

УДК 546.16:550.42+630*561.24(571.55)

ГИДРОХИМИЯ СОЛЕННЫХ ОЗЕР ЮГО-ВОСТОЧНОГО ЗАБАЙКАЛЬЯ В ФАЗУ АРИДИЗАЦИИ КЛИМАТА В НАЧАЛЕ XXI ВЕКА

Замана Л.В., Вахнина И.Л.

*ФГБУН «Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН»,
Чита, e-mail: l.v.zamana@mail.ru*

В первую декаду текущего столетия, которая по дендрохронологическим данным оценивается как наиболее засушливая за последние 200 лет, функционировало менее половины из нескольких сотен озер. Они характеризовались большим диапазоном солености (от 1,3 до 330 г/л) и разнообразием анионного состава при отсутствии озер сульфатного типа, что обусловлено особенностями водного баланса конкретного водоема и протекающих в нем абиотических и биотических процессов.

Ключевые слова: соленые озера, динамика наполнения, испарительное концентрирование, химический состав, процессы формирования, сульфатредукция

HYDROCHEMISTRY OF SALT LAKES IN SOUTHEASTERN TRANSBAIKALIA IN THE TIME OF ARID PHASE OF CLIMATE CHANGE AT THE BEGINNING OF THE 21ST CENTURY

Zamana L.V., Vakhnina I.L.

*Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology SB RAS (INREC SB RAS),
Chita, e-mail: l.v.zamana@mail.ru*

In the first decade of this century, which by dendrochronological data is evaluated as the most arid over the past 200 years, less than half the functioning of several hundred lakes. They are characterized by a large range of salinity (from 1,3 to 330 g/l) and a variety of anionic composition in the absence of lakes sulfate-type, due to the peculiarities of the water balance of a particular body of water flowing in it and abiotic and biotic processes.

Keywords: salt lakes, dynamics of filling, evaporative concentration, chemical composition, formation processes, sulfate reduction

На юге Восточного Забайкалья на приграничной с Китаем и Монголией территории в водные климатические периоды насчитывается несколько сотен солоноватых и соленых бессточных озер [1]. Они приурочены к полуаридной зоне Даурских степей, происхождение их связано с испарительным концентрированием наполняющих водоемы пресных вод. Озера играют важную экологическую роль из-за положения на глобальном пролетном пути птиц, поскольку служат местами их гнездования или остановок при сезонных миграциях. Определенное значение имеют эти водоемы и в рыбохозяйственном отношении, некоторые озера при высоких уровнях и опреснении зарыблялись ценными видами (омуль, пелядь, сазан). За редким исключением, озера имеют небольшие размеры, в большинстве до 1–2 км², в засушливые годы многие из них, в том числе крупные, высыхают. Изменение гидрологического режима приводит к изменению гидрохимических и гидробиологических характеристик и перестройке озерных экосистем в целом [9].

Целью выполненных исследований было изучение гидрохимических характеристик озер в текущую фазу аридизации климата для последующего выявления зависимости их от гидрологического режима озер.

1. Динамика наполнения и высыхания озер

Основные гидрохимические характеристики, в особенности химический состав и соленость воды, изменяются при наполнении и высыхании озер, обусловленными колебаниями атмосферного увлажнения. По наблюдениям на наиболее крупном оз. Барун-Торей, имеющем при максимальном наполнении водную поверхность около 580 км², в межгодовых колебаниях его уровня выделяются циклы продолжительностью от 8–10 до 35 лет [10]. Во второй половине прошлого века наиболее высокие уровни в этом озере отмечались в 1963–1965 и 1998 годы при минимуме в 1982 г. [11], тогда как в первой половине, по литературным данным, Торейские озера (рис. 1) почти полностью высыхали трижды – в 1903–1904, 1921–1922 и 1944–1947 годы [8].

