

## ОТЗЫВ

официального оппонента Плюснина Алексея Максимовича, доктора геолого-минералогических наук, старшего научного сотрудника, заместителя директора по науке Федерального государственного бюджетного учреждения науки Геологический институт Сибирского отделения Российской академии наук, 670047, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6а, [plyusnin@ginst.ru](mailto:plyusnin@ginst.ru), р.т. 8(3012)434708, м. 8(983)6310669 на диссертацию Борзенко Светланы Владимировны «Геохимия солёных озёр Восточного Забайкалья», представленной на соискание ученой степени доктора геолого-минералогических наук по специальности 25.00.09 – Геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых.

Диссертационная работа посвящена выявлению ведущих процессов, факторов и механизмов формирования различных геохимических типов соленых озёр Восточного Забайкалья. Работа состоит из введения, восьми глав, заключения, пяти приложений, список использованной литературы включает 232 наименования.

Актуальность представленной диссертационной работы не вызывает сомнений. Формирование химического состава соленых озёр представляет собой сложный многостадийный процесс, который зависит от многих факторов: климата, гидрогеологических условий, геологического строения, химического состава пород. Влияние этих факторов еще до конца не выяснено. Соленые озера Восточного Забайкалья характеризуются высоким содержанием многих химических элементов (Li, U, Th, As, Sr, B, Br, Mo, F и др.), их концентрация такова, что они могут иметь промышленное значение. Механизм концентрирования этих элементов, источники их поступления, масштабы явления еще недостаточно изучены.

Цель диссертационной работы - выявление ведущих процессов, факторов и механизмов формирования различных геохимических типов соленых озёр Восточного Забайкалья.

Задачи исследований:

- исследовать химический и изотопный состав озёр и подземных вод территорий их водосборных бассейнов;
- оценить степень испарения воды для различных типов озёр;
- изучить закономерности распределения некоторых микроэлементов (урана, мышьяка, тория, брома, лития, стронция, редкоземельных элементов);
- определить масштабы восстановления сульфат-ионов в озерах;
- исследовать степень равновесия подземных и озерных вод с ведущими первичными и вторичными минералами горных пород;
- выявить механизмы, процессы и факторы формирования основных геохимических типов соленых озёр Восточного Забайкалья.

Диссертантом использован комплекс современных методов анализа вещества, который позволил получить обширную достоверную информацию о химическом, изотопном составе озерных и подземных вод, форм миграции химических элементов в растворе. Методом термодинамического моделирования рассчитаны физико-химические равновесия озерных и подземных вод с основными минералами горных пород.

В работе произведена систематизация полученного фактического гидрохимического материала, термодинамических расчетов, что позволило автору создать новую концепцию формирования различных геохимических типов соленых озер Восточного Забайкалья, которая и выносится на защиту в виде четырех научных положений.

Первое защищаемое положение: На ограниченной территории в близких ландшафтно-климатических и геолого-геохимических условиях формируются разнообразные геохимические типы озер: содовые, сульфатные, хлоридные и многочисленные их подтипы. Содовые озера характеризуются наиболее высокими значениями pH, Na,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ , 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.

В доказательство этого положения приводиться большой фактический материал, характеризующий климатические, гидрогеологические, гидрологические, геологические и геоморфологические особенности рассматриваемой территории. В приложениях приведено 134 анализа подземных вод, приводится характеристика 99 соленых озер.

Показано, что большинство изученных озер на рассматриваемой территории принадлежат к содовому типу, на его долю приходится 87% от общего их количества. Они характеризуются pH равным 9.02-10.7, широкой вариабельностью солености воды - от 1.2 до 343 г/л, и низкой концентрацией  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$ . Анионный состав, как правило, смешанный с доминированием  $\text{Cl}^-$  (среднее 4.2 г/л) и карбонатного комплекса  $\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-}$  (3.1 г/л), в меньших количествах присутствует  $\text{SO}_4^{2-}$  (2.2 г/л). В катионном составе содовых озер основным является  $\text{Na}^+$  со средней концентрацией 5 г/л. В химическом составе содовых озер зачастую карбонатная составляющая не является преобладающей в общем балансе анионов, поэтому они были разделены на подтипы, к первому подтипу отнесены озера с преобладанием суммы гидрокарбонат и карбонат-ионов, ко второму подтипу – сульфат-иона и к третьему подтипу – хлорид-иона. Среди выделенных подтипов наибольшим распространением пользуются озера I и III подтипов, составляющие 45 и 50 % соответственно, ко II подтипу отнесено 5 озер.

