

УРОВНИ ПРИСУТСТВИЯ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В ВОДЕ ТЕЛЕЦКОГО ОЗЕРА И ЕГО ПРИТОКОВ

Ю.В. Робертус, Г.А. Шевченко, А.В. Кивацкая

ГНУ РА «Алтайский региональный институт экологии», с. Майма

Несмотря на длительный период изучения Телецкого озера, микроэлементный состав его воды до настоящего времени выяснен в первом приближении. В частности, спектр изученных в предыдущие годы микроэлементов (МЭ) не превышал 10-15 (Si, Al, Fe, Mn, Cr, V, Cu, Zn и пр.). Для их определения применялись, как правило, аналитические методики с невысокой разрешающей способностью, в том числе полевые методы.

Для достоверной характеристики микроэлементного состава воды озера Телецкое и его притоков авторами в октябре 2008 г. было взято 12 проб озерной воды и 9 проб из его основных притоков – рр. Чулышман, Кыга, Бол. Чили, Бол. Корбу и др. (рис. 1). Анализ проб на 71 элемент выполнен масс-спектральным методом с индуктивно связанной плазмой (аналитик Лыско Г.Г.) в ООО «Плазма» (г. Томск).

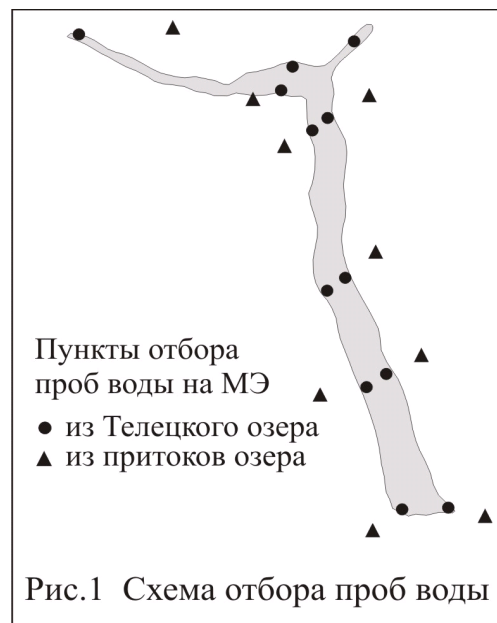
Полученные данные позволили рассчитать средние уровни присутствия 62 из 71 изученных МЭ в воде Телецкого озера и его притоков и предварительно оценить особенности их распределения. Содержание редких и платиноидов (Be, Ru, Rh, Pd, Te, Re, Os, Ir, Pt) во всех пробах находятся ниже чувствительности метода (табл. 1).

Содержание большинства МЭ варьируется в значительных пределах. В частности, 44 и 24 % элементов характеризуется соответственно неравномерным и крайне неравномерным распределением ($V > 50-100$ %). При сопоставлении средних содержаний МЭ в озерной и речной воде установлено, что средние концентрации большинства из них (65 %) выше в воде озера. Некоторые МЭ (Li, Zn, Bi, U) характеризуются аномально повышенным уровнем присутствия в озерной воде (в 2,8-7,9 раз).

Можно предположить, что их основным источником являются специализированные на эти МЭ геологические образования на площади водосборного бассейна озера.

Предварительно установленные авторами средние уровни присутствия отдельных микроэлементов в воде Телецкого озера в целом удовлетворительно совпадают с данными предыдущих исследований (табл. 2).

Корреляционный анализ микроэлементного состава воды Телецкого озера и его притоков показал, что МЭ речной воды имеют в целом более тесные между собой корреляционные связи (в 1,4 раза). Это касается как порообразующих элементов (Al, Mg), так и щелочных металлов (Li, K, Rb, Cs). Особенно заметно их преобладание для редких и радиоактивных литофильных МЭ (Mo, Sn, W, Bi, Hg, Th, U). В то же время корреляционные связи большинства сидерофильных элементов (Ti, Cr, Mn, Fe) в речной воде более слабые, чем в воде



1. Уровни присутствия микроэлементов в воде Телецкого озера (О) и его притоков (П), мг/дм³

