

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию С.В.Борзенко «Геохимия соленых озер Забайкалья», представленную на соискание ученой степени доктора геолого-минералогических наук по специальности «геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых» 25.00.09

Диссертация С.В.Борзенко состоит из введения, 8 глав, заключения и списка литературы из 232 наименований. Объем текста – 270 с., количество таблиц – 28, рисунков – 75, приложений 5. Рецензируемая работа посвящена формированию химического состава соленых озер. При обсуждении этого вопроса столкнулись доводы специалистов по солевым равновесиям и специалистов-гидрогеохимиков. Состав воды озер солевика (например, М.Г.Валяшко) считали результатом испарительного концентрирования, как это следовало из учения академика Н.И.Курнакова. Гидрогеохимики (например, С.Л.Шварцев, С.Р.Крайнов) не могли поддержать эту точку зрения, поскольку их наблюдения не подтверждали концепцию испарительного концентрирования как определяющую состав водной фазы. С точки зрения гидрогеохимиков солевика допускали методическую ошибку, отбросив тот факт, что озера формируются и существуют в контакте с природными горными породами.

С.В.Борзенко и ее консультант С.Л.Шварцев поставили задачу выявить процессы и факторы формирования основных геохимических типов соленых озер. **Объектами научного исследования** являются соленые озера Восточного Забайкалья; процессы, механизмы и факторы формирования химического состава этих объектов представляют предмет исследования. Для этого исследовать химический и изотопный состав озер и подземных вод территорий их водосборных бассейнов; оценить степень испарения воды для различных типов озер; определить масштабы восстановления сульфат-ионов в озерах; исследовать степень равновесия подземных и озерных вод с ведущими первичными и вторичными минералами горных пород. С.В.Борзенко несомненно правильно построила свою работу, сосредоточив вначале внимание на исследовании фактического материала (глава 2,3). Такой подход определил построение рецензируемой диссертации: вначале описание факторов, потенциально влияющих на образование изучаемых озер и формирование состава их воды (климат, геоморфология, геология, гидрогеология, почвы, климат, метеоусловия района исследования и т.д.). Оппонент затрудняется критически оценить эту главу диссертации, так как не имеет личного опыта исследований этого района. Но оппонент считает,

что изложенная в диссертации информация не просто полезна, а была необходима для понимания проблемы происхождения состава воды соленых озер и материалы глав 2-3 заслуживает положительной оценки. Отсутствия такого фактического материала было бы недостатком в дискуссии с солевиками.

Вторая часть диссертации С.В.Борзенко посвящена анализу химических, биогеохимических и изотопных равновесий, результатом которых является современный состав воды различных соляных озер Забайкалья. Этот анализ опирается на многочисленные определения химического состава воды и минерального состава донных осадков, а также определения изотопного состава серы, кислорода и водорода. Все определения были выполнены в специализированных аттестованных лабораториях Институты СО РАН, известных высоким качеством измерений. Выводы, опирающиеся на такие определения, трудно не признать обоснованными и достоверными.

В качестве замечания к главе 3 можно сказать, что диссертант не пояснила, чем продиктован набор изученных микрокомпонентов, включающий U, Th и As, Be и Zr и т.д. *Определяем то, что можно определить?* Пополняем копилку информации о составе озерной воды. С другой стороны следует отметить как ценную часть исследования, что определения валового содержания макро и микроэлементов были рассмотрены С.В.Борзенко с позиций их миграционных форм и положения на Eh-pH диаграмме. Это позволило объяснить их накопление в соляных озерах. Как положительное следует отметить также систематизацию макрокомпонентов состава вод, продуманную и хорошо выполненную цветную графику. *В целом, рассмотренные главы диссертации свидетельствуют о высокой квалификации С.В.Борзенко в области «аквагеохимии»*

