

**ФОРМЫ МИГРАЦИИ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В СОЛЕННЫХ ОЗЕРАХ КУЛУНДИНСКОЙ РАВНИНЫ С УЧЕТОМ ХИМИЧЕСКОЙ ТИПИЗАЦИИ**

<sup>1</sup>В.И. Евграфова, <sup>1,2</sup>М.Н. Колпакова

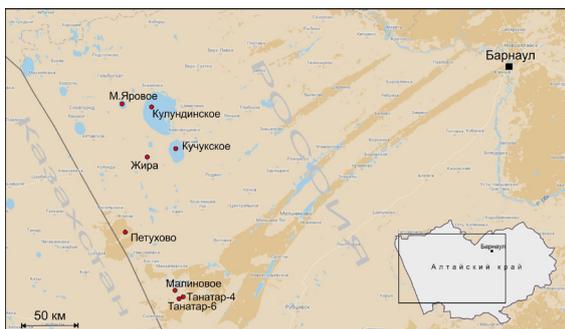
*Научный руководитель профессор С.Л.Шварцев*

<sup>1</sup>*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г.Томск, Россия*

<sup>2</sup>*Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, г. Новосибирск, Россия*

Изучение особенностей распределения форм миграции химических элементов в природных водах является важным аспектом исследования формирования их состава. Наибольший интерес в этом свете представляют воды соленых озер, содержание элементов в которых, делает их перспективным гидроминеральным источником.

В целях выявления этих закономерностей в качестве объекта были выбраны соленые озера Кулундинской равнины Алтайского края (рис. 1). Данная территория характеризуется наличием большого количества бессточных минерализованных озер, что связано с условиями лесостепной и степной ландшафтно-климатической зоны.



*Рис. 1. Карта-схема точек опробования.*

Данные, используемые в работе, получены в ходе экспедиции 2015г. Определение химического состава вод осуществлялось в ПНИЛ гидрогеохимии НОЦ «Вода» ТПУ. Расчеты форм миграции химических элементов выполнялись с использованием программного комплекса Visual MINTEQ 3.1, для температуры 25 °С и давления 0,1 Мпа. В качестве исходной информации использовался основной макро- и микроэлементный состав вод, а также были учтены физико-химические параметры (Eh, pH) и содержания органического вещества.

Исследуемые озера, по величине общей минерализации относятся к соленому и рассольному классу вод, химический состав представлен в таблице 1. Примечательно, что для наиболее минерализованных озер, характерны наименьшие значения pH. Преобладающим анионом в большинстве изученных озер является хлор (содержание меняется от 0,6 до 170 г/л), редко карбонат- и гидрокарбонат-ионы (от 0,07 до 25 г/л), на втором месте сульфат-ион (от 0,1 до 35 г/л). В составе катионов доминирующим является натрий, его концентрации меняются от 1 до 120 г/л. Вторым по значимости (вслед за натрием) выступает магний с концентрациями от 0,07 до 7 г/л, затем – кальций (0,06 – 3 г/л). Содержание калия нередко превышают значения кальция и меняются от 0,02 до 4 г/л.

*Таблица 1*

*Макрокомпонентный состав, pH, Eh и Сор<sub>г</sub> соленых озер Кулундинской равнины, Алтайского края*

Название озера	Танатар-4	Танатар-6	Петухово	Жи́ра	Кулундинское	Малое Яровое	Кучукское	Малиновое
№ п/п	1	2	3	4	5	6	7	8
Ед.изм.								
pH	9,3	9,8	9,8	8,8	8,3	7,7	7,6	7,7
Eh	245	228	-200	212	261	238	258	48
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	534	15300	17850	29	12	н.о.*	н.о.	н.о.
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	2104	6558	7472	46	1372	537	595	702
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	120	2663	1398	8384	23860	9660	41030	34300
Cl <sup>-</sup>	590	10570	10300	17990	59320	132760	146130	177120
Ca <sup>2+</sup>	6	12	5	17	77	166	393	160
Mg <sup>2+</sup>	31	7	31	1098	3185	7049	7057	5300
Na <sup>+</sup>	1335	16044	16560	13371	43175	75549	98307	121121
K <sup>+</sup>	22	135	207	48	235	89	456	316
Br	2	40	41	28	138	298	285	222
Mn	0,010	0,001	0,002	0,008	0,007	0,44	0,285	0,118
As	0,02	0,36	0,54	0,01	0,15	0,07	0,11	0,20
B	3	37	103	10	26	18	43	59
Si	4,5	5,4	1,8	1,7	0,6	1,4	1,8	2,6
Fe	0,13	0,35	0,65	0,03	0,13	0,07	0,45	0,08
Al	0,10	0,09	0,05	0,03	0,08	0,07	0,73	0,07
ФК*	25,7	23,8	15,7	8,4	10,9	3,9	19,7	10,6
ГК*	н.о.	2,1	1,1	н.о.	0,7	0,8	н.о.	н.о.
C <sub>орг</sub> *	50	111	60	34	70	131	134	212
Мин.*	г/л	5	51	54	41	131	226	294
							294	339

