

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Дребот Валерии Витальевны
«Формирование химического состава подземных вод в районе Торейских озер
(Забайкальский край)», представленную на соискание ученой степени кандидата геолого-
минералогических наук по специальности 1.6.6. -Гидрогеология

Диссертация посвящена актуальной теме образования очагов содового засоления подземных вод в аридном климате. Особую значимость этой проблеме придает то, что рассматриваемая территория является уникальным природным объектом международного значения, т.к. озера служат средой обитания для многочисленных краснокнижных видов животных, и с 2017 г. входят в список Всемирного наследия ЮНЕСКО. Изучение формирования химического состава подземных вод, за счет разгрузки которых и существуют в большой степени эти уникальные озера, имеет большое научное и практическое значение и в связи с глобальным изменением климата.

Цель работы заключается в разработке концептуальной модели формирования химического состава подземных вод верхней гидродинамической зоны района Торейских озер (Забайкальский край) в рамках общей теории взаимодействия воды с алюмосиликатными породами.

Задачи: обозначить природные условия региона, влияющие на формирование химического состава подземных вод района Торейских озер; определить характер изменения макро- и микрокомпонентного состава подземных вод района исследования при их движении от источников питания (атмосферные осадки) через вмещающие породы к областям разгрузки (реки, озера); выявить закономерности перераспределения химических элементов в системе вода-порода на основе расчётов форм миграции элементов и их геохимической подвижности, а также оценки термодинамического равновесия воды с основными минералами вмещающих пород; определить источники питания подземных вод и длительность взаимодействия в системе вода-порода на основе изотопного состава воды (δD , $\delta^{18}O$), водорастворенных элементов ($\delta^{13}C$, $\delta^{34}S$) и трития (3H); разработать концептуальную модель формирования химического состава подземных вод района Торейских озер на основе выделенных геохимических типов (по С.Л. Шварцеву)..

Автором осуществлен сбор, анализ и обработка фактического материала о химическом и изотопном составе 59 проб подземных вод верхней динамической зоны, 6 проб атмосферных осадков, рек (9 точек) и озер (10 точек). Были отобраны образцы

коренных горных пород и продуктов их выветривания. Выполнены статистическая и графическая обработка полученных данных, термодинамические расчёты в системе вода-порода, интерпретированы результаты работы и сформулированы выводы.

В диссертационной работе на защиту выносятся три положения. Первое защищаемое положение посвящено закономерностям изменения химического состава подземных вод по мере их движения от областей питания к разгрузке. Во втором защищаемом положении утверждается, что воды района не равновесны относительно первичных Ca-Mg-Fe алюмосиликатных пород, а по мере движения в сторону разгрузки увеличивается количество и разнообразие равновесных вторичных фаз. Третье защищаемое положение посвящено выяснению причин изменения химического состава вод при их движении от мест питания к областям разгрузки. Делается вывод, что химический состав подземных вод является результатом сложного сочетания атмогенного, литогенного и испарительного этапов.

Диссертация объёмом 150 страниц машинописного текста состоит из введения, 7 глав, заключения, списка литературы из 224 наименований, содержит 70 рисунков и 24 таблицы.

В первой главе рассматривается изученность территории и формулируется проблема, которой посвящена диссертационная работа, которую кратко можно обозначить так, что при формировании химического состава подземных вод в условиях аридного климата определяющим фактором содообразования выступает степень взаимодействия воды с горной породой.

Во второй главе рассматриваются гидрологический режим района Торейских озёр, роль подземных вод в водном балансе территории, влияние аридизации климата, рассматриваются ландшафт, почвы, вечная мерзлота и экологическая обстановка рассматриваемой территории, геологические условия и полезные ископаемые. Подробно рассматриваются гидрогеологические условия сложившиеся в рассматриваемом районе. коренные породы представлены песчаниками и конгломератами изверженных пород: отложения метаморфизованные, кремнистые, интенсивно выветрелые до глубины 35 м. Обводненная зона начинается на глубине 35 м и продолжается до 65 м, далее идут слаботрещиноватые и слабоводоносные породы. По генезису трещиноватость экзогенная и региональная тектоническая. Автор отмечают, что перекрывающие девонские, четвертичные отложения мощностью 10 м, практически, безводные, представлены озерно-аллювиальными отложениями с прослойками суглинков и глин. Трещинно-жильные воды формируются в трещиноватых структурах глубокого залегания от 200–300 м до 500–600 м, подновляемыми неотектоническими движениями. Они приурочены к линейно

вытянутым разломам, секущим породы различного генезиса и возраста, коэффициенты фильтрации вдоль разломов изменяются от 2,2 до 28–30 м/сут, водопроницаемости до 777 м²/сут и выше. По тектоническим зонам происходит циркуляция и разгрузка подземных вод всех встреченных комплексов. Воды напорные, что выражается в восходящем типе родников. Существующая современная гидросеть, как правило, приурочена к этим же разломам.

