

© Т.А. КРЕМЛЕВА, Т.И. МОЙСЕЕНКО, В.Ю. ХОРОШАВИН,  
А.А. ШАВНИН

*kreml-ta@yandex.ru, moiseenko@geokhi.ru, purriver@mail.ru, Shal\_ishim@mail.ru*

УДК 550.42

### **ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПРИРОДНЫХ ВОД ЗАПАДНОЙ СИБИРИ: МИКРОЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ\***

*АННОТАЦИЯ. Проведено обобщение данных по микроэлементному составу вод малых озер Западной Сибири, не подверженных прямому антропогенному воздействию. Для 130 озер различных природных зон от тундры до лесостепи методом атомно-эмиссионного анализа (ICP-MS) определены концентрации более 60 микроэлементов (Fe, Cr, Ni, Pb, Cu, Zn, Cd, Hg, Si, P, B, Mn, Ba, Sr, Li, Rb, As, V, Co, U и др.). Для каждой природной зоны рассчитаны медианные значения, приведены минимальные и максимальные концентрации микроэлементов в озерах, все микроэлементы расположены в ряды по уменьшению их содержания в водах озер соответствующих природных зон. Установлено, что содержание макроэлементов (Na, K, Ca, Mg) и большинства микроэлементов (Si, P, B, Mn, Ba, Sr, Zn, Cu, Li, Rb, As, V, Co, U) имеет самое высокое значение в зонах южной тайги и лесостепи. Исключением являются железо и алюминий, концентрации которых выше в заболоченных водоемах тундровой и северо-таежной зон, отличающихся высокой цветностью и кислотностью. Кроме Fe и Al для Ti, Ni и Bi самые высокие концентрации также обнаружены в северных озерах. Полученные данные могут быть использованы в качестве фоновых значений при оценке техногенного воздействия на водные экосистемы Западной Сибири.*

*SUMMARY. The generalization of data on the microelement composition of waters of small lakes of Western Siberia not subject to direct human impacts. For the 130 lakes of various natural zones from tundra to forest steppe by atomic emission analysis (ICP-MS) concentrations of 60 trace elements (Fe, Cr, Ni, Pb, Cu, Zn, Cd, Hg, Si, P, B, Mn, Ba, Sr, Li, Rb, As, V, Co, U, etc.). For each natural area calculated medians are the minimum and maximum concentrations of trace elements in lakes, all the trace elements are arranged in series in the reduction of their content in the waters of lakes respective zones. Found that the content of macroelements (Na, K, Ca, Mg) and most trace elements (Si, P, B, Mn, Ba, Sr, Zn, Cu, Li, Rb, As, V, Co, U) has the highest value in areas of southern taiga and forest steppe. The exceptions are iron and aluminum concentrations are higher in the swampy waters tundra and northern taiga zones, characterized by high color and acidity. In addition to Fe and Al to Ti, Ni and Bi highest concentrations are also found in northern lakes. The data obtained can be used as background values in the evaluation of anthropogenic impacts on aquatic ecosystems of Western Siberia.*

\* Работа выполнена при финансовой поддержке Правительства Российской Федерации, постановление № 220 от 09 апреля 2010 г. «О мерах по привлечению ведущих ученых в российские образовательные учреждения высшего профессионального образования» (договор № 11.G34.31.0036 от 25.11.2010 г.) и поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы (соглашение № 14.B37.21.1255, соглашение № 14.B37.21.0656).

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА.** Микроэлементы, малые озера, зональные особенности.  
**KEY WORDS.** Trace elements, small lakes, zonal features.

Химический состав вод малых озер (при отсутствии каких-либо непосредственных источников загрязнения) наиболее четко отражает зональную и региональную специфику условий его формирования, а также те глобальные антропогенные процессы, которые происходят в последнее время в окружающей среде. Работы, посвященные изменениям химического состава вод в региональном масштабе, достаточно редки, поскольку требуют соблюдения единых принципов и методов исследований, позволяющих получить сопоставимые данные, а также высокой точности аналитических измерений. Такие исследования были проведены на Европейской территории России (ЕТР) от зон тундры до аридной, которые позволили выявить зональные особенности и природно-климатическую дифференциацию природных вод, дать оценку вклада влияния антропогенных факторов, а также сделать прогноз влияния возможного потепления климата на гидрохимию озер [1-2]. Западная Сибирь (ЗС) имеет высокую степень заозеренности, простирается от зон высокой тундры до аридной, что определяет большую природную вариабельность химического состава вод. Данный регион имеет значительные запасы газа и нефти, которые активно разрабатываются с 1970-х годов. Можно предположить, что эксплуатация нефтегазовых месторождений в течение более 40 лет в той или иной степени могла повлиять на воды суши даже в тех случаях, когда водные объекты удалены от прямых источников загрязнения.