Ограниченное распространение на рассматриваемой территории имеют хлоридные озера (10 %). Они характеризуются по средним оценкам максимальной минерализацией (4.6-185 г/л) и относительно низким значением pH (7.4-8.7). В среднем содержание  $\text{Cl}^-$  здесь существенно выше (18 г/л), чем в содовом и сульфатном типах озер. Вторым среди анионов является  $\text{SO}_4^{2-}$  с содержанием до 14 г/л. Концентрация  $\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-}$  существенно ниже (среднее 0.75 г/л). С ростом солености сумма карбонатов резко снижается до 0.11 г/л. Количество  $\text{Na}^+$  здесь максимальное до 13 г/л.

Сульфатные озера составляют только 3 %. Сульфатный тип озер отличается относительно низкой минерализацией (от 1.8 до 16.9). Значения pH изменяются в диапазоне 8.3-8.9 при среднем 8.7. Содержание  $\text{SO}_4^{2-}$  варьирует от 0.5 до 7.6 при среднем значении 2.9 г/л. При этом его доля в анионном составе (среднее 51 мг-экв. %), тогда как в содовых (15 мг-экв %), хлоридных (12 мг-экв %). По усредненным данным в сульфатных

озерах среди катионов превалирует  $\text{Na}^+$  с концентрацией 2.2 г/л, количество  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$  составляет 0.05 и 0.06 г/л соответственно.

Показано, что во всех выделенных типах и подтипах озер среди катионов резко доминирует натрий, концентрация которого по мере увеличения минерализации вод растет. В хлоридных и сульфатных озерах с ростом солености не накапливаются карбонаты, в то время как в содовых их содержание неуклонно растет. Одновременно повсеместно увеличиваются концентрации хлорид- и сульфат-ионов. Однако рост содержаний хлорид-ионов, за небольшим исключением, существенно опережает рост сульфат-ионов.

По-разному ведут себя и микроэлементы, их поведение определяется сформировавшейся геохимической средой. В сравнении с хлоридными содовые озера выделяются более высокими концентрациями F (до 414 мг/л), As (до 6 мг/л), U (до 11 мг/л), Th (до 0,2 мг/л), РЗЭ (до 0,1 мг/л). В хлоридных в больших количествах присутствуют Br (до 369 мг/л), Sr (до 19 мг/л), Li (до 1.5 мг/л). Содержание всех этих элементов коррелируют с ростом содержания основных анионов, для содовых – карбонатной составляющей, а для хлоридных – хлорид-ионов. Высокая миграционная способность этих элементов обусловлена наличием наиболее устойчивых их форм миграции в определенной среде. Так, среди урансодержащих наиболее устойчивые дикарбонат-уранил  $[\text{UO}_2(\text{CO}_3)_2]^{2-}$  и трикарбонат-уранил  $[\text{UO}_2(\text{CO}_3)_3]^{4-}$  комплексы, относительное содержание которых определяется концентрацией в водах карбонат-ионов. Торий характеризуется меньшим содержанием, чем уран. Это соответствует более слабой водно-миграционной способностью тория. Растворимость в воде  $\text{U}^{6+}$  и  $\text{Th}^{4+}$  различается на 3 порядка. Согласно расчетам превалирующей формой для тория является  $\text{Th}(\text{OH})_3\text{CO}_3^-$  и  $\text{Th}(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2^{2-}$ . Не исключено нахождение тория в форме  $\text{Th}(\text{OH})_4^0$ , так как даже при содержании Th в сотые доли мкг/л воды насыщены по этому гидроксиду. Мышьяк мигрирует в форме  $\text{HAsO}_4^{2-}$ , за исключением озер с сероводородной обстановкой, где он восстанавливается до  $\text{As}^{3+}$  и присутствует уже в форме  $\text{H}_2\text{AsO}_3^-$ . Для него известны парагенетические ассоциации с ураном, что подтверждается единой направленностью распределения их содержаний в содовых озерах. Для фтора наиболее устойчивой его формой в щелочной среде является  $\text{F}^-$ , а в околонейтральной среде с ростом минерализации воды значимыми становятся комплексы фтора с основными катионами.