Третья и четвертая главы диссертации посвящена определению и объяснению степени испарительного концентрирования воды озер всех типов и количественной оценке проявления этого процесса для озер разного типа: наибольшее влияние фиксируется в озерах хлоридного типа, затем содовых III типа, сульфатных и содовых I и II типов. Для рассмотрения форм существования химических элементов в водной фазе, С.В.Борзенко использовала методику компьютерного расчета равновесного состава водного раствора заданного валового состава (по известной программе М.Б.Букаты). Выполненные расчеты содержаний разных элементов

позволили диссертанту грамотно оценить насыщенность водной фазы относительно минералов изучаемой системы и выделить потенциально осаждаемые и растворимые твердые фазы. Этот раздел диссертации не вызывает замечаний. Что касается рассмотренного списка минеральных фаз, то его расширение безгранично. На сегодня было бы интересно запустить в рассмотрение весь набор известных фаз и выяснить предпочтительные.

Пятая глава диссертации посвящена изотопам серы в системе «донные осадки-вода», в которой выполнены весьма интересные измерения серы по климатическим сезонам. *Но эта часть работы носит фрагментарный характер.* Опираясь на литературные данные и собственный опыт исследования, диссертант описывает изотопные характеристики донных осадков и водной фазы, которые соответствуют известным фактам. Ценность этой главы во внимании к биохимическим процессам, определяющим распределение разных форм серы от дна (преобладание сульфидной и иных восстановленных форм) до поверхности водоемов (сульфатная форма).

В шестой главе диссертации, исходя из легкой изотопии углерода карбонатов, утверждается происхождение бикарбонат и карбонат ионов озерной воды из углерода органического вещества и на полевом материале показана высокая интенсивность этого процесса. *Строго говоря, это мнение было необходимо подкрепить балансовым расчетом.*

В седьмой главе диссертант традиционно опирается на линию Крайга при сравнении изотопных характеристик озер разного типа. В диссертации много внимания уделено процессу обмена кислородом между водой и минералами горной породы. Также рассмотрено изменение изотопного состава воды вследствие испарения. *Выводы этой части диссертации опираются на общие рассуждения и не имеют фундаментального характера, который, в целом, характерен для работы.*

Достоверность научных результатов С.В.Борзенко обеспечена использованием результатов более 500 химических и изотопных анализов озерных и подземных вод, полученных высокоточными методами в аттестованных и аккредитованных лабораториях, с хорошими показателями прецизионности результатов; использованием новейших теоретических положений; апробацией основных научных положений на российских и международных конференциях и публикацией в рецензируемых журналах; выполнением заданий государственных программ, интеграционных проектов и проектов Российского научного фонда.

В соответствии с Требованиями ВАК отметим научную новизну работы:

(а) впервые для региона изучен широкий комплекс химических элементов, включая редкие и редкоземельные, изотопный состав воды, углерода, растворенных карбонатов и серы, сульфатов и сероводорода; (б) установлен характер равновесия озерных и подземных вод с большим количеством минералов горных пород; (в) впервые показано, что химический состав озер наряду с испарением определяется масштабом и характером взаимодействия воды с горными породами водосборной площади и дна озера; (г) разработана новая методика расчета степени испарения озерных вод; (д) установлено, что значительная доля сульфат-ионов в озерных водах восстанавливается до сероводорода и других форм серы; (е) впервые для региона разработана модель формирования химического состава различных геохимических типов соленых озер, расположенных на ограниченной территории.

В заключение рассмотрим основные «Защищаемые положения» диссертации С.В.Борзенко. **Первое защищаемое положение** посвящено выявлению геохимических (и сопутствующих) процессов формирования состава воды озер и объяснению механизма образования содовых, сульфатных, хлоридные типов и их подтипов *доказано фактическим химико-аналитическим материалом, полученным автором*. Содовые озера характеризуются наиболее высокими значениями рН и содержаниями Na, HCO₃, CO₃, повышенными концентрациями U, Th, As, F, РЗЭ и др. микрокомпонентов. Хлоридные озера выделяются высокой соленостью, но низкой щелочностью с большим содержанием Br, Li, Sr и др. элементов. Отличительным признаком сульфатных озер является минимальная их соленость, высокая сульфатность и относительно низкие концентрации большинства микроэлементов. Каждый тип озер отличается также изотопным составом H, O и C.