**Целью** работы было на основе данных широкомасштабных исследований от зон тундры до степной дать представление о зональных особенностях и вариабельности микроэлементного состава вод малых озер Западной Сибири (не подверженных прямому антропогенному воздействию), выделить основные факторы, обуславливающие содержание микроэлементов в озерах этих природных зон.

**Материалы и методы.** В основу работы легло обобщение результатов исследований химического состава 130 малых озер на территории Западной Сибири от зон тундры (п-ова Гыдан и Ямал) до степной зоны на юге Тюменской области, проведенных в 2011 г. по единой методической схеме [3]. В исследования включались озера, не подверженные каким-либо прямым источникам загрязнения, площадь водного зеркала которых составляла не более 20 км<sup>2</sup>. Отбор проб воды из озер осуществлялся с поверхности озера или стока из озера в период с августа (озера тундры и лесотундры) до конца октября (южные районы) с использованием вертолетных и воздушных маршрутов. Пробы помещались в специальные контейнеры и транспортировались в сжатые сроки в лабораторию.

**Методы исследования.** Химические анализы проб выполняли по стандартным методикам. В пробах воды определяли:

- рН, электропроводность ( $\chi$ ) и основные ионы минерализации ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ , щелочность (Alk),  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ );
- цветность (Цв), содержание органического вещества (ТОС),  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ , общего азота TNb,  $\text{PO}_4^{3-}$ , общего фосфора TP, Si;
- содержание микроэлементов (Sr, Al, Fe, Mn, Cr, Cu, Ni, Zn, Cd и др.);

Химико-аналитические работы проводились в стационарных условиях. Определение вышеперечисленных показателей осуществляли следующими методами:

- рН — потенциометрическим методом, со стеклянным электродом (иономер И-130.М);

- электропроводность при 20° — кондуктометрическим методом (кондуктометр Анион 4100);

- цветность — спектрофотометрическим методом, по хром-кобальтовой шкале цветности при длине волны 380 нм (спектрофотометр UNICO);

- концентрации микроэлементов (Sr, Al, Fe, Mn, Cr, Cu, Ni, Zn, Cd, Co, Pb) в отфильтрованных пробах воды определяли методом атомно-абсорбционной спектрофотометрии с электротермической атомизацией. Анализ проводили с помощью атомно-абсорбционного спектрометра нового поколения с ксеноновой лампой непрерывного спектра ContrAA-700, AnalytikJena, Германия. Определение других микроэлементов (> 60 элементов) проводили эмиссионным методом с индуктивно связанной плазмой на масс-спектрометре Element (Великобритания) в Институте геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН.

Для контроля качества измерений рН, Alk, концентраций Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, щелочных и щелочноземельных элементов использовали специализированный компьютерный пакет ALPEFORM, включающий в себя оценку баланса ионов, основанную на контроле измеренной и расчетной электропроводности, электронейтральности с учетом содержания органического вещества А, оцениваемого эмпирически по значению ТОС [4]. Расхождение с аттестационными значениями <10%.

#### **Общая характеристика распределения микроэлементов**

Химический состав озер находится в прямой зависимости от состава пород, слагающих водосбор и ложе озера. Химический состав вод и общая минерализация их формируется в результате выщелачивания кристаллических пород водосбора под влиянием климатических условий, а также внутриводоемных процессов, обусловленных изменением кислотности воды, степенью эвтрофирования водоема и другими. Западно-Сибирская равнина имеет ярко выраженную природную зональность, для каждой природной зоны характерны почвы разного типа. В табл. 1 приведены природные зоны Западной Сибири и соответствующие им типы почв [5].