Второе защищаемое положение. Все озерные воды образуют с горными породами региона специфическую равновесно-неравновесную систему: 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 неравновесны с Ca-Mg-Fe-алюмосиликатами эндогенного генезиса (анортитом, форстеритом, фаялитом, диопсидом и др.).

Обоснованию этого положения посвящается глава 4. В ней приведены сведения о формах миграции основных ионов в рассматриваемых озерах. Поведение основных анионов, так же как и катионов, определяется соленостью и pH вод. В солоноватых озерах они мигрируют преимущественно в формах:  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  и Cl. Кальций и магний мигрируют преимущественно в формах простых ионов  $\text{Me}^{2+}$  с относительно высокой их долей в сульфатных и хлоридных озерах. По мере роста минерализации в содовых озерах

растет доля карбонатных ассоциатов  $\text{MeCO}_3(\text{aq})$ , а в сульфатных и хлоридных  $\text{MeSO}_4(\text{aq})$  и  $\text{MeCl}^+$ . Согласно расчетам, все без исключения озерные воды независимо от pH и минерализации равновесны с кальцитом  $\text{CaCO}_3$ . Среди других карбонатных минералов, с которыми озерная вода находится в равновесии, магнезит  $\text{MgCO}_3$  и стронцианит  $\text{SrCO}_3$ . С последним не равновесны только воды озер с содержанием  $\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-$  менее 0.2 г/л. В этот диапазон концентраций попали четыре наиболее минерализованные хлоридные озера: Холво-Торум-1, Бильчир-Нуур, Укшинда и Горбунка и все сульфатные озера. Очевидно, что низкие активности карбонат- и гидрокарбонат-ионов в этих озерах не позволяют формироваться этому минералу. В работе показано, что наличие в озерах сероводорода способствует формированию различных сульфидов, в особенности железа: гидротроилита  $\text{FeS} \cdot \text{H}_2\text{O}$ , пирита  $\text{FeS}_2$ , грегита  $\text{Fe}_2\text{S}_4$ . Железо в восстановительной обстановке может связываться сидеритом  $\text{FeCO}_3$ . Свинец, цинк и медь могут вступать в реакции с образованием галенита, сфалерита и халькопирита. В окислительных обстановках озер термодинамически выгодно образование элементной серы S и широкого ряда различных гидроксидов и оксидов преимущественно железа и марганца. Согласно расчетам все озерные воды насыщены гиббситом, каолинитом Na-Mg-Ca монтмориллонитами, иллитом, т.е. минералами, которые развиваются преимущественно в коре выветривания. Равновесие вод с нетипичными для зоны гипергенеза аутигенными минералами альбитом, Mg-хлоритом, мусковитом, пренитом характерно для содовых озер и реже для хлоридных и сульфатных.

Подземные воды района исследований не равновесны с первичными алюмосиликатами, но насыщены гиббситом, каолинитом, большая часть иллитом, монтмориллонитами различного состава, наиболее минерализованные (выше 0.8 г/л) и щелочные воды (pH выше 7.6) находятся в поле равновесия с кальцитом и магнезитом. Различия в равновесиях между подземными и озерными водами объясняется тем, что соленость последних значительно выше и содержания многих химических элементов в них существенно больше, чем в подземных водах. В то же время все подземные и озерные воды, включая рассолы, остаются не равновесны к большой группе первичных алюмосиликатных минералов, особенно Ca и Mg разностям (анортит, диопсид, форстерит, фаялит, пренит, и др.).

Термодинамические расчеты подтверждаются рентгенофазовым анализом донных отложений 30 исследованных озер, который показал, что в их минеральном составе присутствуют полевые шпаты (преимущественно альбит, ортоклаз и микроклин), карбонаты (кальцит и доломит), рентгеноаморфная фаза, состоящая из тонкодисперсных глинистых минералов. В наиболее соленом содовом оз. Борзинское определены сода и мирабилит. Сравнительный анализ показал, что в содовых озерах, по сравнению с хлоридными в больших количествах присутствуют кальцит (на 11 %), полевые шпаты (на 3 %) и кварц (на 20%).