*Примечание: Мин.\* – общая минерализация, ФК и ГК – фульвовая и гуминовая кислоты соответственно, н.о. – не обнаружены.*

Необходимость гидрохимической характеристики озер при изучении особенностей распределения форм миграции элементов очевидно является важным вопросом. В связи с этим, принимая во внимание классификацию соленых вод [1], и учитывая ряд критериев, предложенных в работе [2], среди изучаемых нами озер, были выделены два химических типа. К содовым озерам относятся -Танатар-4, Танатар-6 и Петухово, преобладающим анионом в которых выступает карбонат-ион, значения pH>9,0. хлоридные представлены озерами – Жи́ра, Кулундинское, Малое Яровое, Кучукское и Малиновое, pH<9,0 и среди анионов доминируют хлориды. Данные по основным формам миграции элементов представлены в таблице 2.

**Таблица 2**

**Основные формы миграции элементов в соленых озерах Кулундинской равнины,  
Алтайского края (мольные %)**

Форма миграции	1*	2	3	4	5	6	7	8
<b>Ca<sup>+2</sup></b>	70,1	35,4	35,5	47,9	18,8	10,4	5,6	4,5
CaCl <sup>+</sup>	1,2	7,0	6,9	16,1	34,3	74,8	55,5	64,5
CaSO <sub>4</sub>	3,1	8,9	4,6	35,5	44,4	13,8	38,1	30,0
CaHCO <sub>3</sub> <sup>+</sup>	16,1	43,1	49,2	0,2	2,2	0,9	0,7	0,8
<b>Mg<sup>+2</sup></b>	72,5	37,2	38,2	47,0	17,1	7,4	4,5	3,4
MgCl <sup>+</sup>	2,0	11,7	11,7	25,0	49,3	84,2	70,7	77,8
MgSO <sub>4</sub>	2,5	7,4	3,9	27,6	31,9	7,8	24,3	18,1
MgHCO <sub>3</sub> <sup>+</sup>	13,4	36,5	42,7	0,1	1,6	0,5	0,4	0,5
<b>Na<sup>+</sup></b>	97,5	85,9	86,1	85,2	68,3	56,0	50,4	47,3
NaCl	0,5	5,3	5,2	9,0	22,5	41,7	41,6	46,8
NaSO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	0,2	2,0	1,0	5,8	8,9	2,2	7,9	5,8
<b>K+I</b>	98,8	91,5	92,9	83,8	66,8	55,7	49,4	46,6
KCl	0,5	5,7	5,6	8,9	22,0	41,5	40,7	46,0
KSO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	0,3	2,7	1,4	7,3	11,2	2,8	9,9	7,4
Br	100	100	100	100	100	100	100	100
Mn <sup>+3</sup>	100	100	100	100	100	100	100	100
FA2-Fe	100	100	99,9	100	100	100	100	100
FA2-Al	99,6	99,8	99,7	99,9	99,9	100	93,8	100
H <sub>4</sub> SiO <sub>4</sub>	99,8	99,3	99,5	98,4	98,2	99,5	99,0	99,3
H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	99,2	98,7	98,6	98,6	97,6	96,5	96,2	95,9
H <sub>3</sub> AsO <sub>3</sub>	99,2	99,0	99,0	99,0	98,9	99,0	99,0	99,0

**Примечание:** \* - номера проб даны в соответствии с табл.1, FA1-Ме, FA2-Ме – Органический комплекс элемента с растворенной фульвокислотой. Цифры 1 и 2 относятся к карбонильным и фенольным функциональным группам, соответственно.

Каждому типу озер свойственны особенности в поведении химических элементов, однако, существуют и схожие черты. К примеру, такие элементы как Si, B, As преимущественно мигрируют в форме иона типа H<sub>k</sub>MeO<sub>n</sub><sup>m-</sup>; Br и Mn, напротив, только в ионной форме. Для Al и Fe преобладающей формой является комплекс с органическим веществом, рост которого происходит соответственно росту общей минерализации озер.

Что касается основных катионов, то наблюдается следующее – по мере увеличения минерализации, доля ионной формы миграции элемента уменьшается, все чаще образуются комплексы с преобладающим, в данном типе озер, анионом. Так, в содовых озерах растет содержание CaHCO<sub>3</sub>, в среднем форма миграции комплекса составляет 36% от общей суммы ионов; MgHCO<sub>3</sub> – 31%. В то же время Na и K продолжают накопление в растворе и мигрируют преимущественно в ионной форме (более 90%). В условиях повышенной минерализации озер хлоридного типа, доля комплексов с хлор-ионом в большинстве случаев возрастает. Помимо широкого распространения таких соединений как CaCl и MgCl, процентное содержание которых в водах составляет в среднем более 50%, так же наблюдается рост комплексов NaCl и KCl. Содержания таких комплексов в водах увеличивается до 32 %.

Таким образом, на территории Кулундинской равнины Алтайского края развиты озера хлоридного типа, преимущественной формой миграции при этом, являются комплексы, образованные с хлор-ионом.

#### Литература

1. Валяшко М.Г. Геохимические закономерности формирования месторождений калийных солей. М.: Изд-во МГУ. 1962. 397 с.
2. 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.