Об изменении водности озер за более продолжительный период можно судить по дендрохронологическим данным, поскольку, как показали исследования, в климатических условиях Восточного Забайкалья лимитирующим фактором кольцевых приростов деревьев служит атмосферное увлажнение [3]. Большинство отмеченных выше экстремумов, за исключением минимума в начале и максимума в конце про-

шлого века, практически совпадают с дендрохронологическими данными по сосне расположенного вблизи Торейских озер Цасучейского бора. Исходя из древесно-кольцевых хронологий (рис. 2), можно полагать, что эти самые большие в регионе водоемы (общая площадь акваторий до 880 км²) высохли также около 1860 г. и 1890 г., тогда как в первой половине 19 столетия гидрологический режим их был относительно устойчив, в течение 60 лет, по меньшей мере, озера были постоянно наполнены водой. Возможно, в этот период сформировались террасы высотой около 2 м, наблюдающиеся в котловинах некоторых озер (к примеру, у оз. Хилганта). Заслуживает особого внимания совпадение минимумов стандартизированных значений приростов с известными периодами сильных засух в европейской части России – засухами 1890–1892, 1921–1924, 1946, 1975 годов. Представленная дендрохронологическая шкала выходит, таким образом, за рамки узко региональной. Согласно этой хронологии, климатические колебания в регионе со второй половины XIX века усилились, так как амплитуды между экстремальными

значениями индексов в циклах прироста существенно возросли.

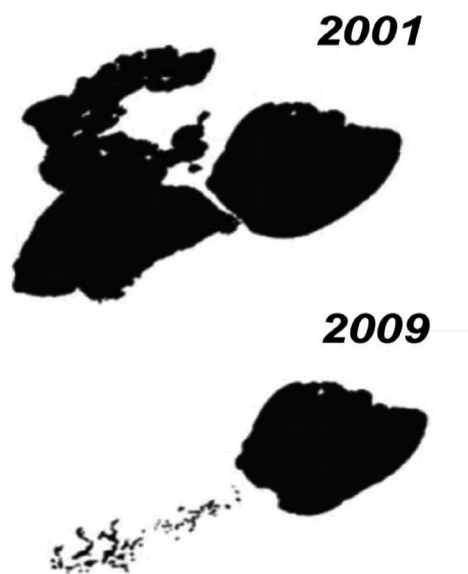


Рис. 1. Водная поверхность озер Барун-Торей (слева) и Зун-Торей в 2001 и 2009 гг. (космоснимки из Google)

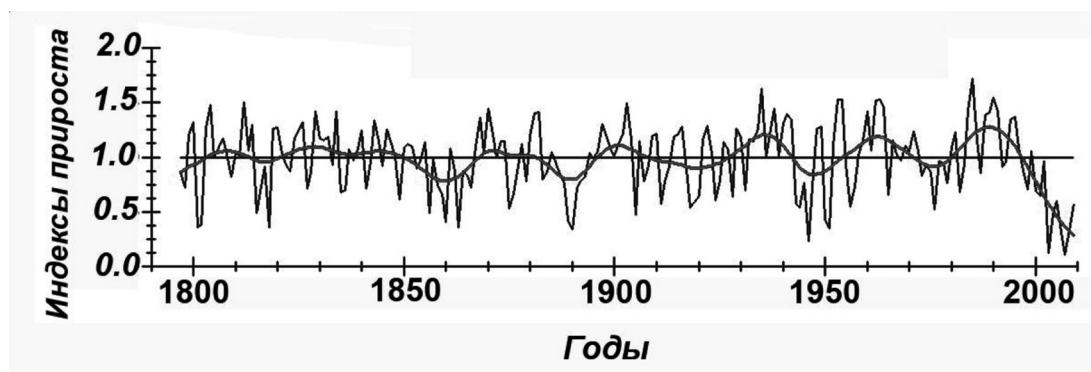


Рис. 2. Стандартизированная обобщенная древесно-кольцевая хронология по ширине годичных колец *Pinus sylvestris* Цасучейского бора (сглаженной линией показан полиномиальный тренд 6-го порядка)

