

УДК 546.16:550.42(571.55)

## ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ВОД ОЗЕР ЧИТИНО-ИНГОДИНСКОЙ ВПАДИНЫ (ВОСТОЧНОЕ ЗАБАЙКАЛЬЕ)\*

© 2014 г. С.В. Борзенко

*Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН*

Поступила в редакцию 26.06.2013 г.

На территории Забайкалья распространены многочисленные озера континентального типа. В химическом составе озерных вод преобладают хлоридные и карбонатные соли натрия, сульфаты содержатся в малых количествах. Испарительное концентрирование вод, участвующих в солевом питании озер, обеспечивает накопление исходных компонентов, но их содержания в озерах растут неравномерно, так как на формирование химического состава вод влияют биогеохимические процессы, в частности, сульфатредукция, протекающая не только в донных отложениях, но и в водной толще озер.

**Введение.** В настоящее время минеральные озера становятся объектами всесторонних исследований. Эти озера отличает уникальный химический состав вод и многообразие бактериальной жизни [2, 14 и др.]. Все чаще они рассматриваются как сырьевые источники редких и редкоземельных элементов, промышленная эксплуатация которых не требует дорогостоящих и экологически опасных разработок [10]. Интерес к озерам связан с добычей солей, которая практиковалась в Забайкалье ранее. Привлекают внимание исследователей озера, в том числе и минеральные, при реконструкции климатических изменений прошлого по донным осадкам. При этом используются различные в том числе, и биогеохимические показатели [9]. Тем не менее, многие фундаментальные задачи остаются не решенными, в их числе генезис содовых озерных вод. Согласно основной гипотезе, содовый состав вод рассматривается как определенный этап эволюции озер [4, 14 и др.]. Хотя в озерах аккумулируется огромное количество органического вещества, роль внутриводоемных биологических процессов при этом традиционно не рассматривается, несмотря на показанное их значение для формирования химического состава озерных вод [7]. В этой связи изучение различных

сторон функционирования таких озер прояснит все многообразие сложных взаимосвязанных и взаимообусловленных процессов.

**Объекты исследований.** Все рассматриваемые озера расположены в днище Читино-Ингодинской межгорной впадины (рис. 1), одной из наиболее крупных впадин Забайкалья протяженностью до 260 км при средней ширине 17 км и общей площади около 4400 км<sup>2</sup> [15]. Северо-западный край впадины переходит в холмистые предгорья Яблонового хребта, а юго-восточный – в террасовый рельеф предгорий хребта Черского. Хребты и впадина протягиваются параллельно друг другу и ориентированы в северо-восточном и юго-западном направлении. Осадочное выполнение впадины представлено нижнемеловыми конгломератами, дресвяниками, алевролитами, аргиллитами и песчаниками, перекрытыми четвертичными рыхлыми отложениями. Мощность осадочного чехла в центральной части котловины достигает 1700 м, в 20 км к юго-западу кристаллический фундамент залегает уже на глубине 200 м [5]. По днищу котловины в виде гирлянды расположились бессточные озера. Самое крупное из них оз. Дорнинское. Площадь его около 5 км<sup>2</sup>, максимальная глубина около 6.5 м. Площадь остальных редко превышает 1 км<sup>2</sup>, глубина их не более 3 м.

В пространственном размещении озер нет определенной закономерности, часто озера с водами разного состава и минерализацией распола-

\* Работа выполнена при поддержке интеграционного проекта СО РАН № 56 “Прогнозное моделирование и междисциплинарные комплексные исследования многолетней динамики состояния экосистем меромиктических озер Сибири”.