В третьей главе рассматриваются методы исследования и полученный фактический материал. Анализ химического и изотопного состава произведен современными методами исследования в сертифицированных лабораториях. Для упорядочивания большого массива данных химических элементов и соединений в сравнительно однородные группы использовался кластерный анализ. Для оценки подвижности химических элементов в системе исходная порода – вода – вторичные отложения были рассчитаны коэффициенты водной миграции K_x (По А.И. Перельману) и геохимической подвижности K_p (по С.Л. Шварцеву). Для оценки степени равновесности вод относительно минералов вмещающих пород рассчитывался индекс насыщения (SI).

В четвертой главе приведена геохимия вод района Торейских озер. Установлено, что подземные воды по химическому составу разделяются на две группы: расположенные в водосборе Торейских озер и в обрамлении Торейской впадины. Подземные воды обрамления Торейской впадины пресные и слабоминерализованные (0,16 – 0,96 г/л), нейтральные и слабощелочные (рН 6,7 – 8,67), гидрокарбонатные. Подземные воды водосборного бассейна Торейских озер более соленые (0,30–3,25 г/л), более щелочные (рН 7,32–8,8), пёстрым составом не только относительно катионов, но и анионов. Ведущим катионом является натрий, анионом гидрокарбонат, однако, доля сульфатов и хлоридов в составе значительно выше, чем в первой группе. Кроме основных ионов во всех подземных водах в высоких концентрациях отмечаются F- и SiO₂. По содержанию микроэлементов выделены районы: 1) элементы, которые аккумулируются преимущественно вокруг Тореев (B, Br, Li, Rb); 2) элементы, для которых характерно накопление в пределах нескольких ореолов (как правило у Тореев и в зонах рудной минерализации – Fe, Mn, Pb, Cu, Zn, U, Th, As, V; 3) элементы, концентрирование которых ограничено геохимическими барьерами (Sr, Ba); и 4) редкоземельные элементы (РЗЭ). Подробно описаны геохимические условия их накопления в подземных водах. В работе исследованы формы нахождения наиболее токсичных элементов: As, U.

Глава 5 посвящена оценке равновесия подземных вод с вмещающими породами. Исследованы формы нахождения химических элементов. Установлено, что при движении вод от обрамления Торейской впадины к водосборному бассейну уменьшается доля

простых ионных форм и увеличивается доля карбонатных (CaCO_3 , MgCO_3 , $\text{Na}(\text{CO}_3)$ -) и сульфатных (CaSO_4 , MgSO_4 , $\text{Na}(\text{SO}_4)$ -, (KSO_4) -) комплексов. В диссертации оценена подвижность химических элементов. Расчёты были проведены для каждого из этапов взаимодействия системы базальты – природные воды – глины с помощью коэффициентов водной миграции K_x , и геохимической подвижности K_p . Полученные результаты по коэффициентам 50-ти химических элементов были разбиты на ряды элементов по интенсивности выноса водами из базальтов на основе K_x и ряды подвижности элементов в воде относительно связываемости вторичными отложениями на основе K_p . Показано, что на этапе подземных вод большая часть элементов характеризуется слабой миграционной способностью и подвижностью, поскольку в большом количестве они начинают связываться вторичными фазами.

Рассчитанные по фактическому составу вод разных водных объектов *индексы насыщения (SI)* показали, что все природные воды территории от атмосферных, речных до подземных и самых соленых озерных неравновесны относительно магматических Са-Mg-Fe алюмосиликатных минералов водовмещающих пород: основных плагиоклазов (анортита), роговых обманок, пироксенов, диопсида, оливина и других.