Первая декада текущего столетия в северной части Даурского экорегиона по метеорологическим и дендрохронологическим [2] данным характеризуется как засушливая. При этом текущая фаза аридизации, начавшаяся в 1999 г., отличается, судя по индексам прироста, наибольшей сухостью климата за последние 200 лет. Причиной резкого усиления аридности стало наложение на низкую атмосферную увлажненность более высокой по сравнению с предшествующим периодом увлажнения температуры воздуха теплого сезона (рис. 3). В результате озеро Барун-Торей, имеющее при максимальном уровне глубину до 4,8 м, к 2009 г. превратилось

в небольшие лужи (рис. 1), а более половины озер полностью высохли [6]. Частичное наполнение озер произошло в июне 2013 г. в связи с прорывом на территорию тихоокеанских муссонов [4], но уже следующим летом из-за крайне малого количества осадков большинство их снова исчезло.

2. Соленость и химический состав озерных вод

По результатам выполненного в 2006–2009 гг. опробования соленость воды в озерах рассматриваемой территории достигала 329 г/л, в большинстве случаев она не превышала 25 г/л. Величина рН изменялась

в пределах 8,61–9,75. По преобладающему аниону соленые озера относятся к карбонатным ($\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-}$) и хлоридным (таблица), озера с преобладанием сульфата (сульфатные) в период исследований не выявлены. Сульфаты в количестве более 20% в сумме химических эквивалентов анионов (нижняя граница, определяющая название химического типа воды по классификации С.А. Шукарева) установлены как второй или третий по значимости анион в пятой части озер. Карбонаты доминируют преимущественно при солёности до 10 г/л, более солёные карбонатные озера встречаются редко, в них хлорид является вторым анионом, определяющим химический тип воды. При содержании солей до 1,5 г/л состав воды гидрокарбонатный натриево-магниевый. Заметную долю среди катионов в таких озерах может

иметь кальций. Встречаются озера с магниево-натриевым составом, как правило, минерализация воды в этих случаях не превышает 5 г/л. С ростом солёности независимо от преобладания карбоната или иона хлора смешанный катионный состав сменяется исключительно натриевым. Солёные озера с минерализацией от 25 до 50 г/дм³ чаще всего являются хлоридными. Среди рассольных озер (солёность более 50 г/л) выделяются сульфатно-хлоридные и хлоридные. Солёность последних в 3 озерах в отдельные периоды превышала 200 г/л (208–329 г/л). По данным других авторов, минерализация рапы в наиболее солёном в регионе озере Борзинском в августе 2006 г. была 310 г/л [12], а в октябре 2012 г. – 347 г/л [13], тогда как летом 2011 г., по нашим наблюдениям, озеро полностью высохло.

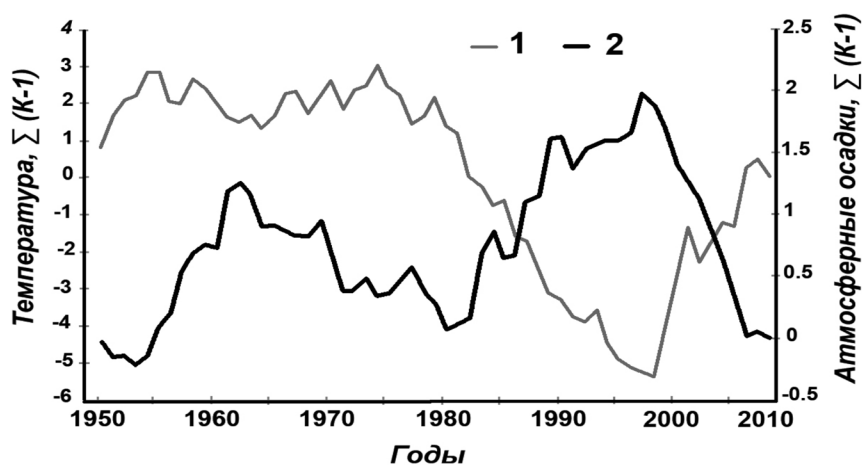


Рис. 3. Интегральные кривые температуры воздуха (1) и атмосферных осадков (2) в теплый период года в Даурском экорегионе [11]