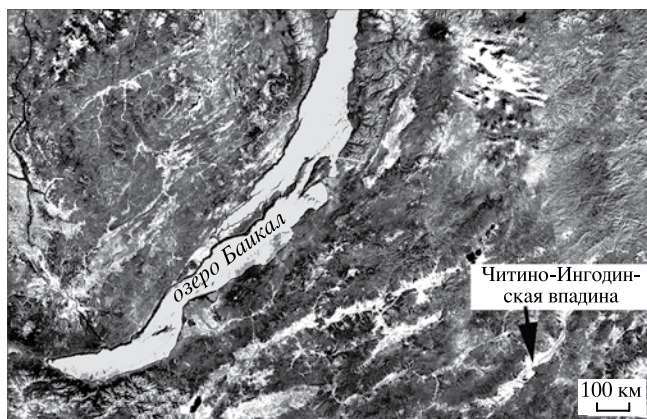


Рис.1. Схема расположения Читино-Ингодинской впадины.

гаются на небольшом удалении друг от друга. Формирование их обусловлено, главным образом, процессами испарительного концентрирования, в ходе которого по мере роста солености должна происходить смена химического состава от карбонатного к сульфатному и на последней стадии – к хлоридному. Такая смена объясняется последовательным выпадением в осадок солей по мере насыщения вод сначала по наименее растворимым карбонатам щелочноземельных катионов, затем по их сульфатам и т.д. [14]. Фактическое распределение химических компонентов в водах изученных озер (табл. 1) отличается от указанной схемы метаморфизации. Только в пресных озерах анионный состав воды был собственно карбонатно-гидрокарбонатным ( $\text{CO}_3^{2-}$  и  $\text{HCO}_3^-$ ), в минеральных озерах вторым по значимости был ион хлора

( $\text{Cl}^-$ ), в отдельных случаях он занимал лидирующее положение. Сульфаты ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) главенствовали лишь в единственном случае, в остальных концентрация их была ниже 20%-эквивалентов.

Опережающий рост содержания хлор-иона в сравнении с сульфат-ионом в озерных водах не соответствует соотношению этих анионов в подземных водах, обеспечивающих основную долю солевого питания озер. Эквивалентные концентрации его в среднем ниже, чем сульфата (рис. 2). Поэтому до насыщения воды по сульфатным минералам и их выпадения в осадок в общем случае хлорид и сульфат-ионы должны накапливаться в равных пропорциях. В действительности в водах изученных озер не только не происходит пропорционального с хлоридами накопления сульфатов, но по темпам накопления они отстают, а содержания гидрокарбоната и карбоната по сравнению с ними в большинстве случаев растут более интенсивно. Такая ситуация не согласуется с общими представлениями и требует особого рассмотрения.

**Методы исследований.** В данной статье представлены результаты гидрохимических исследований, выполненных в августе 2012 г. (табл. 1). Химико-аналитические измерения водных проб выполнены по общепринятым методикам. Концентрации кальция (Ca) и магния (Mg) определялись методом атомной абсорбции в закисно-ацетиленовом пламени на спектрофотометре SOLAAR 6M. Для определения натрия (Na) и калия (K) использован пламенно-эмиссионный метод. Потенциометрически с применением