Как показали расчеты, атмосферные осадки находятся на стадии формирования гиббсита, речные имеют большой разброс в равновесии с гиббситом, каолинитом, монтмориллонитами, большинство подземных вод равновесны с монтмориллонитами и каолинитом, для формирования которого необходимы более высокие значения pH (>8), минерализации (>1 г/л) и содержание SI (>5 мг/л). Пресные подземные воды обрамления Торейской впадины, которым в большей степени свойственен HCO_3 -Са, HCO_3 -Mg состав, находятся в полях устойчивости каолинита и монтмориллонитов. В то время как наиболее минерализованные подземные воды водосбора и сами озера уже равновесны относительно хлорита, мусковита, микроклина и альбита ($M > 2$ г/л и $\text{pH} > 8,5$). Самые солёные и щелочные озерные воды ($M > 5$ г/л и $\text{pH} > 9,5$) дополнительно равновесны к анальциму и ломонтиту (водные цеолиты натрия и кальция). Относительно карбонатных минералов неравновесны все атмосферные осадки и незначительная часть речных и пресных подземных вод. Формирование химического состава всех природных вод проходит в условиях насыщения к кальциту, при этом, если оценивать насыщение при 5°C , то часть HCO_3 -Са и HCO_3 -Mg вод обрамления впадины остаются за пределом линии равновесия. Насыщение магнезитом фиксируется уже для меньшего количества точек опробования, в основном это HCO_3 - Na воды водосбора и соленые озера. По отношению к сидериту равновесны часть исследуемых водопроявлений, в том числе и единственная сульфатная проба SO_4 -Na подземных вод. Почти все природные воды, за исключением осадков и

некоторых рек насыщены к стронцианиту и витериту, указывая на то, что они могут осаждаться в качестве вторичной фазы. Исследуемые природные воды формируются в условиях ненасыщенности по отношению к сульфатным минералам. Только часть точек опробования достигают равновесия к бариту – в основном это соленые озера, некоторые, из которых близки в том числе и к насыщению целестином. По отношению к гипсу все воды не достигают насыщения.

Проведенные термодинамические расчеты по вторичному минералообразованию подтверждаются результатами минералого-петрографических исследований пород. Показано, что в качестве вторичных отложений на территории формируются: среди минералов группы силикатов – монтмориллониты, каолиниты, иллиты, биотиты, мусковиты и хлориты, среди карбонатов – кальциты, сидериты, доломиты.

Проведенные термодинамические расчеты позволили получить наиболее полное представление о сложном поведении химических элементов в составе изучаемых подземных вод в районе Торейских озёр. Доказано, что система вода–порода носит четко выраженный равновесно-неравновесный характер: все природные воды района исследований равновесны с вторичными минералами (глинами, частично с карбонатами), и неравновесны с эндогенными минералами водовмещающих пород (оливин, паргасит, амфибол, жадеит, анортит и др.), что обеспечивает постоянную эволюцию состава вод и вторичных отложений. Особенно активно подвергаются изменению базальты, развитые на территории. При этом для каждого этапа характерен свой набор равновесных вторичных минералов.

В главе 6 рассматривается изотопный состав подземных вод. Получены новые интересные данные по изотопному составу водорода и кислорода воды, углерода и кислорода гидрокарбоната, растворенной серы и трития в воде. Значения $\delta^{13}\text{C}(\text{HCO}_3)$ подземных вод варьируют в интервале от $-13,8$ до $-8,5$ ‰, что указывает на биогенный источник, но с некоторым утяжелением из-за еще имеющегося влияния атмосферного CO_2 . С увеличением концентрации иона HCO_3 – возрастает величина $\delta^{13}\text{C}$, т. е. утяжеляется изотопный состав углерода. Концентрации трития в водах рассматриваемой территории изменяются в диапазоне от 1,7 Т.Е. до 27,0 Т.Е. (тритиевых единиц), в основном это соответствует возрасту вод до 1952, т.е. до 70 лет. условный «возраст» подземной воды зоны активного водообмена находится в пределах от 17 до 40 лет, а замедленного > 57 лет. При этом, показано, что более молодые воды области питания по составу являются – $\text{HCO}_3\text{-Ca}$. В то время как воды зоны замедленного водообмена длительнее взаимодействуют с вмещающими породами (> 50 лет), а их состав – $\text{HCO}_3\text{-Na}$.