Гидрохимические типы и минерализация воды (мг/л)
солёных озер Юго-Восточного Забайкалья

Гидрохимический тип	Название (дата опробования) – минерализация
1	2
Гидрокарбонатный кальциево-натриево-магниевый	Колосун-Нор (09.08.06)– 1345
Гидрокарбонатный натриевый	Безымянное озеро у с. Нов. Дурулгуй (29.08.09) – 4648
Хлоридно-гидрокарбонатный магниевый-натриевый	Байм-Булак (29.08.09) – 1770, Шалота (10.08.06)– 4251
Хлоридно-гидрокарбонатный натриевый	Усутуй (30.08.09) – 2114, Балыктуй (29.08.09) – 2122, Кудук (10.08.06) – 3395, Цаган-Нур (Дурулгуйское) (29.08.09) – 4491, Бильчир-Нур (29.08.09) – 13308, Цаган-Нор (Кункурское) (28.09.09) – 18539
Сульфатно-гидрокарбонатный натриевый	Хараганаш (10.08.06) – 5266
Сульфатно-хлоридно-гидрокарбонатный магниевый-натриевый	Барун-Холво (южное) (28.09.09) – 1086, Второе Хадабулакское (01.10.09)– 1107, Бусутуй-Нур (30.08.09) – 4310

Окончание таблицы	
1	2
Сульфатно-хлоридно-гидрокарбонатный натриевый	Хапчагайтуй-Нур (30.08.09) – 6875
Гидрокарбонатно-хлоридный натриевый	Нарым-Булак (08.09.08) – 3189, Нарым-Булак (08.08.06) – 3271, Баин-Цаган (30.08.09) – 3982, Укшинда (29.08.09) – 4279, Баин-Цаган (08.08.06) – 4475, Ходатуй (30.08.09) – 4863, Зун-Торей (26.08.08): поверхность – 5118, дно – 5769; Цаган-Нур (у с. Урта-Харгана) (29.08.09) – 5656, Бол. Якши (08.08.06) – 7620, Хадатуй (29.08.09) – 7915, Мал. Якши (08.08.06) – 8659, Барун-Торей (09.08.06) – 9701, Ихе-Нор (29.09.09) – 10025, Саган-Нор (10.08.06) – 11147, Уту-Нур (29.08.09) – 13231, Цаган-Торум (08.08.06) – 13328, Гашкой (29.08.09) – 14745, Дорбон-Турум (09.08.06) – 15398
Сульфатно-гидрокарбонатно-хлоридный натриевый	Харанор (30.09.09) – 4043
Сульфатно-хлоридный натриевый	Кункур (11.08.06) – 6105, Хилганта (25.08.08) – 16849, Засулан (29.09.09) – 43501, Цаган-Нор (Борзинское) (30.09.09) – 66233, Дабаса-Нор (29.09.09) – 86000, Бабье (30.09.09) – 92959
Хлоридный натриевый	Улан-Нор (09.08.06) – 13201, Куджертай (30.08.09) – 13890, Ганга-Нор (30.09.09) – 27613, Горбунка (25.08.08) – 41336, Зун-Холво (10.08.06) – 45093, безымянное озеро в 2 км от оз. Корбун-Тологой-Нор (29.09.09) – 46842, Улан-Нор (29.09.09) – 49956, Хара-Торум (30.09.09) – 57471, Багча-Цаган-Нор (30.09.09) – 60402, Холво (30.09.09) – 88389, Горбунка (10.08.06) – 208103*, Бабье (24.08.08) – 263858, Борзинское (24.08.08) – 305710, Борзинское (30.09.09) – 329152

Примечания: В скобках после названия озера – дата отбора пробы; *по данным О.А. Складовой.