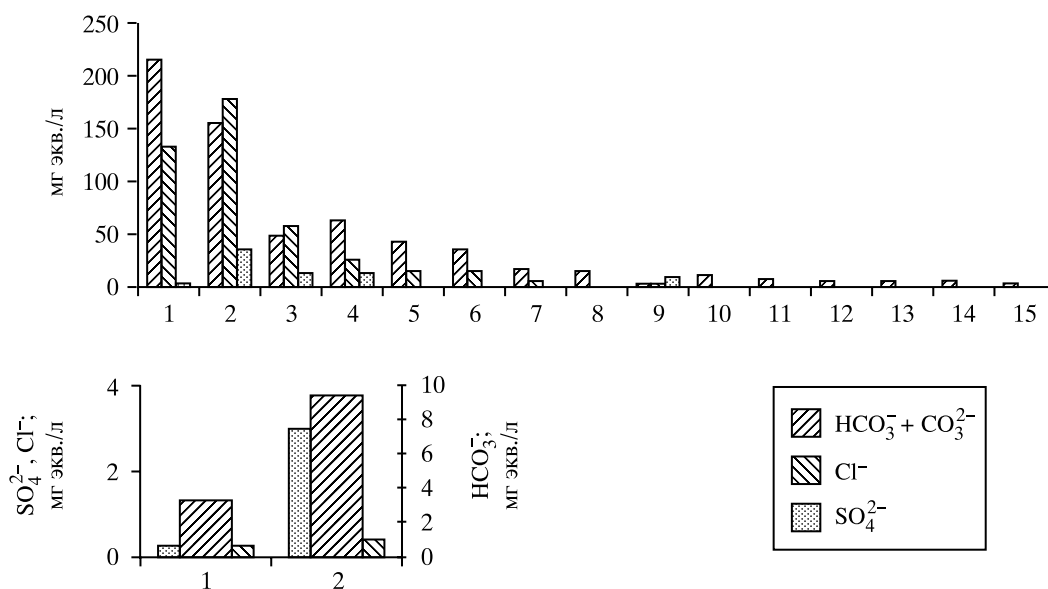


Рис. 2. Распределение основных анионов в озерных (а) (по номерам проб табл. 1) и подземных (б) водах Читино-Ингодинской впадины.

Таблица 1. Основные химические параметры озер Чигино-Ингодинской впадины

№	Озера	pH	мг/л			г/л						M	Формула химического состава озерной воды (более 20% экв.)	
			ПО	O <sub>2</sub>	ΣS <sub>в.с.</sub>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Cl <sup>-</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>			Ca <sup>2+</sup>
1	Доронинское	9.8	34.2	5.52	0.033	12.9	0.13	4.71	10.2	0.13	0.03	0.01	28.2	$([\text{HCO}_3^-] + [\text{CO}_3^{2-}])67[\text{Cl}^-]33$ $[\text{Na}^+]99$
2	Чепчек-2	9.6	83.4	9.22	<0.002	9.34	1.69	6.33	8.65	0.04	0.03	0.01	26.1	$[\text{Cl}^-]48([\text{HCO}_3^-] + [\text{CO}_3^{2-}])41$ $[\text{Na}^+]99$
3	Торм	9.0	18.8	9.14	<0.002	2.78	0.59	2.09	3.22	0.01	0.03	0.01	8.73	$[\text{Cl}^-]49([\text{HCO}_3^-] + [\text{CO}_3^{2-}])40$ $[\text{Na}^+]98$
4	Чепчек-3	9.3	24.1	9.23	<0.002	3.77	0.61	0.96	2.61	0.02	0.02	0.01	8.01	$([\text{HCO}_3^-] + [\text{CO}_3^{2-}])61[\text{Cl}^-]26$ $[\text{Na}^+]99$
5	Бальзой	9.0	73.1	7.52	0.013	2.59	0.09	0.08	1.53	0.02	0.02	0.01	4.34	$([\text{HCO}_3^-] + [\text{CO}_3^{2-}])56[\text{Cl}^-]23$ $[\text{Na}^+]89$
6	Хундуйское	9.5	97.4	7.88	0.101	2.10	0.07	0.54	0.97	0.04	0.09	0.01	3.82	$([\text{HCO}_3^-] + [\text{CO}_3^{2-}])69[\text{Cl}^-]28$ $[\text{Na}^+]86$
7	Чепчек-1	9.1	36.7	9.25	<0.002	1.03	0.2	0.18	0.49	0.01	0.03	0.01	1.95	$([\text{HCO}_3^-] + [\text{CO}_3^{2-}])74[\text{Cl}^-]23$ $[\text{Na}^+]79$
8	Лебединское	9.9	23.9	8.17	0.044	0.86	0.01	0.03	0.32	0.005	0.03	0.01	1.27	$([\text{HCO}_3^-] + [\text{CO}_3^{2-}])94$ $[\text{Na}^+]83$
9	Болданка	9.9	16.8	7.85	0.007	0.25	0.44	0.09	0.31	0.002	0.02	0.02	1.13	$[\text{SO}_4^{2-}]52([\text{HCO}_3^-] + [\text{CO}_3^{2-}])29$ $[\text{Na}^+]84$
10	Хундуй-1	8.5	28.1	9.95	<0.002	0.67	0.02	0.01	0.13	0.003	0.05	0.03	0.91	$[(\text{HCO}_3^-) + (\text{CO}_3^{2-})]97$ $[\text{Na}^+]50[\text{Mg}^{2+}]38$
11	Танга	9.1	14.5	9.59	<0.002	0.46	0.02	0.04	0.12	0.002	0.01	0.02	0.67	$([\text{HCO}_3^-] + [\text{CO}_3^{2-}])84$ $[\text{Na}^+]62[\text{Mg}^{2+}]25$
12	Гореканское	9.1	19.8	9.81	<0.002	0.38	0.01	0.01	0.11	0.003	0.01	0.01	0.53	$([\text{HCO}_3^-] + [\text{CO}_3^{2-}])93$ $[\text{Na}^+]71$
13	Хундуй-2	9.0	19.5	9.69	<0.002	0.32	0.04	0.01	0.09	0.004	0.02	0.03	0.51	$([\text{HCO}_3^-] + [\text{CO}_3^{2-}])83$ $[\text{Na}^+]56[\text{Mg}^{2+}]22$
14	Большое	9.1	2.6	9.37	<0.002	0.29	0.03	0.01	0.07	0.002	0.02	0.01	0.43	$([\text{HCO}_3^-] + [\text{CO}_3^{2-}])84$ $[\text{Na}^+]55[\text{Mg}^{2+}]33$
15	Николаевское	9.1	34.2	9.83	<0.002	0.25	0.004	0.01	0.05	0.002	0.02	0.02	0.36	$([\text{HCO}_3^-] + [\text{CO}_3^{2-}])90$ $[\text{Na}^+]50[\text{Mg}^{2+}]28[\text{Ca}^{2+}]21$