Это хорошо согласуется с концепцией содообразования С.Л. Шварцева (2007), согласно которой, для накопления соды необходимо большее время взаимодействия с породой.

В главе 7 рассматриваются геохимические типы и концептуальная модель формирования состава подземных вод. На основе классификации С.Л. Шварцева (1998) в районе Торейских озер были выделены три геохимических типа подземных вод: *кремнистый, содовый и солесодержащий* и некоторые их разновидности. Кремнисто-кальциевый геохимический тип вод выделен преимущественно в обрамлении Торейской впадины и чаще всего выходят за пределы водосбора непосредственно самих Торейских озер к северу, охватывая частично бассейн р. Онон. Геохимический тип воды *кремнисто карбонатно-кальциевый (содовый)*. Внутри этого типа хорошо выделяются три основные подгруппы. Первая – это содовые воды обрамления Торейской впадины, которые отличаются наибольшим распространением по территории. По составу эти воды гидрокарбонатные натриевые, с высокой долей магния в составе, который почти всегда входит в формулу ионно-солевого состава вторым. К содовым водам в чистом виде отнесены самоизливающиеся скважины с максимальным рН достигающим до 8,8. Стабильным содовым составом отличается также скважина 13G в районе оз. Борзинского. Последний геохимический тип в регионе – *солесодержащий*, воды которого располагаются у берегов Торейских озер, где в основном распространены пластовые воды. При этом взаимодействие продолжает идти по тому же сценарию и воды уже достигают равновесия со слюдами (мусковит, биотит, флогопит и др.), низкотемпературными алюмосиликатами (альбит, пренит, анальцит, хлорит и др.). Минерализация таких вод доходит до 3 г/л, а роль ведущего аниона в формуле ионно-солевого состава делят между собой HCO_3^- , SO_4^{2-} и Cl^- .

Диссертация базируется на большом объеме фактического материала, полученного современными методами исследования. В работе применен широкий спектр методов обработки данных, что позволило обобщить данные по химическому составу подземных вод большого региона и сформулировать концептуальную модель формирования содовых вод на юге Забайкальского края. Проведенные термодинамические расчеты в системе вода-порода, позволили получить наиболее полное представление о сложном поведении химических элементов в составе изучаемых подземных вод в районе Торейских озёр.

Результаты, полученные при выполнении диссертационной работы, имеют большое практическое значение. Они могут быть использованы при прогнозе изменения качества вод при развитии аридизации, связанной с глобальным изменением климата. Полученные результаты могут быть полезны специалистам, чьи интересы связаны с проблемами экологической безопасности.

Диссертация написана хорошим литературным языком, хорошо проиллюстрирована графическим материалом.

Поставленные в диссертационном исследовании задачи выполнены.

Но вместе с тем имеются небольшие вопросы и замечания к диссертационной работе.

Замечания

1. В таблицах 8, 9, 10 не приведено количество проб в выборках.

2. На рисунке 43 представлены графики распределения лантаноидов. В подземных и поверхностных водах, за счет которых формируются ресурсы озер, наблюдаются различия в относительных концентрациях, а в самих озерах распределение ровное. В чем причина не объяснено. Или ошибки в определении или протекает какой-то процесс в озерной воде?

3. Осталось не выясненным, с чем связан повышенный коэффициент геохимической подвижности Y, Zr, лантаноидов, Hf, Ta в атмосферных осадках района (рис. 48). Эти элементы плохо мигрируют в растворах.

Несмотря на указанные замечания, диссертация соответствует требованиям, установленным в п.п. 2.1-2.5 Порядка присуждения ученых степеней в Национальном исследовательском Томском политехническом университете, утвержденного приказом ректора ТПУ №362-1/од от 28.12.2021, а её автор Дребот Валерия Витальевна заслуживает присуждения ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 1.6.6. - Гидрогеология.

Плюснин Алексей Максимович, доктор геолого-минералогических наук, заведующий лабораторией гидрогеологии и геоэкологии, ФГБУН Геологический институт им. Н.Л. Добрецова Сибирского отделения Российской академии наук.

e-mail: plyusnin@ginst.ru

670047, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6а,

тел. 8 9

<http://geo.stbur.ru/>

Я, Плюснин Алексей Максимович, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

« 05 » 09 2023

Подпись Плюснина Алексея Максимовича заверяю

« 05 » 09 20 23 г.