Таблица 1

**Типы почв природных зон Западной Сибири**

Природные зоны	Типы почв	
	Дренированные участки	Недренированные участки
Тундра	Тундрово-глеевые мерзлотные	Болотные
Лесотундра	Глеево-подзолистые	Болотные
Лесная (лесоболотная)	Подзолистые Дерново-подзолистые Серые лесные	Глеево-подзолистые Болотно-подзолистые Лугово-болотные Болотные
Лесостепь	Выщелоченные черноземы Серые лесные оподзоленные	Лугово-черноземные Солончаковатые Болотные

Широтная зональность определяет разнообразие сочетаний природных условий формирования химического состава вод, таких как температурный режим, увлажненность, состав горных пород, почв, растительности. Поэтому все данные были обработаны с учетом широтной зональности. Для каждой природной зоны рассчитаны медианные значения, приведены минимальные и максимальные концентрации микроэлементов в озерах. Данные по содержанию макро- и микроэлементов в водах озер различных природных зон Западной Сибири отражены в табл. 2 и на рис. 1-3.

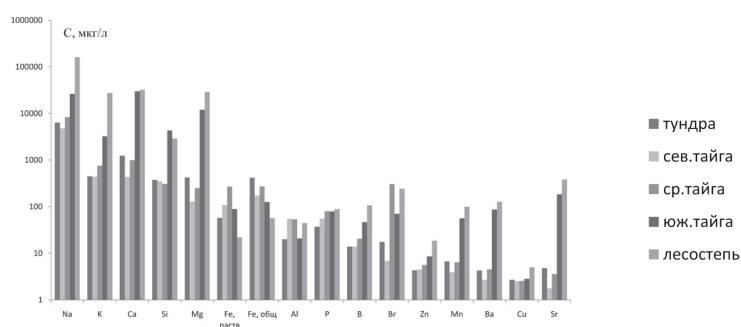


Рис. 1. Содержание макро- и микроэлементов (медианные значения) в водах озер различных природных зон ЗС (результаты получены методом ICP-MS)

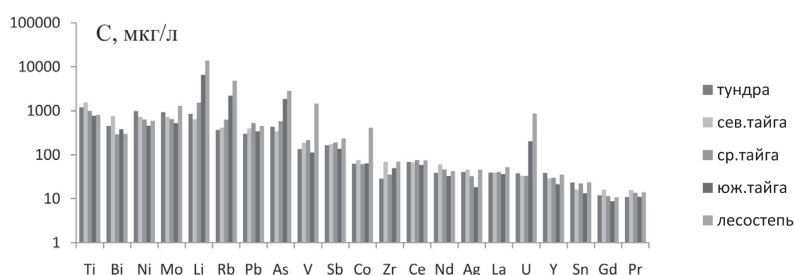


Рис. 2. Содержание микроэлементов (медианные значения) в водах озер различных природных зон ЗС (результаты получены методом ICP-MS)

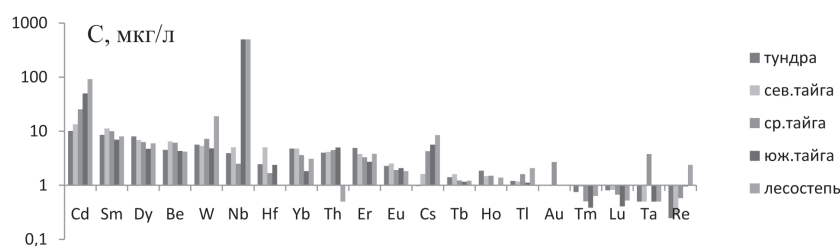


Рис. 3. Содержание микроэлементов (медианные значения) в водах озер различных природных зон ЗС (результаты получены методом ICP-MS)

Помимо концентраций микроэлементов в табл. 2 приведены данные по значению рН, цветности (Цв), электропроводности (УЭП), содержанию макрокомпонентов вод, кремния и биогенных элементов. Из анализа исключены те элементы, концентрации которых были ниже аналитического предела обнаружения (Ga, Hg, Sc, Ge, In, Pt, Ru, Pd, Te, Rh, Os, Ir).