Примечание: M – минерализация воды.

ионселективных электродов находились рН,  $\text{Cl}^-$ . Титрование применялось для определения содержания карбонатного комплекса  $\text{CO}_3^{2-}$  и  $\text{HCO}_3^-$ , величины перманганатной окисляемости (ПО). Сульфат-ион  $\text{SO}_4^{2-}$  определялся турбидиметрическим методом в виде сернокислого бария. Изотопный состав углерода карбонатов выполнен в лаборатории стабильных изотопов Дальневосточного геологического института ДВО РАН на установке Finnigan-MAT 252 (Германия). Сероводород (в нашем случае гидросульфид  $\text{HS}^-$ ), элементную  $\text{S}^0$  и тиосульфатную серу  $\text{S}^{0:4+}$  после перевода их в сульфидную форму находили по [2] фотометрическим (микроколичество) или йодометрическим (макроколичество) окончаниями. В статье представлена сумма  $\sum S_{\text{восст}}$  этих компонентов. Показатели погрешности измерений концентраций компонентов соответствовали требованиям ГОСТ 27384-87 "Вода. Нормы погрешности измерений показателей состава и свойств". Изучение минеральных равновесий в системе "вода-порода" проведено с использованием физико-химического моделирования по программе HG32 [3]. В основе этих расчетов лежат принципы химической термодинамики, позволяющие оценивать степень равновесности вод с различными карбонатами, сульфидами, силикатами, алюмосиликатами и др. и определить способность вод растворять и формировать различные минералы.

**Результаты и их обсуждение.** По программе термодинамического моделирования HG32 был выполнен расчет изменения состава вод при ее испарении. В качестве модели выбрано содовое оз. Доронинское. В расчетах использовали химический состав вод, участвующих в солевом питании озера (табл. 2). В качестве показателя степени испарения использовался хлор как наиболее консервативный компонент, не вступающий в реакции взаимодействия с образованием гидрогенных минералов в исследованном диапазоне солености.