Третье защищаемое положение. Поведение сульфат-ионов в исследуемых озерах носит сложный характер в связи с тем, что наряду с испарением оно контролируется двумя дополнительными процессами, которые имеют противоположную направленность: сульфатредукцией и окислением сульфидов горных пород. Бактериальное восстановление сульфатов развито в большей части озер, которые отличаются более высокими значениями  $\delta^{34}\text{S}$  окисленных её форм, наличием  $\text{H}_2\text{S}$  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 обосновывается динамикой роста концентраций сульфат-иона в сравнении с ростом содержания хлорид-иона по мере концентрирования растворов. В большинстве изученных озер не происходит пропорционального накопления сульфатов с хлорид-ионами, хотя согласно существующим представлениям по мере роста солености вод в процессе испарения они должны накапливаться приблизительно в равных соотношениях ( $SO_4/Cl \approx 1$ ). В исследованных озерах значение коэффициента  $SO_4/Cl < 1$  и может снижаться до 0.01. Наиболее низкие его величины приходится на содовые озера I и III подтипов. Низкие значения этого коэффициента объясняются широким развитием процессов сульфат редукации, активно протекающих в донных отложениях и водной толще в 84 % исследованных озер, о чем свидетельствует присутствие сероводорода и других восстановленных форм серы. Средние содержания сероводорода, установленные в озерах, указывают, что наиболее продуктивно восстановление сульфатов протекает в хлоридных и содовых озерах I и III подтипов, где его средние содержания достигают 861 и 572.2 мкг/л. В сульфатных озерах средняя концентрация сероводорода 19 мкг/л, во II подтипе содовых озер всего 6.75 мкг/л. Сульфат редукации благоприятствует восстановительная обстановка и относительно высокое содержание органического вещества (до 7.6 г/л). Скорость сульфат редукации в илах соленых озер Восточного Забайкалья в среднем составляет 69 мгS/ кг сут.

Удаление сульфат-иона из раствора озер имеет сложный характер. Многолетние межсезонные исследования показали, что в оз. Доронинском сульфат редукация протекает интенсивно не только в летний период, но и в ледостав на фоне исчезновения в водной толще растворенного кислорода. Так, в марте 2013 г. в придонном слое воды был зафиксирован максимум концентраций  $H_2S$  (370 мг/л), а содержание  $SO_4^{2-}$  снизилось с 113 до 18 мг/л. С прогреванием воды в озере формируются бактериальные маты (как и в большинстве озер), к концу лета они разлагаются, поэтому в этот период фиксируется следующий пик увеличения содержания сероводорода и снижение количества сульфат-иона.

Изучен изотопный состав серы. В озерных водах среднее значение  $\delta^{34}S$  растворенных сульфатов равно 10 ‰, диапазон варьирует от -8.4 до 27.4 ‰. В озерах с изотопно-легкой серой не обнаружено признаков сульфатредукции. По средним значениям  $\delta^{34}S$  облегченный состав серы характерен для сульфатных (7.7 ‰) и содовых озер II подтипа (4.2 ‰). Большая часть этих озер локализована в пределах интрузивных образований шахтаминского комплекса, несущих сульфидную минерализацию, отсюда окисление сульфидов (в основном пирита) водовмещающих пород водосборных площадей приводит к накоплению в озерах сульфат-ионов с относительно легкой серой. В среднем наиболее тяжелая сера сульфат-ионов (18 ‰) приходится на хлоридные озера, немногим ниже значение  $\delta^{34}S$  (16.8 ‰) для содовых озер III подтипа. Выявлена следующая закономерность: чем больше в озерах присутствует сероводорода, тем ниже значение коэффициента  $SO_4/Cl$  и тем изотопно-тяжелее становится сера сульфат-ионов. Фракционирование изотопов серы отмечается по большинству озер с относительно высоким содержанием в них сероводорода. Разделение изотопов серы в результате бактериальной редукации сульфатов хорошо прослеживается также в сезонных изменениях изотопных соотношений сульфатной и сульфидной форм серы в оз. Доронинском.

Максимально тяжелая сера сульфатов определена в период ледостава. По мере снижения концентрации сульфат-ионов и роста сероводорода с глубиной происходит утяжеление сульфатной серы, но облегчение сульфидной. Часть сульфатов необратимо восстанавливается до сероводорода, вступающего в реакции, главным образом, с железом с образованием сульфидов и выводится из раствора. Наличие дополнительного источника сульфат-ионов и слабо выраженный процесс сульфат редукации или его отсутствие приводит к росту содержания изотопно-легкой серы сульфатов вплоть до формирования сульфатных озер.