Зависимости между общей минерализацией и составом макрокомпонентов наиболее ярко выражены по натрию и хлору (рис. 4), при этом по натрию все фигуративные точки практически находятся на прямой линии. Это позволяет использовать его

в качестве надежного показателя степени испарительного концентрирования питающих озера вод, в частности, при термодинамическом моделировании метаморфизации химического состава и озерной седиментации по мере сгущения рапы.

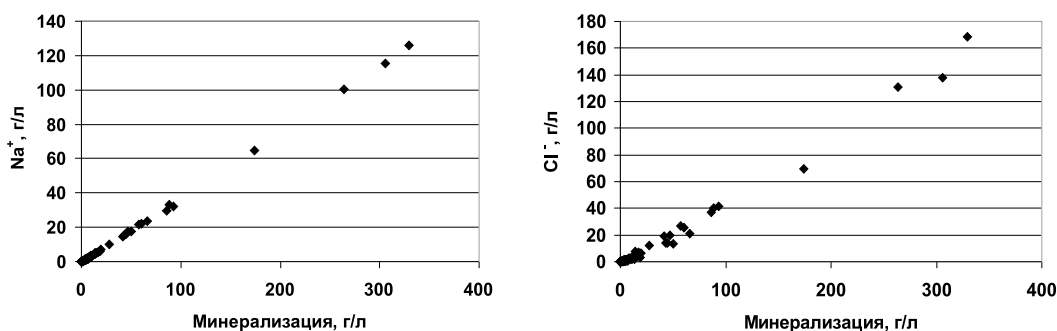


Рис. 4. Зависимость концентраций натрия и хлора от минерализации воды в соленых озерах Юго-Восточного Забайкалья

Многие авторы показали, что соленые озера являются концентраторами ряда микроэлементов (Li, Sr, F, P, Br, As, Se, W, U и некоторых других). То же характерно и для озер региона. Наиболее высокие концентрации, по нашим данным (химик-аналитик Хвостова Т.Е.), имел фтор (до 144 мг/л).

Ведущими процессами формирования гидрохимических характеристик соленых озер принято считать концентрирование рапы вследствие испарения и выпадение солей в осадок по достижению их растворимости, вследствие чего происходит направленная трансформация химического состава от карбонатного типа к сульфатному

и далее к хлоридному. Такая последовательность по схеме акад. Н.С. Курнакова, предложенной в первой трети прошлого столетия, объясняется осаждением солей по мере насыщения ими озерных вод, сначала наименее растворимых карбонатов кальция и магния, затем сульфатов кальция, натрия и т.д. Термодинамическими расчетами концентрирования пресных вод некоторых питающих соленые озера родников нами показано, что объяснить только этими процессами формирование химического состава часто невозможно [5, 7]. Необходимо учитывать гидробиологические процессы в самих озерах – продуцирование и деструкцию органических веществ и сульфатредукцию. С первыми связано обогащение озерных вод карбонатными компонентами, со вторым – удаление сульфатов из воды вследствие перевода серы в сульфидную форму и переход ее в виде сульфидов (преимущественно сульфида железа) в донные осадки. Протекание сульфатредукции в одном из озер подтверждает рис. 5, поскольку наличие пурпурных бактерий, использующих в процессе своей жизнедеятельности сульфидную серу в качестве донора электронов, наглядно свидетельствует о присутствии сероводорода в озерной воде.