Расчетный остаточный состав раствора при концентрировании воды до уровня содержания

хлора в воде озера по ионам в %-эквивалентном выражении был представлен соотношениями:  $\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^- - 45$ ;  $\text{Cl}^- - 27$ ;  $\text{SO}_4^{2-} - 26$ ;  $\text{Na}^+ - 97\%$ . В составе равновесных фаз основными были кальцит, доломит, магнезит и гипс.

Результат термодинамического расчета соответствует схеме метаморфизации вод при ее испарении, но существенно отличается от данных, полученных по озеру. При этом расчетные содержания сульфата (5945 мг/л) были выше, а суммы гидрокарбоната и карбоната (9056 мг/л) – ниже, чем в воде озера. Причины различных расчетных и фактических концентраций анионов можно объяснить следующим.

В озерах приходные статьи гидрохимического баланса карбонатов (кроме поступления с подземным и поверхностным стоком) складываются также за счет минерализации растворенных и накапливающихся в донных осадках органических веществ (ОВ). На высокие концентрации их в озерных водах указывают значения перманганатной окисляемости (табл. 1). Одним из источников ОВ служит подвергающийся бактериальной деградации детрит, который поступает с водосборов и продуцируется в самих водоемах сообществами водорослей и бактерий. В поверхностных горизонтах соленых озер суммарная продукция ОВ в летний период оценивается в среднем 11 мг  $\text{C}/(\text{м}^2 \cdot \text{сут.})$  [11].

Проведенные измерения  $\delta^{13}\text{C}$   $\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-}$  показали, что изотопный состав углерода, растворенного в воде оз. Доронинское карбонатного комплекса, обеднен изотопом  $^{13}\text{C}$  относительно атмосферного  $\text{CO}_2$  на 3.8‰ и составляет в среднем 0.15‰. Сдвиг в сторону облегчения изотопного состава свидетельствует о существенной роли биогенных источников углерода, так как  $\text{HC}^{12}\text{O}_3^-$  формируется в том числе за счет углерода  $\text{C}^{12}\text{O}_2$ , образующегося в результате бактериального разложения органического вещества и гидроксильной группы  $\text{OH}^-$  воды, по реакции:  $\text{OH}^- + \text{C}^{12}\text{O}_2 = \text{HC}^{12}\text{O}_3^-$ . В такой системе образуется

**Таблица 2.** рН, химический состав и минерализация вод в мг/л: оз. Доронинское ( $Q_1$ ); воды, участвующие в солевом питании оз. Доронинское ( $Q_2$ ); расчетный остаточный модельный раствор ( $Q_3$ )

рН	$\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-$	$\text{SO}_4^{2-}$	$\text{Cl}^-$	$\text{F}^-$	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{Na}^+$	$\text{K}^+$	М
9.98	12952	133.4	4715	11.4	7.37	35.8	10209	127	28190
7.55	19.6	1.55	0.81	0.02	3.15	1.67	1.83	0.25	28.9
9.45	9056	5945	4715	0.73	Е-5	0.60	10628	511	30856

изотонически легкий углерод гидрокарбоната и производного от него иона карбоната, т.к. бактерии включают в свой метаболизм органическое вещество, содержащее легкий изотоп  $^{12}\text{C}$  [12].

С микробиологическими процессами связано и отставание в накоплении в озерных водах (а нередко и вывод из них) сульфат-иона. При исследовании мелководных соленых озер было установлено, что аэробные организмы полностью поглощают кислород в первых метрах от поверхности донного осадка, обеспечивая, таким образом, анаэробные условия. Поэтому в этих водоемах анаэробная деструкция играет первостепенную роль в разложении органики. При наличии сульфатов распад ОВ идет в основном при участии сульфатредуцирующих бактерий (СРБ) до  $\text{HCO}_3^-$  и  $\text{H}_2\text{S}$ . Сульфатредукция в них является доминирующим анаэробным процессом в разрушении ОВ. Как правило, процесс протекает как в иловых отложениях, так и в водной толще – там, где возникают анаэробные условия. За счет восстановления сульфатов в соляных озерах Забайкалья вода минерализуется до  $35.0 \text{ мг/л } C_{\text{орг}}$  в сутки [11].