Эл-ты	Озеро (n=12)		Притоки (n=9)		О/П, ед.	Эл-ты	Озеро (n=12)		Притоки (n=9)		О/П, ед.
	\bar{x}	max	\bar{x}	max			\bar{x}	max	\bar{x}	max	
Li	0.00083	0.00120	0.00030	0.00091	2.8	Cd	0.000023	0.000091	0.000019	0.000160	1.2
B	0.00100	0.00420	0.00100	0.00350	1.0	In	0.0000003	0.0000008	0.00000040	0.0000008	0.8
Na*	1.86	2.67	1.34	2.29	1.4	Sn	0.0000280	0.0210000	0.0000170	0.0004100	1.6
Mg*	2.84	3.47	2.09	3.28	1.4	Sb	0.000080	0.007400	0.000076	0.001600	1.1
Al	0.0525	0.1800	0.0300	0.2600	1.8	I*	0.0007	0.0064	0.0005	0.0022	1.4
Si*	2.24	4.03	3.13	4.04	0.7	Cs	0.0000089	0.0000330	0.0000089	0.0000230	1.0
P	0.0175	0.0430	0.0110	0.0410	1.6	Ba	0.013	0.033	0.008	0.130	1.6
K*	0.82	1.27	0.48	0.82	1.7	La	0.000050	0.000160	0.000046	0.000210	1.1
Ca*	16.16	41.66	19.73	25.18	0.8	Ce	0.0000420	0.0002700	0.0000630	0.0002800	0.7
Sc	0.000015	0.000920	0.000015	0.000015	1.0	Pr	0.000012	0.000040	0.000013	0.000060	0.9
Ti	0.00135	0.00970	0.00086	0.01200	1.6	Nd	0.000054	0.000170	0.000049	0.000230	1.1
V	0.00022	0.00030	0.00025	0.00058	0.9	Sm	0.0000120	0.0000310	0.0000190	0.0000520	0.6
Cr	0.0018	0.0022	0.0017	0.0020	1.1	Eu	0.0000036	0.0000092	0.0000041	0.0000180	0.9
Mn	0.0021	0.0480	0.0013	0.0260	1.6	Gd	0.000016	0.000035	0.000019	0.000052	0.8
Fe*	0.160	0.770	0.150	0.560	1.1	Tb	0.0000021	0.0000049	0.0000030	0.0000074	0.7
Co	0.000165	0.0017	0.000170	0.000480	1.0	Dy	0.0000115	0.0000320	0.0000130	0.0000540	0.9
Ni	0.00034	0.00290	0.00024	0.00190	1.4	Ho	0.0000035	0.0000063	0.0000031	0.0000110	1.1
Cu	0.00225	0.08900	0.00130	0.13000	1.7	Er	0.0000074	0.0000130	0.0000062	0.0000220	1.2
Zn	0.0395	0.1800	0.0050	0.0260	7.9	Tm	0.0000014	0.0000026	0.0000012	0.0000040	1.2
Ga	0.000020	0.000029	0.000024	0.000092	0.8	Yb	0.0000074	0.0000140	0.0000069	0.0000280	1.1
Ge	0.000018	0.000026	0.000024	0.000032	0.8	Lu	0.00000140	0.00000370	0.00000180	0.00000520	0.8
As	0.00057	0.00140	0.00042	0.00120	1.4	Hf	0.0000025	0.0000100	0.0000014	0.0000100	1.8
Se	0.00012	0.00034	0.00014	0.00046	0.9	Ta	0.0000016	0.0000036	0.0000014	0.0000041	1.1
Br	0.027	0.038	0.019	0.026	1.4	W	0.000033	0.000180	0.000015	0.000048	2.1
Rb	0.0009	0.0012	0.0006	0.0011	1.5	Au	0.0000010	0.0000140	0.0000005	0.0000010	2.0
Sr	0.066	0.140	0.049	0.078	1.3	Hg*	0.000080	0.000620	0.000100	0.000400	0.8
Y	0.000094	0.000190	0.000089	0.000280	1.1	Tl	0.0000110	0.0000540	0.0000062	0.0000110	1.8
Zr	0.000165	0.000850	0.000074	0.000600	2.2	Pb	0.000620	0.005200	0.000380	0.001900	1.6
Nb	0.000014	0.000043	0.000012	0.000037	1.1	Bi	0.0000240	0.0024000	0.0000036	0.0000170	6.7
Mo	0.00053	0.00330	0.00030	0.00260	1.8	Th	0.0000110	0.0000160	0.0000140	0.0000370	0.8
Ag	0.000101	0.002600	0.000110	0.000270	0.9	U	0.00056	0.00068	0.00014	0.00071	4.0

Примечание. * – вне области аккредитации метода; выделены слабо (светлым) и аномально повышенные (темным) отношения МЭ.

озера (табл. 3). Эти предварительно установленные различия в характере корреляционных связей авторами предположительно объясняются более тесными связями микроэлементного состава речных вод с химизмом горных пород, развитых в их водосборных бассейнах, и более сложными условиями формирования гидрохимического режима Телецкого озера.

2. Средние концентрации некоторых микроэлементов в воде Телецкого озера, мг/дм³

Данные	Cr	Fe	Mn	Ni	Co	Cu	Zn	Pb	Mo
1	0.00185	нет данных	0.0040	0.00152	0.00012	0.0029	нет данных	0.00155	0.00098
2	0.00046	нет данных	0.0023	0.00025	нет данных	0.0007	0.0171	0.00025	нет данных
3	0.00130	0.046	0.0017	<0.001	0.00020	0.0048	0.0149	0.00030	нет данных
Авторы	0.00180	0.160	0.0021	0.00034	0.00016	0.0022	0.0395	0.00062	0.00053

Примечание. 1 – данные Запсибгидромета за 1985-2003 гг.; 2 – Малолетко А.М (1972 г.), 3 – Савченко Н.В (1998-1999, 2005-2006 гг.)