Таблица 2

**Элементный состав вод (медиана, в скобках минимальное и максимальное значения) озер в различных природных зонах ЗС**

Элемент, показатель	Природная зона				
	Тундра, лесотундра	Северная тайга	Средняя тайга	Южная тайга	Лесостепь
<b>n</b>	48	27	36	16	11
рН, едрН	6.34 (4.81-7.39)	5.41 (4.94-6.90)	5.70 (4.54-7.42)	7.39 (6.50-7.68)	7.92 (7.47-8.75)
Цв, град.	19.6 (1.28-160)	55.8 (4.9-56.0)	79.55 (7.4-146)	54.3 (14.0-166)	33.8 (28.9-89.0)
УЭП, мкСм/см	27.7 (99.1-166)	15.6 (6.7-59.8)	35.7 (8.8-255)	263 (39.5-298)	247 (98.1-1042)
ТОС, мг/л	4.88 (1.25-14.6)	10.7 (2.21-24.1)	11.4 (1.52-20.3)	13.7 (7.04-271)	26.5 (19.0-39.4)
TN <sub>b</sub> , мг/л	0.61 (0.11-2.34)	0.83 (0.19-1.65)	0.81 (0.02-2.27)	1.29 (0.40-2.22)	2.60 (1.68-3.28)
TP, мг/л	0.04 (<0.01-0.19)	0.04 (0.01-0.18)	0.03 (<0.01-0.16)	0.05 (0.01-0.15)	0.02 (0.01-0.05)
S, мкг/л	358 (144-2339)	292 (177-924)	719 (386-1753)	555 (345-1560)	4672 (978-123656)
Ca, мг/л	1.24 (0.219-7.05)	0.44 (0.127-1.72)	0.99 (0.189-15.5)	29.7 (1.61-65.3)	32.2 (27.1-68.2)
Mg, мг/л	0.44 (0.054-4.35)	0.13 (0.032-0.87)	0.25 (0.043-4.43)	12.0 (0.50-15.5)	29.0 (24.5-109)
Na, мг/л	6.36 (3.33-26.0)	4.78 (2.55-13.4)	8.40 (3.05-58.6)	26.2 (6.68-35.2)	160.5 (68.8-563)
K, мкг/л	456 (169-1700)	437 (117-1215)	752 (211-2481)	3250 (632-4401)	27446 (8665-44364)
Si, мкг/л	387 (121-2339)	349 (130-1115)	309 (114-3059)	4301 (188-6730)	2887 (259-8312)
Li, мг/л	0.844 (0.32-4.14)	0.64 (0.28-1.72)	1.52 (0.29-5.12)	6.60 (2.05-12.8)	17.3 (13.2-46.0)
мкг/л					
Rb	0.37 (0.16-0.947)	0.41 (0.14-1.06)	0.63 (0.21-1.86)	2.19 (0.54-4.83)	4.81 (1.06-6.94)
Cu	2.74 (1.23-9.02)	2.51 (0.76-5.90)	2.56 (1.32-8.54)	2.83 (1.53-4.29)	5.00 (3.19-8.92)
Cu (AAS)*	2.41 (0.51-16.8)	2.19 (0.24-7.58)	1.58 (0.38-6.09)	2.30 (0.79-6.72)	4.52 (2.05-5.30)
Sr	4.78 (0.70-34.8)	1.77 (0.51-8.92)	3.58 (0.72-222)	184 (8.0-328)	381 (293-1064)
Sr (AAS)	15.17 (2.09-124)	8.84 (0.82-19.47)	10.9 (3.60-235)	151 (16.1-262)	367 (269-700)
Ba	4.26 (0.6-26.8)	2.72 (0.7-9.14)	4.52 (1.0-48.9)	86.6 (6.4-161)	127 (88-223)
Zn	4.33 (1.94-20.0)	4.51 (1.30-100)	5.61 (1.84-27.5)	8.58 (4.63-21.4)	18.6 (10.6-30.7)