Четвертое защищаемое положение. Природа разнообразия химического и изотопного состава озерных вод и отдельных химических элементов исследуемого региона связана с многофакторным процессом их формирования. 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 обеспечивают дифференцированное накопление химических элементов в озерах и приводят к формированию их разных типов и подтипов на ограниченной территории.

В этом защищаемом положении рассматриваются факторы, воздействие которых приводит к формированию химического состава минеральных озер на рассматриваемой территории. В работе детально рассматривается процесс испарительного концентрирования озерных вод. В качестве геохимического репера использован хлорид-ион, концентрация которого, определенная в озерах, сравнивалась со средним содержанием в грунтовых водах водосборного бассейна. Расчетами установлено, что значение степени испарения озерных вод изменяется от 2 до 3744. Испарительному процессу в большей степени подвергнуты более мелкие с меньшим объемом воды хлоридные озера, средняя степень испарения вод которых равна 722. Ближе к хлоридным содовые озера III подтипа со степенью испарения равной 202. В меньшей мере этот процесс затрагивает сульфатные и содовые озера I и II подтипов, усредненные значения показателя которых равны 18, 45 и 55 соответственно.

На основе морфологических и гидроклиматических характеристик проведены расчеты объемов поступающей подземных вод с водосборных площадей озер. Объем подземного стока рассчитан по модулю речного стока определенного района и площади водосбора озера. Соотношения количеств солевых компонентов, поступающих в озера, определяется исходя из минерализации и химического состава питающих вод и долей последних в водном питании озер. Роль степени взаимодействия воды с горными породами в формировании минерализации оценивается по отношению  $Na/Cl$  (в мг-экв/л). Значения этого показателя располагаются в диапазоне от 10 (I подтип) до 1.09 (III подтип). По усредненным данным в содовых озерах I и II подтипов отношение  $Na/Cl$  имеет максимальные значения - 4.3 и 4.1. По мере возрастания воздействия на формирование химического состава вод процесса испарения, это отношение постепенно снижается и, уже, в сульфатном типе составляет 2.9, в содовом III подтипа - 1.7. Минимальное значение этого показателя фиксируется в хлоридном типе и составляет 1.2. За счет испарения в озерах накапливается преимущественно хлор и натрий, при этом рост содержания натрия опережает рост хлора. Это означает, что имеется дополнительный его источник, в качестве которого выступают горные породы ложа и берегов озер, с которыми

вода непрерывно взаимодействует и растворяет. По средним оценкам, произведенным диссертантом, за счет испарения в содовых озерах I подтипа натрия накапливается 31% , во II подтипе- 41 % , в III подтипе - 76%, в сульфатном типе - 48%, а в в хлоридных озерах 99%.

Диссертантом показано, что процесс связывания химических элементов вторичными минералами начинается уже на водосборных территориях, поскольку все подземные воды насыщены к глинистым минералам и гидроксидам Al и Fe, а 55% также к кальциту и доломиту. Наличие равновесия подземных вод с карбонатными и глинистыми минералами уже в пределах водосборных территорий ограничивает концентрирование в них Ca, Mg, Fe, K, Al, частично Si и некоторых микрокомпонентов. Появление геохимических барьеров в виде вторичных минералов резко изменяет направленность формирования состава подземных вод: ограничение концентрирования Ca, Mg и K автоматически обеспечивает среди ведущих катионов рост содержаний Na, что особенно четко проявляется в подземных водах на территории бассейнов с внутренним стоком, т.е. там, где замедлен водообмен.

Поставленные в диссертации задачи выполнены. Диссертантом показано, каким образом происходит формирование химического состава соленых озер в Восточном Забайкалье.