Второе защищаемое положение посвящено *анализу равновесно-неравновесной системы алюмосиликатные породы-вода-атмосфера доказывається анализом реакций алюмосиликатных минералов с водой*: основных они не только равновесны со многими вторичными минералами – продуктами выветривания и диагенеза донных осадков (карбонатами, глинами, гидрослюдами, оксидами и гидроксидами железа, алюминия и др.), но и многими нетипичными для зоны гипергенеза аутигенными минералами (цеолитами, хлоритами, фторидами и др.). Вместе с тем они всегда не равновесны с Ca-Mg-Fe-алюмосиликатами эндогенного генезиса (анортитом, форстеритом, фаялитом, диопсидом и др.). Данное положение уже стало аксиомой. *Подобный анализ выполнялся ранее другими сотрудниками и аспирантами С.Л.Шварцева*

Третье защищаемое положение посвящено анализу реакций сульфатредукции и окисления сульфидов в исследуемых озерах; наряду с испарением контролируется другими процессами, которые имеют

противоположную направленность) можно рассматривать как поисковое исследование, нуждающееся в дополнительном изучении

Бактериальное восстановление сульфатов развито в большей части озер, которые отличаются более высокими значениями $\delta^{34}\text{S}$ окисленных её форм, наличием H_2S и других восстановленных форм серы. В случае появления дополнительных источников сульфатов значения $\delta^{34}\text{S}$ уменьшаются, а их содержание возрастает вплоть до формирования сульфатного типа озер. Это «Положение» доказывается изотопными измерениями

Четвертое защищаемое положение посвящено объяснению разнообразия химического и изотопного состава озерных вод., что связано с многофакторностью процессов формирования озер, следует признать обоснованным представленным фактическим материалом. Неодинаковая степень испарения воды в озерах, разнообразие связей их с подземными водами водосборных территорий, разная продолжительность взаимодействия озерных вод с горными породами, обеспечивающая осаждение различных аутигенных минералов, изменчивость микробиологической деятельности приводят к дифференцированному накоплению химических элементов в озерах и формированию их разных типов и подтипов на ограниченной. Справедливость «Положения» доказывается изученным природным материалом

Публикации. По теме диссертации опубликовано 60 работ, в том числе 22 в журналах из списка ВАК, а также 21 индексируемых WOS и SCOPUS. Статьи написаны в соавторстве со специалистами, которые не имеют возражений против защиты данной работы.

Заключая рассмотрение диссертационной работ С.В.Борзенко, необходимо отметить а) научную значимость темы исследования, посвященного дискуссионному вопросу о формировании соленых озер, б) полноту и разносторонность представленных доказательств, в) сочетание физико-химического и изотопного подходов для решения проблемы, г) приоритет российской геохимической школы в решении проблемы, которая была предметом разногласий между специалистами ведущих научных школ разных стран. Все сказанное позволяет заключить о полном соответствии диссертационной работы С.В.Борзенко требованиям «Положения ВАК о присуждении докторских степеней») и присудить Светлане Владимировне Борзенко степень доктора геолого-минералогических наук по специальности 25.00.09 «геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых» за разработку модели формирования соленых озер, обоснованной современными методами. Публикации и автореферат полностью отражают содержание диссертации С.В.Борзенко.

Для ознакомления широкого круга специалистов с результатами работы С.В.Борзенко целесообразно рекомендовать издать материалы диссертации в форме книги.

Главный научный сотрудник Лаборатории моделирования гидрогеохимических и гидротермальных процессов ГЕОХИ РАН, доктор химических наук по специальности 25.00.09 Москва, 119991, ул.Косыгина, дом 19 E-mail ryzhenko@geokhi.ru; телефон: 499-1375837

Я, Рыженко Борис Николаевич, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку

~

[:]

 *Рыженко Борис Николаевич*
Гекимова
кабинет ГЕОХИ РАН