Продолжение табл. 2

Zn (AAS)	0.71 (<0.05-15.2)	0.46 (0.09-2.52)	0.14 (<0.05-9.10)	1.41 (<0.05-3.11)	1.29 (0.12-3.42)
Sc	<0.04 (<0.04-<0.04)	<0.04 (<0.04-<0.04)	<0.04 (<0.04-<0.04)	<0.04 (<0.04-<0.04)	<0.04 (<0.04-<0.04)
Y	0.039 (0.006-0.287)	0.029 (0.005-0.205)	0.030 (0.006-0.170)	0.021 (<0.002-0.07)	0.035 (<0.024-0.09)
La	0.039 (0.018-0.174)	0.039 (0.009-0.180)	0.040 (0.009-0.122)	0.036 (0.018-0.116)	0.052 (0.032-0.074)
Ce	0.068 (0.017-0.556)	0.067 (0.009-0.447)	0.075 (0.014-0.230)	0.058 (0.021-0.178)	0.074 (0.043-0.123)
Pr	0.011 (0.004-0.076)	0.016 (0.003-0.056)	0.014 (0.003-0.052)	0.011 (0.004-0.023)	0.014 (0.009-0.021)
Nd	0.039 (0.009-0.347)	0.060 (0.005-0.226)	0.046 (0.007-0.617)	0.032 (0.011-0.092)	0.042 (0.033-0.086)
Th	0.004 (0.001-0.053)	0.004 (<0.001-0.030)	0.005 (<0.001-0.009)	0.005 (<0.001-0.006)	<0.001 (<0.001-<0.001)
U	0.038 (0.019-0.064)	0.033 (0.016-0.072)	0.033 (0.019-0.125)	0.202 (0.019-0.716)	0.863 (0.490-4.21)
B	13.9 (8.4-37.4)	13.8 (7.9-34.1)	20.4 (10.7-156)	46.5 (15.7-72.5)	107 (77-277)
Al	19.9 (10.0-310)	54.7 (7.8-230)	53.4 (14.1-105)	20.8 (14.0-33.1)	44.4 (25.4-88.3)
Al (AAS)	18.3 (1.93-625)	28.7 (0.75-204)	37.3 (5.27-78.6)	13.1 (4.72-51.1)	13.2 (6.53-29.3)
Ti	1.2 (<0.6-4.8)	1.6 (<0.6-4.2)	1.0 (<0.6-1.7)	<0.6 (<0.6-0.8)	<0.6 (<0.6-0.9)
Pb	0.30 (0.11-3.39)	0.39 (0.09-1.21)	0.52 (0.12-2.36)	0.34 (0.14-0.64)	0.45 (0.31-0.92)
V	0.13 (<0.04-1.0)	0.19 (<0.04-1.0)	0.21 (<0.04-0.83)	0.11 (<0.04-0.51)	1.45 (<0.16-2.78)
As	0.43 (0.10-1.56)	0.34 (0.11-2.00)	0.58 (0.36-2.05)	1.85 (0.60-4.13)	2.82 (1.82-7.35)
Sb	0.16 (0.12-0.27)	0.17 (0.24-0.37)	0.19 (0.10-0.49)	0.14 (0.09-0.69)	0.23 (0.16-0.38)
Bi	0.45 (0.13-3.86)	0.76 (0.59-3.67)	0.29 (0.011-4.42)	0.38 (0.27-1.18)	0.30 (0.16-0.61)
Cr	<0.4	<0.4	<0.4	<0.4 (<0.4-3.8)	<0.4
Cr (AAS)	0.30 (<0.05-8.46)	0.28 (<0.05-0.89)	0.41 (<0.05-2.17)	0.46 (0.12-8.14)	1.80 (0.27-14.1)
Mo	0.93 (0.25-6.26)	0.72 (0.25-7.44)	0.65 (0.25-8.28)	0.52 (0.32-3.80)	1.28 (0.62-2.33)
Mn	6.7 (1.1-26.1)	3.9 (0.63-9.57)	6.4 (0.09-49.6)	56.1 (7.0-981)	99.7 (59.9-307)
Mn (AAS)	3.06 (0.13-8.46)	0.93 (<0.05-15.2)	5.68 (1.98-29.7)	4.70 (2.13-30.0)	4.72 (1.10-24.0)
Fe <sub>раств</sub>	57 (10-1474)	108 (9-1134)	270 (11-987)	891 (13-3181)	22 (18-3128)
Fe <sub>раств</sub> (AAS)	24.5 (1.41-465)	48.4 (0.2-959)	152 (2.76-452)	25 (0.41-640)	11.3 (0.25-62)
Fe <sub>общее</sub> мкг/л	416 (75.6-2328)	173 (24.9-1416)	272 (11-730)	126 (47.2-1393)	56.4 (11-227)
Co	0.06 (<0.04-0.19)	0.08 (<0.04-0.19)	0.06 (<0.04-0.11)	<0.04 (<0.04-0.06)	<0.04 (<0.04-0.41)