В содовом оз. Доронинское сероводород фиксировался по всей водной толще, включая приповерхностный кислородсодержащий слой [8], в придонных слоях в отдельные сроки его количество достигало  $195 \text{ мг/л}$ , а скорость сульфатредукции составляла  $55 \text{ мг/л } C$  в сутки. В озере выявлен широкий спектр бактерий, участвующих в круговороте серы. В аэробной зоне выделены бактерии *Halomonas* spp. и *Roseinatronobacter* sp., способные к окислению промежуточных (между сероводородом и сульфатной серой) недоокисленных соединений серы, таких как тиосульфатная ( $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$ ) и элементная  $\text{S}^0$ . В зоне хемоклина обнаружен сероокисляющий вид бактерий *Thioalcalivibrio* sp и пурпурные серобактерии *Thioalcalicoccus limnaeus* и др. [6]. Гидрохимическими исследованиями установлено одновременное присутствие сероводорода и продуктов его окисления, что является свидетельством параллельно протекающих в озере процессов бактериального восстановления сульфатов и процессов окисления образовавшегося сероводорода [2]. В отдельные годы происходит круглогодичное воспроизводство сероводорода. Основная его масса, соединяясь, главным образом, с железом с образованием сульфидов, захороняется в донных осадках. Сульфидные илы отмечались по многим озерам. Все эти процессы приводят к невосполнимым потерям сульфатов водной толщей, то есть к направленному процессу обессульфачивания озер.

Небольшая глубина озер и обилие биогенных элементов способствуют высокой продуктивности биоты, обусловленной двумя противоположными процессами – биогенной аккумуляцией и минерализацией органического вещества. Их количественная оценка обнаруживает взаимозависимость бактериальных и гидрогеохимических параметров через круговорот серы и углерода. Изотопный состав углерода растворенных карбонатов указывает на то, что они отчасти являются продуктом бактериальной деструкции органического вещества [1].

Из рассматриваемых озер сульфатредукция максимально была проявлена в содовых озерах Доронинское, Бальзой, Хундуйское, Болданка и Лебединское, в поверхностных слоях которых фиксировались сероводород и его производные (тиосульфатная и элементная сера) (табл. 1). Отсутствие восстановленной серы в аналитически определяемых количествах в остальных озерах можно объяснить небольшой глубиной этих водоемов, достаточно хорошей воздушной аэрацией и, как следствие, относительно высокими содержаниями растворенного кислорода в водной толще, из-за чего процесс сульфатредукции развивался только в донных иловых отложениях.

Очевидно, что формирование сульфатных вод возможно при наличии дополнительных источников поступления сульфатов [7]. В данном случае это касается сульфатного оз. Болданка. Несмотря на то, что сероводород фиксировался даже в поверхностном слое воды, тем не менее отмечалось накопление сульфат-иона. Возможно, что питание озера осуществляется в основном за счет трещинно-жильных вод зоны тектонических разломов, выходы которых установлены в предгорьях Яблонового хребта. Породы в этих зонах каолинизированы и часто несут сульфидную минерализацию, поэтому при средней минерализации вод  $100 \text{ мг/л}$  содержания сульфатов превышает  $30\%$ -экв [13].