Непрерывное растворение эндогенных горных пород приводит к накоплению подвижных элементов в растворе. Часть компонентов связывается вторичными минералами, а подвижные накапливаются в растворе. Наиболее масштабно такие процессы проявлены в содовых озерах, что подтверждается наличием в них наиболее высоких значений рН, которые являются свидетельством максимального по масштабам взаимодействия таких вод с первичными алюмосиликатами, гидролиз этих минералов обеспечивает рост рН и, соответственно, высокое содержание карбонатных ионов. В этом типе озер активно концентрируются Na, U, Th, As, F, редкоземельные элементы и др., для которых щелочная среда благоприятна для их накопления. Содовые озера содержат и высокие концентрации хлорида, который выщелачивается из горных пород, и постепенно, за счет испарения воды, накапливается в растворе. По-другому ведет себя сульфат-ион. Его содержание ниже, чем должно было быть, исходя из его концентрации в выветривающихся горных породах. Это происходит потому, что во многих озерах активно протекают процессы микробиологического восстановления сульфатов. Наличие в озерах мощных иловых отложений и органического вещества способствует формированию восстановительной геохимической среды с накоплением сероводорода. Масштабы таких процессов разные в каждом озере и доля восстановленных форм серы, поэтому тоже разная. И только в редких случаях, когда в озере сульфат редукция проявлена слабо, а горные породы содержат значительное количество сульфидов (и сульфатов?), формируются озера сульфатного типа. Формирование хлоридных озер происходит в условиях относительно слабого водообмена в неглубоких озерах с высокой степенью испарения и при наличии процессов сульфат редукции. Степень взаимодействия с алюмосиликатами в таких озерах относительно небольшая. Геохимические условия в таких озерах благоприятствуют концентрированию наряду с Na и Cl, также Li, Br, Sr.

В диссертации изложены результаты многолетних теоретических и прикладных исследований, выполненных лично автором, либо при его непосредственном участии при выполнении различных научных программ. По теме диссертации опубликовано 54

работы, в том числе 2 монографии, 28 статей в журналах из списка ВАК. Основные положения диссертации докладывались и обсуждались на международных и российских научных конференциях. В автореферате отражены основные положения диссертации, содержание автореферата соответствует тексту диссертации.

#### Замечания

1. Не понятно для чего выделены I, II, III подтипы содовых вод, ведь известна классификация по химическому составу вод О.А. Алекина, где воды смешанного анионного состава разделяются по соотношению анионов и катионов. Это же соотношение между анионами и катионами используются в формуле Курлова и все воды хорошо разделяются.
2. Если в химическом составе преобладают не карбонатные ионы, а хлоридные и сульфатные, то такие воды уже нельзя называть содовыми по определению, так как сода это карбонат натрия. В таблице 2.1 приведен химический состав соленых озер по выделенным типам и подтипам, где содовый тип: подтип II и подтип III даже по средним содержаниям не относятся к гидрокарбонатному или карбонатному химическому типу. В них содержание суммы гидрокарбонат, карбонат меньше, чем содержание сульфата и хлорида.
3. На рис. 7.1 приведено распределение изотопных отношений водорода и кислорода. Если хлоридный тип вод, по вашим представлениям, формируется за счет испарения, то эти воды должны иметь и самый утяжеленный изотопный состав кислорода, так как при испарении улетает в большей степени легкий кислород. А мы видим, что содовый тип и даже сульфатный тип озер имеют более тяжелый кислород. С чем это связано?
4. В работе не рассмотрено воздействие процессов вымораживания, которые ежегодно воздействуют на концентрирование компонентов в озерах и высаживание труднорастворимых соединений.
5. Главы 5, 6 и 7 можно было объединить под общим названием «Изотопные исследования...», так как они не большие по объему и содержат по одному подразделу.
6. На рис. 1.1, 1.3 не указан масштаб, на рис. 2.8 надо писать зависимость рН от минерализации, а не наоборот, т.к. рН определяется минерализацией.

#### Заключение

Несмотря на указанные замечания, представленные в диссертации научные положения, вносят значимый вклад в развитие науки. Научные положения, выводы, рекомендации обоснованы представленным фактическим материалом, полученным с применением современных методов исследования, достоверность полученных результатов обеспечена использованием данных, полученных в аккредитованных лабораториях.

Диссертация «Геохимия солёных озер Восточного Забайкалья» соответствует требованиям, предъявляемым к докторским диссертациям «Положением о порядке присуждения ученых степеней», «Положением о совете по защите диссертаций...»,

требованиям установленным ВАК РФ, а ее автор Борзенко Светлана Владимировна заслуживает присуждения ученой степени доктора геолого-минералогических наук по специальности 25.00.09 –Геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых.

Зам.директора ГИН СО РАН,  
Д.г.-м.н.

А.М. Плюснин

07.05.2018 г.

Подпись Плюснина Алексея Максимовича автора отзыва заверяю.

Начальник отдела кадров Федерального государственного бюджетного учреждения науки Геологический институт Сибирского отделения Российской академии наук

Зангеева Светлана Альбертовна

« 07 » мая 2018 г.



Зангеева С.А.