Окончание табл. 2

Co (AAS)	<0.05 (<0.05-0.17)	<0.05 (<0.05-0.26)	<0.05	<0.05	<0.05
Ni	0.98 (<0.2-2.78)	0.73 (<0.2-16.3)	0.63 (<0.2-4.34)	0.46 (<0.2-4.54)	0.59 (<0.2-0.84)
Ni (AAS)	1.63 (<0.1-5.52)	1.32 (<0.1-8.88)	1.19 (0.30-5.93)	1.21 (0.53-4.80)	0.95 (0.65-4.92)
нг/л					
Cd	10.1 (<4-84.1)	13.4 (<4-111)	25.3 (<4-93.5)	49.9 (10.5-400)	92 (73-126)
Cd (AAS)	<50 (<50-367)	<50 (<50-430)	<50 (<50-465)	<50 (<50-246)	<50 (<50-219)
Cs	1.04 (0.33-9.3)	1.61 (0.46-7.6)	4.25 (0.81-20.1)	5.64 (1.78-10.8)	8.42 (4.47-22.6)
Ag	41.7 (9.9-26720)	45.4 (12-24188)	32.2 (9.3-24439)	18.2 (5.7-55.0)	45.8 (<4-2055)
Be	4.73 (<1-185)	6.47 (<1-21.3)	6.12 (<1-16.8)	4.31 (<1-8.04)	4.20 (<1-9.13)
Zr	27 (<7-417)	69 (<7-292)	35 (<7-150)	<7 (<7-71.9)	70 (<7-222)
Sn	23 (<12-132)	16.2 (<12-58.7)	22.3 (<12-108)	<12 (<12-17.4)	<12 (<12-26)
Re	0.25 (<0.1-0.53)	0.28 (<0.1-0.95)	0.58 (<0.1-1.41)	0.96 (0.3-1.84)	2.38 (1.69-21.4)
W	5.6 (<4-19)	5.3 (<4-14)	7.2 (<4-5281)	4.8 (<4-12.9)	19.0 (4.5-65.2)
Nb	<1 (<1-4.9)	<1 (<1-5.3)	<1 (<1-15.4)	<1	<1

\* Анализ содержания всех элементов выполнен методом ICP-MS, некоторые элементы определены и с помощью атомно-абсорбционной спектрометрии (AAS).

Микроэлементы, несмотря на малое содержание, могут существенно влиять на процессы почвообразования, активно в них участвовать и затем мигрировать в водоемы. Характерные для почв слоистые алюмосиликаты при изоморфных замещениях модифицируются, изменяются их строение и свойства. Так, в минералах-хлоритах алюминий октаэдрических слоев может быть замещен на  $\text{Cr}^{3+}$ ,  $\text{Mn}^{3+}$ , магний в бруситовом слое — на  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$ , в монтмориллонитах алюминий замещается на  $\text{Ni}^{2+}$ ,  $\text{Zr}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Co}^{2+}$ , в вермикулитах — на  $\text{Cr}^{3+}$ ,  $\text{V}^{3+}$  и т.д. Такого рода замещения могут изменить электрические заряды, приходящиеся на элементарную ячейку минерала, что, в свою очередь, повлияет на степень их обводненности, способность поглощать катионы, органические вещества [6]. На содержание и распределение микроэлементов активно влияют многие процессы формирования почвенного профиля. Они выносятся из элювиальных (оподзоленных, осолоделых) горизонтов, накапливаются в иллювиальных горизонтах (горизонтах вымывания), глеевых (восстановленных) горизонтах.

Общая схема участия микроэлементов в различных почвенных процессах по В.А. Ковде [7] приведена в табл. 3.



Таблица 3

**Участие микроэлементов в важнейших почвенных процессах (по В.А. Ковде)**

Процесс	Почвы или почвенные образования	Накапливающиеся микроэлементы
Малый биологический круговорот	Растительный опад, свежий или частично разложившийся	Mo, Zn, Cu, Co, B, I, Br, Se, Ni, U, Ba, Mn, Sr, V
Синтез гумуса	Гуминовые вещества	B, I, Mn, Co, Cu, Mo, Zn, Ni, Pb, Br, F
Образование глин и синтез коллоидов	Высокодисперсная часть почвы	Mn, Fe, Cu, Co, V, Cr, Ni, Mo, Li, Rb, Cs, Ba, Sr, Pb, Zn, V, I, B
Иллювиирование	Иллювиальные горизонты	Cu, Ni, Co, V, Cr, Zn, Mo, B
Оглеение	Глеевый горизонт	Mn, Co, Cu, V
Гидрогенная аккумуляция	Северные луговые почвы	Mn, Cu, Ni, V, Co, B
	Южные луговые почвы	Ba, Sr, B
	Солончаки	B, I, F, Li, Rb, Cs, Zn, Ca, Co

Влияние почвенных процессов на накопление микроэлементов рассмотрено ниже, при сравнительном анализе данных по их содержанию в водах различных природных зон.