3. Количество значимых корреляционных связей ($r=0.05$) микроэлементов в воде озера (О) и его притоков (П)

Эл-ты	О	П	Эл-ты	О	П	Эл-ты	О	П	Эл-ты	О	П	Эл-ты	О	П
Li	3	6	V	5	6	As	2	5	Ag	9	1	Ta	2	7
Na	8	7	Cr	10	5	Se	2	3	Cd	19	5	W	1	4
Mg	6	17	Mn	4	3	Br	3	8	Sn	10	20	Au	5	0
Al	11	21	Fe	14	11	Rb	3	6	Sb	2	3	Hg*	8	18
Si	11	8	Co	7	10	Sr	12	6	I	9	5	Tl	17	4
P	8	15	Ni	24	5	Y	23	23	Cs	3	7	Pb	19	5
K	1	3	Cu	18	19	Zr	10	9	Ba	6	5	Bi	6	16
Ca	7	5	Zn	3	8	Nb	12	10	La	22	20	Th	0	23
Ti	18	11	Ga	9	10	Mo	0	20	Hf	11	6	U	1	19

Примечание: выделены МЭ с преобладанием связей в озерной воде и корреляционные связи более 25 % от их общего числа.

Среднее содержание большинства изученных МЭ в воде Телецкого озера не превышает значений мировых кларков (генерального среднего содержания по С. Тейлор и А.П. Виноградову (Иванов, 1994) для поверхностных вод и ПДК для рыбохозяйственных водоемов. Привлекает внимание аномально высокое содержание в воде озера урана и цинка по сравнению с кларками (более 10 раз) и повышенный уровень присутствия большой группы МЭ–Fe, Cr, Ni, Co, Cd, Sb, W, Hg и др. (табл. 4).

Следует отметить, что среднее содержание отдельных МЭ в озерной воде, в том числе высокотоксичных тяжелых металлов (Hg, Cu, Zn), превышает ПДК для рыбохозяйственных водоемов, каковым и является Телецкое озеро. Максимальные концентрации этих металлов превышают ПДК более, чем на порядок, а спектр превышающих эколого-гигиенические регламенты МЭ насчитывает 7 элементов. По мнению авторов, это обстоятельство является природной особенностью состава озерной воды и отражает геохимическую и металлогеническую специализацию геологических образований, проявленных на водосборной площади озера и его притоков.

4. Содержание микроэлементов относительно кларка поверхностных вод и эколого-гигиенических регламентов

Доля от кларка, ед.	Средний уровень присутствия микроэлементов в воде оз. Телецкое	Доля от ПДК*, ед.	Содержание микроэлементов в воде оз. Телецкое	
			Среднее	Максимальное
< 0.5	Si, Na, K, Ti, V, Mn, Cu, Ag, As, Se, Cs, Y, Li, I	< 0.1	Ti, Cr, Ni, Ba, Pb, As, W, I, Br, B	Ba, Pb, As, I, Br, Br, B
0.5-1	Al, Mg, B, P, Pb, Mo, Sn, Ba, Sr, Rb, Au, La	0.1-1	V, Mn, Mo, Be	Ti, V, Cr, Ni, W, Be, Se
1-10	Ca, Fe, Cr, Ni, Co, Cd, Sb, W, Hg, Sc, Br, Ge	1-10	Al, Fe, Cu, Zn, Hg	Al, Fe, Mn, Mo
> 10	Zn, U	> 10		Cu, Zn, Hg

Примечание: кларки элементов в поверхностных водах из [2], * – ПДК для рыбохозяйственных водоемов.

Вышеизложенные фактические данные позволяют сделать следующие предварительные выводы:

1. Установленные средние уровни присутствия большинства из 62 изученных микроэлементов не превышают значений мировых кларков (кроме Ca, Fe, Cr, Ni, Co, Cd, Sb, W, Hg, Sc, Br, Ge, Zn, U) и эколого-гигиенических регламентов для рыбохозяйственных водоемов, кроме Al, Fe, Cu, Zn, Hg, отражающих металлогеническую специализацию геологических образований, развитых в водосборной бассейне озера;

2. Средние концентрации большинства микроэлементов, особенно Li, Zn, Bi, U, в озерной воде выше, чем в речных водах, но в последних проявлены более тесные корреляцион-

ные связи МЭ, в частности редких и радиоактивных литофильных элементов (Mo, Sn, W, Bi, Hg, Th, U), что предположительно объясняется более тесной связью состава речных вод с химизмом горных пород, а также более сложными условиями формирования гидрохимического состава Телецкого озера.

Литература

1. Иванов В.В. Экологическая геохимия элементов: Справочник в 6 кн./Под ред. Э.К. Буренкова. Кн. 1: s-элементы. – М.: Недра, 1994. – 304 с.
2. Малолетко А.М. Телецкое озеро по исследованиям 1973-1975 гг. – Томск: 2007. – 224 с.
3. Савченко Н.В. Современное геоэкологическое состояние Телецкого озера // Матер. II Межд. науч.-практ. конфер. «Современные проблемы геоэкологии горных территорий». – Горно-Алтайск: РИО ГАГУ, 2007.