

вод в Горном Алтае в последние годы и до настоящего времени являются сейсмические события в Алтае-Саянском регионе.

3. В результате продолжающихся сейсмических событий в последние годы изменяется гидродинамический режим подземных вод и их качественный состав. Данные характеристики могут быть использованы для изучения сейсмической активности Алтая.

Таким образом, подготовка землетрясения, сопровождающаяся сложным комплексом изменения полей напряжения в земной коре, оказывает влияние на химический состав, содержание радона, режим и температуру подземных вод региона.

Исследования выполнены при поддержке гранта РФФИ №13-05-98072 р-сибирь.

Литература

1. Киссин, И.Г. Землетрясение и подземные воды [Текст] / И.Г. Киссин. – М. Наука, 1982. – 174 с.
2. Осипов, В.И. Геоэкология – междисциплинарная наука о экологических проблемах геосфер [Текст] / В.И. Осипов // Геоэкология. – 1993. – №1. – С. 4–17.
3. Трофимов, В.Т. Экологические функции литосферы [Текст] / В.Т. Трофимов, Д.Г. Зилинг, Т.А. Барабошкина [и др.]. – М.: Изд-во МГУ, 2000. – 432 с.
4. Трофимов В.Т. Экологическая геология [Текст] / В.Т. Трофимов, Д.Г. Зилинг. – М.: Геоинформмаркет, 2002. – 465 с.
5. Шитов, А.В. Эколого-геодинамическая оценка Чуйского землетрясения [Текст] / А.В. Шитов, В.Е. Кац, М.А. Харьковина // Вестник Моск. ун-та. Серия Геология. – 2008. – № 3. – С. 41–47.
6. Кац, В.Е. О механизмах изменения химического состава и температуры подземных вод в районе Горно-Алтайска [Текст] / В.Е. Кац, А.В. Шитов, С.С. Драчев // Геоэкология, инженерная геология, гидрогеология, геоэкология. – 2010. – №3. – С. 207-212.

ГЕОХИМИЧЕСКАЯ СПЕЦИФИКА ОЗЕРНЫХ ВОД КУЛУНДИНСКОЙ СТЕПИ АЛТАЙСКОГО КРАЯ

М.Н. Колпакова^{1,2}, С.Л. Шварцев^{2,3}, С.В. Борзенко⁴, В.П. Исупов⁵, С.С. Шацкая⁵

¹ *Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск, Россия, E-mail: marina.kolpakova@gmail.com*

² *Институт геологии и минералогии Сибирского отделения Российской Академии наук, Новосибирск, Россия*

³ *ФГБУН Томский филиал Института нефтегазовой геологии и геофизики Сибирского отделения Российской Академии наук, Томск, Россия*

⁴ *ФГБУН Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН, Новосибирск, Россия*

⁵ *ФГБУН Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, Чита, Россия*

Аннотация. Изучена геохимическая специфика озерных вод территории Кулундинской степи Алтайского края. Результаты исследования показали, что на территории развиты в основном хлоридные и реже содовые озера с натриевым составом. Представлено, что на накопление элементов в растворе наибольшее влияние оказывают испарение, вторичное минералообразование и различные биологические процессы.

Abstract. The geochemical specifics of lake water in Kulunda steppe area (Altai Krai, Russia) is described. The results showed mainly chloride and less soda lakes with a sodium compound are located there. It presented that the accumulation of elements in saline solution have the greatest impact of secondary minerals' formation and various biological processes.

Изучение закономерностей распределения элементов в природных водах, особенностей их миграции, а также выявление возможных источников этих элементов является одной из фундаментальных проблем в современной гидрогеохимии. Исследования, представленные в настоящей работе, выполнены на территории

Кулундинской равнины Алтайского края, где расположено более 5000 солёных озёр. В 1931-1933 гг. здесь была проведена первая масштабная работа Кулундинской экспедиции АН СССР под общим руководством акад. Н.С. Курнакова, посвященная изучению вопросов формирования солевого состава природных вод Кулунды. В последующие годы проводились исследования запасов и условий залегания твердых солей, а также рассматривались различные методы их эксплуатации [1, 3]. Незаменимый вклад в установлении химических типов озерных вод на данной территории внесла работа Ю.П. Никольской [9]. Исследование соленых озер степной части Алтайского края продолжается и в настоящее время: изучению гидрологических и морфологических особенностей [3, 8], флоры и микробиологического состава [7, 8], донных отложений [10] и т.д. Для изучения современного состояния вод соленых озер, в рамках комплексных экспедиций 2011-2015 гг. нами были изучены геохимические особенности около 30 солёных озёр и природных вод, находящихся на территории их водосбора. Обобщение этих материалов приводится в данной статье.

Для территории Кулундинской степи характерно ярко выраженное соленакопление, обусловленное длительным развитием процессов аккумуляции продуктов выветривания пород на фоне засушливого климата. Основным источником поступления солей в озерах являются грунты, их засоленность составляет 0,1-0,15% [7]. Взаимодействие этих, а также иных факторов [11] приводит к динамичному развитию систем солёных озёр, которые особо чётко реагируют на изменения внешних условий среды. Поэтому подобные системы требуют проведения регулярных комплексных исследований состава озерных вод.

В большинстве случаев, соленые озера Кулундинской степи являются мелководными водоемами со средней глубиной менее 2,5 м, максимальная глубина оз. Б.Яровое составляет 7,5 м. К наиболее крупной системе озер относятся связанные протокой озера Кучукское и Кулундинское, питающиеся реками с общей площадью водосбора около 24 тыс. км². Уровни воды в озерах колеблются в пределах 0,4-1 м. В засушливые годы площадь озер резко сокращается [4].

Данные, полученные в ходе работ (табл.), свидетельствуют о наличии на территории исследования озер двух химических типов (классификация Курнакова-Валяшко): хлоридного и карбонатного (содового).

Карбонатный (содовый) тип озер отличается широким диапазоном общей минерализации, которая варьирует от умеренносолоноватых до крепких рассолов: минерализация достигает 107 г/л, при этом среднее ее значение составляет 29 г/л. При этом доля карбонатов ($\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-$) в водах редко достигает 50 экв.%, в среднем ее значение составляет 25 экв.%. При этом, в катионной составляющей озерных вод всегда преобладает Na^+ (в среднем – 85%) на фоне весьма низких концентраций кальция и магния (2 и 11 экв.%, соответственно). Величина рН вод изменяется от 8,9 до 9,9, что определяет отнесение этих вод к карбонатному (содовому) типу.

Хлоридный тип озер по сравнению с содовыми характеризуются более высокой соленостью (20 – 590, среднее – 247 г/л, табл. 1), но значительно меньшими значениями рН (7,2 – 9,0, среднее – 7,75). Среди катионов преобладает натрий (среднее – 74 экв.%), магния в водах данного типа несколько больше, чем в содовом – 26 экв.%.

Для озер обоих типов характерно равное содержание сульфат-ионов, изменяющееся от 2 до 28 экв.%, при среднем содержании 11-13 экв.%. Отставание в накоплении в водах кальция и карбонатного комплекса $\text{HCO}_3 + \text{CO}_3^{2-}$ объясняется образованием кальцита на ранних стадиях эволюции вод [11]. С образованием гипса и микробиологическими процессами связывают непропорциональный рост сульфатов относительно хлоридов [5].

Таблица

**Минимальные, максимальные и средние значения состава озерных вод
Кулундинской степи, мг/л**

| Параметр | Карбонатный (содовый) тип (кол-во объектов – 10) | | | Хлоридный тип (12) | | |
|-------------------------------|---|-------|---------|-----------------------|--------|---------|
| | Мин. | Макс. | Среднее | Мин. | Макс. | Среднее |
| pH | 8,9 | 9,89 | 9,49 | 7,20 | 8,95 | 7,75 |
| CO ₂ | н.о.* | 4 | 1,2 | н.о. | 255 | 75 |
| CO ₃ | 24 | 25800 | 5044 | н.о. | 396 | 54 |
| HCO ₃ ⁻ | 415 | 8845 | 3156 | 46 | 1610 | 828 |
| SO ₄ ²⁻ | 88 | 18840 | 4011 | 4865 | 97224 | 37359 |
| Cl ⁻ | 188 | 26306 | 6451 | 6200 | 190400 | 120025 |
| Ca ²⁺ | 5 | 32 | 16 | 0 | 993 | 218 |
| Mg ²⁺ | 7 | 228 | 85 | 970 | 81630 | 14936 |
| Na ⁺ | 250 | 35615 | 9216 | 5580 | 130000 | 70571 |
| K ⁺ | 11 | 294 | 72 | 20 | 700 | 230 |
| Si | 0,2 | 42 | 11 | 0,1 | 42 | 8 |
| Минерализация, г/л | 1,0 | 107 | 29 | 20 | 591 | 247 |

Примечание: *н.о. – не обнаружено

В целом стоит отметить весьма логичную схожесть макрокомпонентного состава озерных вод Кулундинской степи с водами хлоридных озер близлежащей территорией Ишимской степи (Северный Казахстан) и несколько завышенные значения в сравнении с озерами хлоридного типа Западной Монголии [12]. Как показано на рис. 1, рассматриваемые озера отличаются много меньшими значениями кальция (1 до 24 мг/л) в сравнении с озерами Северного Казахстана, где его содержание в озерах данного типа достигает 3 г/л. В тоже время, они отличаются меньшими концентрациями Mg и SO₄, что, видимо, связано с отсутствием дополнительных источников этих элементов.

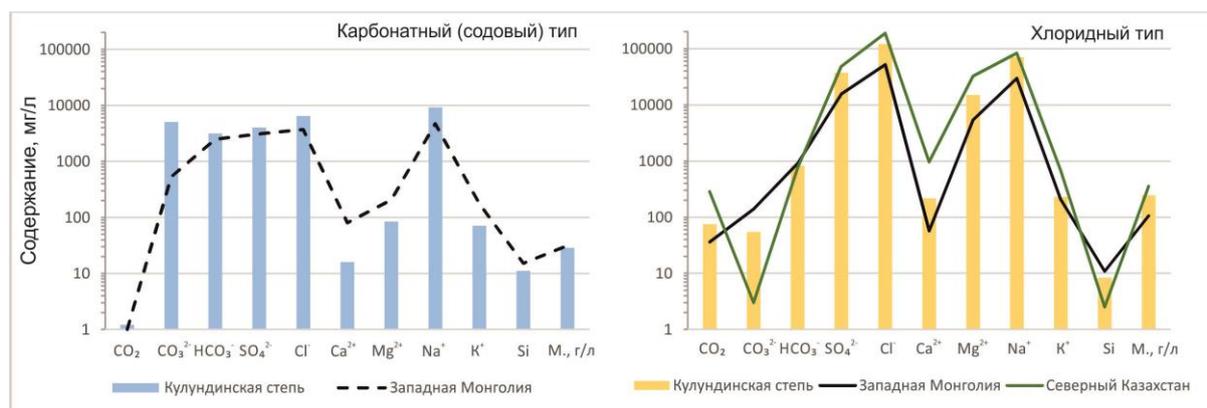


Рис. 1. Сравнительная характеристика состава озерных вод карбонатного (содового) и хлоридного типов на территориях Кулундинской степи (Алтайский край), Ишимской степи (Северный Казахстан) и Котловины больших озер (Западная Монголия).

Важным фактором формирования гидрохимии озер является осадкообразование, связанное с насыщением воды по определенным минеральным фазам. По данным

термодинамических расчетов, для большинства озер характерен карбонатный тип седиментации, гипсовая стадия минералообразования не характерна для большинства изученных озер, что главным образом обусловлено мобилизацией кальция карбонатными минералами (активностями в водах кальция менее 10^{-3,8}). Напротив, минерализованные озера с рН ниже 9,0 (хлоридного типа) содержат кальций и сульфатов достаточно для формирования гипса. Очевидно, что с момента установления равновесия вод с гипсом содержания сульфатов в водах лимитируются. Поэтому на данном этапе трансформации химического состава вод равновесие с мирабилитом не достигается.

Таким образом, накопление сульфатов в эквивалентных количествах с хлоридами не происходит в виду бактериального восстановления до сероводорода [Колпакова и др., 2015], а также его удаления из раствора преимущественно в виде гидротроиллита. Хотя имеются доказательства того, что часть сероводорода окисляется, но и в этом случае возможны потери в виде элементарной серы и полисульфидов железа. В хлоридных озерах геохимическим барьером для сульфатов выступает гипс. Очевидно, что формирование собственно сульфатных вод (которых на исследуемой территории не обнаружено) в таком случае возможно при наличии особых условий – существовании дополнительных источников поступления в озера сульфатов.

Известно, что накопление в растворе ионов натрия и хлора идет по пути испарительного концентрирования [2]. Однако, из рис. 2а видно, что рост этих ионов с увеличением минерализации не равномерен и при более высоких минерализациях концентрация натрия в водах становится значительно меньше, чем содержание хлорид-ионов. Объясняется это связыванием ионов натрия в глинистые минералы. Хлорид-ион же на данном этапе развития системы «озерная вода - горная порода» не образует собственных минералов и продолжает накапливаться в растворе до наступления насыщения относительно хлоридов натрия или калия.

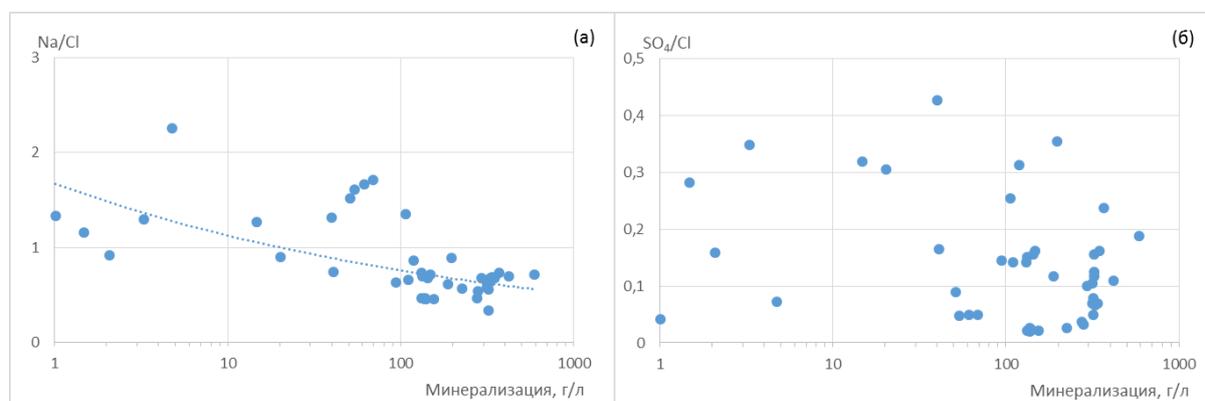


Рис. 2. Связь отношения Na/Cl (SO_4/Cl) и минерализации озер Кулундинской степи

Таким образом, на территории Кулундинской степи развиты преимущественно хлоридные и содовые озера с натриевым катионным составом. Озер сульфатного типа на рассматриваемой территории не обнаружено. Соленость озер (в некоторые годы) достигала 590 г/л, рН – 9,9. Рост минерализации озерных вод сопровождается увеличением содержания химических компонентов, однако их накопление в озерных водах неравномерно, поскольку на формирование химического состава воды влияют степень испарения, а также геохимические и биологические процессы. Отставание в накоплении в озерных водах сульфат-иона (рис.2б) связано с сульфатредукцией и выпадением вторичных минералов, в частности, сульфидов железа и гипса.

Исследование озерных вод в 2013-2014 г. проведено за счет средств гранта РФФИ № 13-05-00556, результаты 2015 г. получены за счет средств гранта Российского Научного Фонда (Проект № 15-17-10003).

Литература

1. Абрамович Д. И. Воды Кулундинской степи. Новосибирск, Наука, Сиб. отд-ние, 1960, 214 с.
2. Валяшко М.Г. Закономерности формирования месторождений солей. Издательство Московского Университета, 1962. 397 с.
3. Гроховский Л.М. Озерные месторождения солей, их изучение и промышленная оценка. М. : Недра, 1972, 168 с.
4. Добровольский Г.В., Сергеев Е.М., Герасимова А.С. Природные условия центральной части Западно-Сибирской равнины. М.: Изд-во МГУ, 1977. - 363 с.
5. Замана Л.В. Гидрохимия соленых озер Юго-Восточного Забайкалья и определяющие ее современные процессы / Л.В. Замана, С.В. Борзенко // География и природные ресурсы, 2010. № 4. С. 100-107.
6. Колпакова М.Н., Борзенко С.В., Исупов В.П., Шацкая С.С., Шварцев С.Л. Гидрохимия и геохимическая типизация соленых озер степной части Алтайского края // Вода: химия и экология. 2015. № 1. с. 11-16
7. Леонова Г.А., Бобров В.А., Богущ А.А., Бычинский В.А., Аношин Г.Н. Геохимическая характеристика современного состояния соляных озер Алтайского края // Геохимия, 2007. №10. С. 1114-1128.
8. Лузгин Б.Н. Штрихи к состоянию равновесия Кулундинской солеродной системы // География и природопользование Сибири. 2010. №12. С. 97-110.
9. Никольская Ю.П. Процессы солеобразования в озерах и водах Кулундинской степи. Новосибирск: Изд-во СО АН СССР, 1961. 481 с.
10. Страховенко В.Д., Щербов Б.Л., Маликова И.Н., Восель Ю.С. Закономерности распределения радионуклидов и редкоземельных элементов в донных отложениях озер Сибири // Геология и геофизика, 2010, т. 51, № 11, с. 1501-1514.
11. Шварцев С.Л. Гидрогеохимия зоны гипергенеза. – 2-е изд., исправл. и доп. М.: Недра, 1998. 336с.
12. Шварцев С.Л., Колпакова М.Н., Исупов В.П., Владимиров А.Г., Ариунбилэг С. Геохимия и формирование состава соленых озер Западной Монголии // Геохимия. 2014. №5. С. 432-449.

ЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ НАТЁЧНЫХ ОБРАСТАНИЙ В ПЕЩЕРЕ СНЕЖНАЯ (АБХАЗИЯ)

Л.М. Кондратьева¹, О.С. Полевская¹, Н.С. Коновалова²

1 Институт водных и экологических проблем Дальневосточное отделение Российской академии наук, Хабаровск, Россия, E-mail: iver@iver.as.khb.ru

2 Институт тектоники и геофизики им. Ю.А. Косыгина Дальневосточное отделение Российской академии наук, Хабаровск, Россия, E-mail: itig@itig.as.khb.ru

Аннотация. Представлены результаты исследования элементного состава натечного образования в карстовой пещере Снежная (Абхазия), полученные на электронном сканирующем микроскопе (EVO-40HV, Carl Zeiss) с помощью кремний-дрейфового рентгеновского детектора X-MAX 80 мм². Показано, что элементный состав определяется микроструктурами, в которых происходит концентрирование отдельных элементов. В обследованном натечном образовании обнаружены локусы с повышенным содержанием железа (до 53 вес.%) и магния (до 22 вес.%). Независимо от микроструктуры доля кальция не превышала 0,79 вес.%.

Abstract. The results of a study of the elemental composition of speleothems in the karst cave Snezhnaya (Abkhazia), obtained in a scanning electron microscope (EVO-40HV, Carl Zeiss) with silicon drift X-ray detector X-MAX 80 mm² are presented. It is shown that the elemental composition is formed by microstructures in which the concentration of individual elements occurs. Loci with high iron