**Микроэлементный состав озер различных природных зон Западной Сибири**

*Тундра.* Воды тундрового региона отличаются невысокой минерализацией, снижающейся по мере удаления от Баренцева моря. Содержание микроэлементов в озерных водах тундровой зоны относительно низкое, типоморфными элементами являются Al и Fe. Для образцов из некоторых тундровых озер характерно повышенное (до 125 мг/л) содержание Sr, что в целом характерно для четвертичных морских и ледниково-морских отложений полуострова Ямал [8]. В водах, формирующихся в лесотундровой зоне, резко возрастает содержание типоморфных микроэлементов (в десятки раз по сравнению с тундрой), что свидетельствует об увеличении подвижности Al и Fe из-за увеличивающейся степени заболоченности, интенсивности глеевых процессов в почвах водосборов озер. На подвижность алюминия существенное влияние оказывают кислотность и цветность водоемов.

Для зоны тундры, лесотундры распределение микроэлементов имеет следующий вид:

10-100 мкг/л: Fe>Al>B  
 1-10 мкг/л: Mn>Sr>Zn>Ba>Cu  
 0,1-1 мкг/л: Mo>Ni >Li>Bi>As>Rb>Ti>Pb>Cr>Sb>V  
 0,05-0,1 мкг/л: Се  
 Менее 0,05 мкг/л Y >Nd> La > U > Ag >Pr> Cd > Hg  
 >Sm>Dy>Sn>Er>Yb>Zr> Be >Eu> Ho > W>Th> Tb>Cs>Lu>Tm>Re

*Северная тайга.* Содержание микроэлементов в водах северо-таежных озер относительно других подзон тайги несколько понижено (табл. 2, рис. 1-3). Причиной понижения является выщелачивание элементов в условиях переувлаж-



нения и промывного водного режима, складывающегося в рыхлых талых горных породах. Кроме того, в северной тайге Западной Сибири велика доля олиготрофных болот (70% от всей площади болот подзоны) [9].

Распределение микроэлементов в зоне северной тайги:

Более 100 мкг/л:	Fe
10-100 мкг/л:	Al>B
1-10 мкг/л:	Zn>Mn>Ba>Cu>Sr
0,1-1 мкг/л:	Bi>Mo>Ni>Li>Rb>Pd>As>Ti>Cr>Sb
0,1 — 0,05 мкг/л:	V>Ce>Nd
Менее 0,05 мкг/л	Ag>La>U>Y>Zr>Gd>Pr>Sm>Cd>Hg>Sn>Dy>Yb>Be>W>Er>Eu>Th>Cs>Ho>Tb>Lu>Tm>Re

*Средняя тайга.* В зоне средней тайги преобладают подзолистые и болотные почвы, кислотность и цветность водоемов этой подзоны варьируется в очень широком диапазоне (рН 4.54-7.42, цветность 7.4-146 град. цветности). Содержание большинства микроэлементов в этой зоне примерно такое же, как в северных регионах. Фактом, свидетельствующим о высокой степени заболоченности территории, является высокое содержание в воде Fe, становящегося водорастворимым в анаэробных условиях болот.

Распределение микроэлементов в зоне средней тайги:

Более 100 мкг/л:	Fe
10-100 мкг/л:	Al>B
1-10 мкг/л:	Mn>Zn>Ba>Sr>Cu>Li
0,1-1 мкг/л:	Mo>Rb>As>Pb>Ni>Ti>Bi>Cr>V>Sb
0,05-0,1 мкг/л:	Ce>Nd
Менее 0,05 мкг/л	La>U>Ag>Y>Zr>Cd>Pr>Gd>Hg>Sm>Dy>Be>Sn>W>Th>Cs>Yb>Er>Eu>Ho>Tb>Re>Lu>Tm

*Южная тайга.* При переходе от зоны средней тайги к южной наблюдается увеличение концентрации следующих микроэлементов (Zn, Mn, Ba, Bi, Li, Rb, As, U, Cd, Nb, Cs). Такое повышение может быть связано с активным вовлечением микроэлементов в малый биологический круговорот, с влиянием антропогенных факторов.