Не менее важным фактором формирования гидрохимии озер является осадкообразование, связанное с насыщением воды по определенным гидрогенным минералам. По данным термодинамических расчетов (табл. 3), для озер характерен карбонатный тип седиментации. В составе гидрогенных выпадений в незначительном количестве могут присутствовать карбонаты кальция и магния, глинистые минералы (монтмориллониты, иллиты), цеолиты (хлориты) и сульфиды металлов и др. Известно, что при минерализации  $0.7 \text{ г/л}$  и рН более  $7.4$  [14] в природных водах достигается равновесие с кальцитом. С этого момента снижа-

Таблица 3. Некоторые равновесные минералы по результатам термодинамической оценки

Озера	Насыщение по минеральным фазам, мг/л							
	Доломит $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$	Кальцит $\text{CaCO}_3$	Магнезит $\text{MgCO}_3$	Фторапатит $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$	Монтмориллонит $\text{K}_3\text{Al}_1\text{-}_9\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$	Иллит $\text{Mg}_{2.75}\text{Al}_{1.5}\text{Si}_3\text{O}_{10}(\text{OH})_2$	Хлорит $\text{Mg}_{2.25}\text{Al}_{1.5}\text{Si}_{1.25}\text{O}_{10}(\text{OH})_4$	Троилит $(\text{Fe}^{2+})\text{S}_{\text{am}}$
Доронинское	5.32	6E-6	54.9	13.3	0.046	3E-3	5E-2	0.37
Чепчек-2	17.4	2E-7	3.21	1.94	4E-3	2E-3	2E-6	–
Торм	32.4	2E-7	5.02	2.03	2.00	E-4	6E-5	–
Чепчек-3	5.23	E-7	E-4	0.14	E-5	E-7	4E-6	–
Бальзой	26.2	9.33	55.7	0.07	E-10	E-5	E-8	0.07
Хундуйское	8.47	E-6	28.6	0.09	0.04	2E-6	6E-7	–
Чепчек-1	0.48	2E-6	2E-4	E-4	E-4	E-5	E-3	–
Лебединское	45.9	E-9	39.5	0.08	2E-5	2E-5	3E-12	0.25
Болданка	4.41	9E-7	4E-9	0.05	E-8	4E-8	E-8	0.02
Хундуй-1	11.2	9E-7	E-3	0.07	E-7	E-5	2E-10	–
Танга	7.13	9E-7	5E-4	0.09	E-7	2E-6	5E-8	–
Гореканское	4.80	8.60	2E-4	0.07	E-5	9E-8	2E-10	0.23
Хундуй-2	6.11	2.21	E-3	0.07	E-7	E-5	E-8	–
Большое	18.6	1.35	5.11	0.06	2E-5	9E-7	E-12	–
Николаевское	43.0	9E-7	E-3	0.09	3E-8	2E-6	E-12	E-4

Примечание: – не насыщено, E-3 (и пр.) – степень.

ются содержания кальция, а с дальнейшим ростом солености и магния, при насыщении вод по доломиту происходит переход к натриевому составу катионов. В рассматриваемом случае смешанный катионный состав вод отмечался только в пресных озерах, в минеральных он был исключительно натриевый.

Как показали расчеты, гипсовая стадия минералообразования, несмотря на достаточно высокую в ряде случаев соленость озер, не наступает, что главным образом обусловлено низкими содержаниями в озерных водах кальция и сульфат-иона. Отсутствует насыщение и основными минералами: содой, нахколитом, тронной, гидрогалитом и др., которые ограничивают содержания в водах таких компонентов, как: натрий, карбонаты и хлор. Поэтому эти компоненты накапливаются в озерных водах.

**Выводы.** Таким образом, минеральные озера являются продуктами сложного сочетания и взаимодействия геохимических и биохимических процессов, развивающихся в определенных ландшафтных и климатических условиях. Эти

процессы включают поступление солей и органических веществ с водным стоком и атмосферными осадками, концентрирование их в результате испарения водных масс, продуцирование и деструкцию органических веществ в самих озерах, осаждение солей в донные осадки и их растворение при изменении термодинамических условий и др.