Рис. 5. Бактериальный мат и пурпурные бактерии в прибрежной зоне озера Хоточей (50°18.402' с.ш., 114°57.816' в.д.). Фото 10.08.2013

Таким образом, соленые озера Юго-Восточного Забайкалья в рассматриваемую фазу атмосферного увлажнения, несмотря на общую для территории засушливость климатических условий, характеризуются широким диапазоном минерализации и разнообразием химического состава водных масс, что определяется особенностями водного баланса конкретного водоема и протекающих в нем абиотических и биотических процессов. В отсутствие озер собственно сульфатного типа, которые, по существующим пред-

ставлениям, должны возникать на определенной стадии эвапоритизации водоемов, доминирующую роль могут играть продуцирование органического вещества и восстановление сульфатов непосредственно в водной толще.

Исследования выполнены при поддержке междисциплинарного интеграционного проекта СО РАН № 38 «Минеральные озера Центральной Азии – архив палеоклиматических летописей высокого разрешения и возобновляемая жидкая руда».

Список литературы

1. Баженова О.И. Современная динамика озерно-флювиальных систем Онон-Торейской высокой равнины (Южное Забайкалье) // Вестник Томского гос. университета. – 2013. – № 371. – С. 171–177.
2. Вахнина И.Л., 2011. Древесно-кольцевой анализ периодичности засух в северной части Даурского экорегиона // Природоохранное сотрудничество: Россия, Монголия, Китай. – 2011. – № 2. – С. 26–29.
3. Вахнина И.Л. Древесно-кольцевая хронология по сосне обыкновенной в региональных условиях Восточного Забайкалья // Хвойные бореальной зоны. – 2013. – Т. 30, № 1–2. – С. 54–56.
4. Давыдова Н.Д. Динамика показателей степных геосистем Юго-Восточного Забайкалья в условиях глобальных изменений климата // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2014. – № 4. – С. 120–126.
5. Замана Л.В. Формирование и трансформация вод минеральных озер (на примере Забайкалья) // Докл. АН. – 2009. – Т. 428, № 3. – С. 382–385.
6. Замана Л.В. Соленые озера Забайкалья как индикаторы климатических изменений в северо-восточном секторе Центральной Азии // Социально-экономические проблемы развития приграничных регионов России-Китая-Монголии. – Чита: Экспресс-издательство, 2010. – С. 39–42.
7. Замана Л.В., Борзенко С.В. Гидрохимический режим соленых озер Юго-Восточного Забайкалья // География и природные ресурсы. – 2010. – № 4. – С. 100–107.
8. Кренделев Ф.П. Периодичность наполнения и высыхания Торейских озер (Юго-Восточное Забайкалье) // Докл. АН СССР. – 1986. – Т. 287. – № 2. – С. 396–400.
9. Куклин А.П., Цыбекмитова Г.Ц., Горлачева Е.П. Состояние водных экосистем озер Онон-Торейской равнины за 1983–2011 годы (Восточное Забайкалье) // Аридные экосистемы. – 2013. – Т. 19, № 3 (56). – С. 16–26.
10. Обязов В.А. Изменения температуры воздуха и увлажненности территории Забайкалья и приграничных районов Китая // Природоохранное сотрудничество Читинской области (РФ) и Автономного района Внутренняя Монголия (Китай) в трансграничных экологических районах: материалы науч.-практ. конф. – Чита, 2007. – С. 247–250.
11. Обязов В.А. Изменение климата и гидрологического режима рек и озер в Даурском экорегионе // Проблемы адаптации к изменению климата в бассейнах рек Даурии: экологические и водохозяйственные аспекты / Сборник научных трудов Государственного природного биосферного заповедника «Даурский». – Чита: изд-во «Экспресс», 2012. – С. 24–45.
12. Скляров Е.В., Е.В., Меньшагин Ю.В., Данилова М.А., Склярова О.А. Минерализованные озера Забайкалья и Северо-Восточной Монголии: особенности распространения и рудогенерирующий потенциал // География и природные ресурсы. – 2011. – № 4. – С. 29–39.
13. Цыбекмитова Г.Ц., Белозерцева И.А. Гидрохимия соленых озер Онон-Борзинского междуречья (Забайкальский край) // Вода: химия и экология. – 2014. – № 2 (67). – С. 3–8.