Распределение микроэлементов в зоне южной тайги:

Более 100 мкг/л:	Sr
10-100 мкг/л:	Fe>Ba>Mn>B>Al
1-10 мкг/л:	Zn>Li>Cu>Rb>As
0,1-1 мкг/л:	Mo>Bi>Pb>Ti>U>Cr>Sb>Ni
0,05-0,1 мкг/л:	V>Ce>Cd
Менее 0,05 мкг/л	La>Nd>Y>Ag>Pr>Hg>Gd>Sm>Sn>Cs>Dy>Zr>Be>Er>W>Yb>Ho>Re>Tb>Eu>Th>Lu>Tm

*Лесостепь.* Воды лесостепных озер отличаются от таежных достаточно сильно. По лесостепи Западной Сибири проходит изолиния коэффициента увлажнения равная 1.1. Соотношение выпадающих атмосферных осадков и испарения стремится к 1, происходит нарастание доли почвенно-грунтового питания. Почвы же и четвертичные горные породы более богаты микроэлементами и карбонатами, другими солями, нежели ледниковые отложения тайги. Здесь широкое распространение имеют субаэральные и озерные лессовидные

суглинистые отложения, содержащие карбонаты. Среди почв появляются засоленные — солоды, осолоделые черноземы, и засоленные — солонцы, осолонцованные черноземы [8]. Все это приводит к росту минерализации озерных вод, появлению солоноватых и соленых озер со слабощелочной и щелочной реакцией. Среднее значение рН в обследованных озерах составило 7.92 при наличии показателя 8.3 в одном из озер Исетского района Тюменской области. Именно для этой зоны характерны повышенные концентрации большинства макро- и микроэлементов.

Распределение микроэлементов в лесостепной зоне:

Более 100 мкг/л:	Sr>Ba>B
10-100 мкг/л:	Mn>Al>Fe>Zn>Li
1-10 мкг/л:	Cu>Rb>As>V>Mo
0,1-1 мкг/л:	U>Pb>Ti>Bi>Sb>Cr>Ni
0,05-0,1 мкг/л:	Cd>Ce>La
Менее 0,05 мкг/л	Nd> Ag> Y>Pr>Gd> Hg> Cs>Sm> W>Sn> Dy> Zr>Er> Yb> Re> Ho> Tb>Th> Be> Tm> Lu>Eu

В целом по содержанию микроэлементов в озерах основных природных зон Западной Сибири можно сделать следующие выводы.

Содержание макроэлементов (Na, K, Ca, Mg) и большинства микроэлементов (Si, P, B, Mn, Ba, Sr, Zn, Cu, Li, Rb, As, V, Co, U) имеет самое высокое значение в зонах южной тайги и лесостепи. Исключением являются железо и алюминий, концентрации которых выше в заболоченных водоемах тундровой и северо-таежной зон, отличающихся высокой цветностью и кислотностью. Кроме Fe и Al для Ti, Ni и Bi самые высокие концентрации также обнаружены в северных озерах. Полученные данные могут быть использованы в качестве фоновых значений при дальнейшем изучении антропогенного воздействия на территории Западной Сибири.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Моисеенко Т.И., Кудрявцева Л.Н., Гашкина Н.А. Рассеянные элементы в поверхностных водах суши: технофильность, биоаккумуляция и экотоксикология. М.: Наука, 2006. 261 с.
2. Моисеенко Т.И., Гашкина Н.А. Формирование химического состава вод озер в условиях изменения окружающей среды. М.: Наука, 2010. 268 с.
3. Комплексное гидрохимическое и биологическое исследование качества вод и состояния водных и околоводных экосистем: Методическое руководство. Ч.1. Полевые исследования / под общ. ред. Т.И. Моисеенко. Тюмень: Изд-во ТюмГУ, 2011. 128 с.
4. Oliver, B.G., Thurmann, E.M., Malcom, R.L. The Contribution of Humic Substances to the Acidity of Natural Waters // Geochim. Cosmochim. Acta. 1983. 47. P. 2031-2035.
5. Хренов В.Я. Почвы Тюменской области. Словарь-справочник. Екатеринбург: УрО РАН, 2002. 156 с.
6. Орлов Д.С., Микроэлементы в почвах и живых организмах // Соросовский образовательный журнал, 1998. № 1. С. 61-68.
7. Ковда В.А. Основы учения о почве. Кн. 2. М.: Наука, 1973. С. 199-229.
8. Московченко Д. В. Нефтегазодобыча и окружающая среда: эколого-геохимический анализ Тюменской области. Новосибирск: Наука, 1998. 112 с.
9. Валеева Э.И., Московченко Д.В. Роль водно-болотных угодий в устойчивом развитии севера Западной Сибири. Тюмень: Изд-во ИПОС СО РАН, 2001. 229 с.