



УДК 550.47

## Биогеохимия прибрежной зоны бухты Большие Коты (Южный Байкал)

Н. Н. Куликова<sup>1</sup>, А. Н. Сутурин<sup>1</sup>, Е. В. Сайбаталова<sup>1</sup>, С. М. Бойко<sup>1</sup>,  
О. А. Тимошкин<sup>1</sup>, В. М. Домышева<sup>1</sup>, Л. Ф. Парадина<sup>1</sup>, М. В. Сакирко<sup>1</sup>,  
И. В. