ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЯ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В СИСТЕМЕ ВОДА-ДОННЫЕ ОТЛОЖЕНИЯ ОЗЕР ГУСИНООЗЕРСКОЙ ВПАДИНЫ

Хажеева З.И., Санжанова С.С.

Геологический институт СО РАН, г. Улан-Удэ, Sanzhanova7@rambler.ru

АННОТАЦИЯ: В работе приведены результаты исследований химического состава воды озер Гусиноозёрской впадины. Установлено, что в лесостепных ландшафтах Забайкалья на небольшой территории процессы формирования природных вод происходят по-разному, что отражается в смене химических типов воды малых озер. Проведен анализ миграции химических элементов в системе вода-почва на основе коэффициента геохимической подвижности.

Геохимические процессы и ландшафтные условия определяют миграционные потоки элементов и формируют их региональные фоновые уровни. Закономерности распределения и концентрирования химических элементов в разных ландшафтных обстановках в процессе осадкообразования в малых озерах обнаруживают широкие вариации химического состава вод. Содержание элементов в воде озер зависит от степени их извлечения из горных пород, контролируемое процессами взаимодействия вода-порода, эвапоритизации, физико-химическими свойствами самих элементов и геохимической обстановкой.

Объектами исследования настоящей работы являются озёра гусино-убукунской группы. Название дано по двум главным водоемам – оз. Гусиное и р. Убукун [1, 2]. Основой для такого объединения послужило расположение их в пределах Гусиноозёрской межгорной тектонической впадины мезозойского возраста, ограниченной на северо-западе Хамбинским, а на юго-востоке Моностойким хребтами (рис. 1).

Морфометрические характеристики исследованных озер приведены в табл. 1.

Таблица 1. Морфометрические характеристики исследованных озер Гусиноозёрской впадины

Озеро	H , м	Глубина, м	S_0
Белое	525	1-2	0,7
Сульфатное	650	До 2	0,76
Гусиное	549,5	20-25	164
Щучье	651	22-23	4,6

Примечание. H – абсолютные высоты, S_0 – площадь водного зеркала озер, км².

Гусиноозёрская котловина сложена породами различного возраста и генезиса. Изверженные породы представлены преимущественно гранитами (палеозой-мезозойский возраст) и эффузивами триаса и верхнего палеозоя. Среди метаморфических наиболее распространены гнейсы и кварциты докембрийского возраста, среди осадочных – континентальные отложения юрско-мелового возраста, а также рыхлые четвертичные образования [3]. Котловины всех озер заполнены континентальными осадками. В их составе принимают участие литологически различные породы – от крупно-галечных конгломератов и разнозернистых песчаников до алевритов и углей [4, 5].

Все озера гусино-убукунской группы находятся в идентичных климатических условиях. Резко континентальный климат озерной котловины характеризуется отрицательными показателями среднегодовых температур (-2, -3°C), коротким периодом безморозных дней (95-100), сравнительно небольшими горными осадками (200-300 мм), 50% которых приходится на июль-август и лишь 15% - на холодный период года. Из-за сильных морозов зимой (отрицательная среднемесячная температура воздуха сохраняется в течение 6 мес.) отмечается ко-

Рис. 1. Схема расположения исследованных озер Гусиноозёрской впадины.

роткий безледный период, озера промерзают на значительную глубину (до 1,2–1,4 м) [6].

Озера, расположенные в Гусиноозерской впадине, по концентрации солей отличаются широкой вариабельностью – от пресных с количеством 0,31–0,44 г/л до сульфатных озер с минерализацией 7,1–18,2 г/л. Максимальная концентрация солей отмечена в оз. Сульфатное (табл. 2). Геохимическая среда характеризуется значениями pH от 6,5 до 9,1, воды околонеутральные, слабощелочные и щелочные. Общая жесткость изменяется в широких пределах – от 1,3 до 38,5 мг-экв/дм³. Минимальные значения жесткости 1,3–1,9 характерны для озер Гусиное и Щучье, максимальные – 22–38,5 мг-экв/дм³ для Сульфатное и Белое.

Таблица 2. Химический состав воды исследованных озер

Название озер	Ед. изм.	Белое	Сульфатное	Гусиное	Щучье
HCO ₃ ³⁻	мг/л	1251	1617.0	183	195
CO ₃ ²⁻	-//-	0	210.04		0
SO ₄ ²⁻	-//-	3350	6453.9	32.0	17.8
Cl ⁻	-//-	347	2765.7	13.8	9.93
Na ⁺ +K	-//-	1560	4764.4	34.4	60.9
Ca ²⁺	-//-	16.0	36.07	26.1	13.0
Mg ²⁺	-//-	458	432.35	15.8	7.90
F ⁻	-//-	2.6	5.1	2.1	1.74
SiO ₂	-//-	15.7	2.19	3.0	14.1
NO ₃ ³⁻	-//-	1.6	3.19	10.4	0.9
ПО	-//-	24.0	25.53	3.31	4.31
TDS	г/л	6.98	16.28	0.3	0.3

В анионном составе воды озер Гусиное и Щучье преобладают гидрокарбонатные ионы HCO₃⁻ (74–83 %-экв.), на долю сульфат-иона и хлор-иона приходятся 7–16 %-экв. По анионному составу вода озер Гусиное и Щучье относится к гидрокарбонатному типу. Воды оз. Сульфатное и Белое характеризуются максимальной долей сульфат-иона SO₄²⁻ (54–58 %-экв.) и (67–69 %-экв.) соответственно. В воде оз. Сульфатное доля хлор-иона Cl⁻ значительна и составляет 32–33 %-экв, доля гидрокарбонатных ионов минимальна 9–11%-экв. Воды оз. Сульфатное по анионному составу относится к сульфатно-хлоридному типу. В воде оз. Белое доля гидрокарбонатных ионов возрастает до 19–21 %-экв., доля хлор-иона составляет 9–11%-экв, сульфат-ионов – 67–69%-экв. По анионному составу вода озера Белое является преимущественно сульфатной.

Катионный состав озер также характеризуется разнообразием. Воды оз. Гусиное характеризуется практически равными долями кальция, магния и натрия (по 30–34 %-экв.), которые являются ведущими в ионном составе. В катионном составе озер Щучье, Сульфатное, Белое доля натрия преобладает и составляет 62–64, 89–91 и 60–62 %-экв. соответственно. В составе озера Белое возрастает доля магния до 36 %-экв. и характеризует, что воды относятся к магниевому-натриевому типу. Воды озера Щучье характеризуются равными долями ионов кальция и магния (15,2–16,1 %-экв.), а озера Сульфатное – Ca²⁺ (0,8–1,0 %-экв.), Mg²⁺ (7,1–8,2 %-экв.). По катионному составу воды озера Сульфатное натриевого, а Щучье – натриево-кальциевого типов. Натрий является доминирующим катионом в воде озер с минерализацией выше 0,4 г/л. Таким образом, на исследуемой территории развиты пресные (оз. Гусиное, Щучье) и сульфатные воды (оз. Белое и Сульфатное).

Концентрации микрокомпонентов варьируют в широких пределах. В воде оз. Гусиное содержание большинства микроэлементов различаются на один-два порядка (табл.3). Максимальные концентрации в пределах n·100 наблюдаются для Sr, содержания в пределах одного порядка n·10 отмечаются для Li, B, Al, Mo, Ba, в пределах n- n·0,1 мкг/л – для P, V, Fe, Cu, Zn, As, Rb, U, Cr, Mn, Ni, Se, Sb, W, Pb. Остальные проанализированные элементы присутствуют в количествах, не превышающих n·0,01 мкг/л. Аналогичные содержания отмечены в воде оз. Щучье.

В воде оз. Сульфатное и Белое содержания микроэлементов различаются на 4–5 порядков. Максимальные значения в пределах n·1000–n·100 мкг/л характерны для Sr, Li, B, P, содержания Fe, Ba составляют десятки мкг/л. В отличие от других озер, в оз. Сульфатное содержания As, Mo, Sb, U возрастают до n·10 мкг/л. Содержания в пределах n- n·0,1 мкг/л характерны для Ti, V, Cr, Co, Se, Rb, Y, Zr, Sn, Sb, Hf, W, Pb, Th, La, Ce, Pr, Nd. Содержания остальных проанализированных элементов не превышают n·0,01 мкг/л.

В целом, содержания большинства проанализированных микроэлементов обнаруживают тенденцию к увеличению концентрации с ростом общего количества растворённых солей. Наиболее четкая корреляция между минерализацией и концентрацией элемента в воде озер

характерна для Li, B, Ti, V, As, Rb, Sr, Zr, Sb, Pb, U, La, Ce, Pr, Nd с коэффициентом корреляции 0,72-0,86. Окислительные условия и щелочная среда способствуют их миграции в водной среде сульфатных озер. Элементы, на миграцию которых влияют процессы гидролиза, соосаждения и сорбции в данной геохимической обстановке Al, Mn, Ni, Cu, Ga, Cd, наоборот, уменьшают концентрацию с ростом минерализации воды.

Таблица 3. Микроэлементный состав воды исследованных озер, мкг/л

Элемент	Белое	Сульфатное	Гусиное	Щучье
Li	649.6	1499	32.02	48.4
Be	1.06	0.09	0.044	0.02
B	506.8	641.33	46.9	52.1
Al	6.3	5.5	5.7	6.2
P	2.98	412.14	5.121	6.2
Sc	0.036	0.0046	0.0031	0.0042
Ti	2.82	5.64	0.079	0.084
V	5.62	4.15	1.03	1.16
Cr	4.49	0.9	0.08	0.24
Mn	0.22	0.18	6.9	5.4
Fe	88.8	93.12	7.6	6.31
Co	0.11	0.89	0.028	0.031
Ni	0.2	0.24	0.42	0.51
Cu	5.14	1.12	1.27	2.23
Zn	1.52	1.68	1.44	1.92
Ga	0.0058	0.0061	0.0042	0.0038
Ge	0	0.086	0.037	0.042
As	7.047	37.3	1.54	1.28
Se	0.08	2.37	0.12	0.14
Rb	3.23	7.39	1.46	1.72
Sr	5193	3656.2	931.1	928.6
Y	0.11	0.09	0.025	0.031
Zr	2.28	7.44	0.0014	0.0024
Nb	0.015	0.047	0.0014	0.0021
Mo	6.39	11.02	19.43	18.6
Ag	0.11	0.0012	0.0061	0.0058
Cd	0.05	0.047	0.088	0.061
Sn	1.217	0.33	0.019	0.024
Sb	1.17	11.1	0.18	0.16
Cs	0.086	0.038	0.0086	0.0078
Ba	17.79	44.61	29.39	28.6
Hf	0.1	0.15	0.0012	0.0011
W	0.39	3.56	0.46	0.32
Tl	0.0214	0.0082	0.0024	0.0019
Pb	8.68	3.68	0.65	0.58
Bi	0.022	0.018	0.0029	0.0022
Th	0.166	0.115	0.0082	0.0076
U	5.73	33.42	2.38	2.16

Сопоставление концентраций микроэлементов в воде оз. Сульфатное и Гусиное обнаруживает существенное обогащение микроэлементами воды оз. Сульфатное. Наибольшая степень концентрирования в воде оз. Сульфатное характерна для литогенных элементов Zr, Ti, Li, Hf, Nb, тогда как ряд элементов демонстрируют снижение содержаний Ni, Mo, Cd в 1,5- 3 раза, Mn в 38 раза. Столь существенное повышение концентрации перечисленных литогенных элементов, характерных региональному геологическому строению, связано с выветриванием горных пород как естественного этапа эволюции системы вода-алюмосиликаты, который наступает с момента достижения равновесия воды с кальцитом [7].

Для оценки интенсивности миграции был рассчитан коэффициент геохимической подвижности по формуле, приведённой в работе [8], позволяющий оценить долю выноса элементов в раствор относительно доли, связываемой вторичными минералами. Анализ коэффициента геохимической подвижности, представленного в табл. 4, позволяет выявить процессы перераспределения в системе вода – донные отложения в озерах Гусиноозёрской впадины.

Таблица 4. Коэффициент геохимической подвижности химических элементов в озерах Гусиноозерской впадины

Элемент	Коэффициент геохимической подвижности, K_p			
	Сульфатные озера		Пресные озера	
	Белое	Сульфатное	Гусиное	Щучье
Na	42.17	59.49	38.77	36.721
K	0.29	0.35	0.97	0.67
Mg	10.34	4.05	8.33	7.283
Ca	0.15	0.16	8.00	6.461
Sr	2.47	0.74	10.34	7.12
P	0.0005	0.031	0.0213	0.018
Ti	8.78E-05	7.5E-05	5.8E-05	5.2E-05
Zr	0.0011	0.0015	0.0002	0.0002
Li	3.10	3.07	3.55	3.31
B	7.26	3.93	23.65	20.42
Mn	2.5E-05	8.6E-06	0.0037	0.0017
Al	1.10E-05	4.8E-06	0.0007	0.0006
Fe	0.0003	0.0002	0.0002	0.0002
Zn	0.0049	0.0020	0.36	0.28
Cu	0.036	0.0028	0.71	0.68

Из приведенных данных видно, что в изученных озерах больше всех тенденцию к накоп-

лению в воде имеет натрий, причём с ростом минерализации его подвижность увеличивается. В пресных озерах по результатам расчета процессы перераспределения больше способствуют концентрированию в воде Ca, Sr, B, Mn, Zn, Cu, Al, Zr. Вместе с тем, экспериментальные данные показывают, что концентрации Li, B, Sr в воде сульфатных озёр на один-два порядка больше, чем в пресных озерах. Полученные коэффициенты геохимической подвижности хорошо соответствуют перераспределению Al, Mn, Zn, Cu в системе вода-донные отложения изученных озёр.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В пределах Гусиноозёрской впадины на небольшой территории, характеризующейся сходными ландшафтными и гидрографическими условиями, распространены малые озера с широкой вариацией минерализации и химического состава. Накопление микроэлементов в воде озёр определяется питающими подземными водами, а дальнейшее их концентрирование процессами эвапоритизации, физико-хими-

ческими свойствами элементов и геохимической обстановкой.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Захваткин А.А. Материалы по изучению озёр Гусино-Убукунской группы. – М.: Изд-во АН СССР, 1932. – С. 201-228.
2. Обожин В.Н., Богданов В.Т., Кликунова О.Ф. Гидрохимия рек и озёр Бурятии. – Новосибирск: Наука, 1984. – 151 с.
3. Колдышева Р.Я. Многолетнемерзлые породы. // Гидрогеология СССР. Т. XXII. Бурятская АССР. – М.: Недра, 1970. – С. 67-88.
4. Очиров Ц.О. Геология Гусино-Иволгинской части Бурятии. – Улан-Удэ, 1964. – 156 с.
5. Лунина О.В., Гладков А.С. Разломно-блоковое строение и напряжённое состояние земной коры Гусино-озёрской впадины и прилегающей территории (Западное Забайкалье). – Геотектоника. – 2009. – №1. – С. 78-96.
6. Мельничук Н.Л. Физико-географические условия. // Гидрология СССР. Т. XXII. Бурятская АССР. – М.: Недра, 1970. – С. 18-37.
7. Геологическая эволюция и самоорганизация системы вода-порода: Т.2.: Система вода-порода в условиях зоны гипергенеза / С.Л. Шварцев и др. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2007. – 389 с.
8. Шварцев С.Л. Гидрогеохимия зоны гипергенеза. – М.: Недра, 1998. – 366 с.

GEOCHEMICAL FEATURES OF REDISTRIBUTION OF CHEMICAL ELEMENTS IN THE WATER-BOTTOM SEDIMENTS OF THE LAKES OF THE GUSINOOZERSKY DEPRESSION

Khazheeva Z.I., Sanzhanova S.S.

Geological Institute SB RAS, Ulan-Ude

ABSTRACT: The results of investigations of the chemical composition of water of the lakes of the Gusinoozersk depression are presented. It is established that in the forest-steppe landscapes of Transbaikalia in a small area the processes of formation of natural waters occur in different ways, which is reflected in the change in the chemical types of water in small lakes. The migration of chemical elements in the water-soil system is analyzed on the basis of the coefficient of geochemical mobility.