Влияние биологических процессов на содержания в водах карбонатов и сульфатов очевидно, однако масштабы этого влияния различны и зависят от видового состава и интенсивности функционирования микробного сообщества в конкретном водоеме. Эвапоритовая седиментация ограничивает накопление в водах многих компонентов, но бактериальное продуцирование карбонатных комплексов при сопряженной сульфатредукции позволяет им концентрироваться до значительных величин. Доминирование того или иного процесса в формировании солевого состава вод определяет гидрохимическое разнообразие минеральных озер Читино-Ингодинской впадины.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Борзенко С.В. Геохимия и формирование содовых вод озера Доронинское (Восточное Забайкалье) / Автореферат дисс. ... канд. геол.-мин. наук. Томск, 2012. 20 с.
2. Борзенко С.В., Замана Л.В. Восстановленные формы серы в воде содового озера Доронинское (Восточное Забайкалье) // Геохимия. 2011. № 3. С. 268–277.
3. Букаты М.Б. Разработка программного обеспечения для решения гидрогеологических задач // Изв. ТПУ. 2002. Т. 305. Вып. 6. С. 348–365.
4. Валяшко М.Г. Геохимические закономерности современного соленакопления и образования современных соляных отложений на территории СССР // Тр. Всесоюз. науч.-исслед. ин-та галлургии. Вып. XXIII. 1952. С. 151.
5. Гидрогеология СССР. Т. XXI. Читинская область / Ред. Н.И. Толстихин. М.: Недра, 1969. 443 с.
6. Горленко В.М., Бурюхаев С.П., Матюгина Е.Б., Борзенко и др. Микробные сообщества стратифицированного содового озера Доронинское (Забайкалье) // Микробиология. 2010. Т. 79. № 3. С. 410–421.
7. Замана Л.В. Формирование и трансформация химического состава вод минеральных озер (на примере Забайкалья) // ДАН. 2009. Т. 428. № 3. С. 382–385.
8. Замана Л.В., Борзенко С.В. Сероводород и другие восстановленные формы серы в кислородной воде озера Доронинское (Восточное Забайкалье) // ДАН. 2007. Т. 417. № 2. С. 232–235.
9. Зыков В.В., Rogozin Д.Ю., Калугин И.А., Дарьин А.В. и др. Каротиноиды в донных отложениях озера Ши́ра как палеоиндикатор для реконструкции состояний озера (Россия, Хакасия) // Сибир. эколог. журн. 2012. Т. 19. № 4. С. 585–595.
10. Исупов В.П., Владимиров А.Г., Ляхов Н.З., Шварцев С.Л. и др. Ураноносность высокоминерализованных озер Северо-Западной Монголии // ДАН. 2011. Т. 437. № 1. С. 85–89.
11. Намсараев Б.Б., Намсараев З.Б. Микробные процессы круговорота углерода и условия среды обитания в щелочных озерах Забайкалья и Монголии // Тр. Ин-та микробиологии имени С.Н. Виноградского. Вып. XIV. Алкалофильные микробные сообщества. М.: Наука, 2007. С. 299–322.
12. Галимов Э.М. Геохимия стабильных изотопов углерода. М.: Недра, 1968. 226 с.
13. Степанов В.М. Гидрогеологические структуры Забайкалья. М.: Недра, 1980. 176 с.
14. Шварцев С.Л. Формирование концентрированных рассолов с позиции теории равновесия в системе вода–порода // Основы гидрогеологии. Геохимия. Новосибирск: Наука, 1982. С. 206–210.
15. Ясько В.Г. Подземные воды межгорных впадин Забайкалья. Новосибирск: Наука, 1982. 169 с.

## Specific Features of Forming of Chemical Composition of Lake Waters in Chita-Ingoda Depression (east Transbaikalia)

S.V. Borzenko

*Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology, Siberian Branch, RAS, Chita*

Numerous lakes of continental type are widespread on territory of Transbaikalia. Chloride and carbonate salts of natrium prevail in chemical composition of lacustrine waters, but water contains only small amount of sulfates. The salinization of river waters due to evaporation provides the accumulation of chloride and carbonate salts of natrium, as well as sulfates. But their concentration in lakes is growing unevenly, because biogeochemical processes, in particular, sulphate reducing processes, influence forming of chemical composition of waters. Sulphate reducing processes take place not only in the bottom sediments, but in the waters of lakes.