Байкал, диссертант уделяет много внимания основным загрязнителям, в том числе поступлению нефтепродуктов с очистных сооружений г.Улан-Удэ и их трансграничному притоку. По мнению оппонента, данная информация в этом разделе является излишней.

13. Выводы в Заключение являются суммированием выводов к главам. По мнению оппонента, было бы логичным решением их сокращение за счет обобщения и переработки (в частности, выводов 1-4).

Указанные замечания не умаляют значимости диссертационного исследования. Диссертация отвечает требованиям, установленным Московским государственным университетом имени М.В.Ломоносова к работам подобного рода. Содержание диссертации соответствует специальности 1.6.6. Гидрогеология (по геолого-минералогическим наукам), а также критериям, определенным пп. 2.1-2.5 Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В.Ломоносова. Диссертационное исследование оформлено согласно требованиям Положения о совете по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова.

Таким образом, соискатель Сорокоумова Яна Владиславовна заслуживает присуждения ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 1.6.6. Гидрогеология.

Официальный оппонент:

кандидат геолого-минералогических наук,
старший научный сотрудник кафедры геохимии
геологического факультета
ФГБОУ ВО «Московский государственный университет
имени М.В.Ломоносова

Лубкова Татьяна Николаевна

06.04.2026

Контактные данные:

тел

Специальность, по которой официальным оппонентом
защищена диссертация:

25.00.09 – Геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых

Адрес места работы:

119234, г. Москва, ГСП-1, Ленинские горы, д.1
ФГБОУ ВО «Московский государственный университет
имени М.В.Ломоносова», геологический факультет
Тел. +7(495)939-12-73, e-mail: lubkovatn@my.msu.ru

Подпись Лубковой Т.Н. заверяю
кабинетом геологического ф-та
М.Г. Вебер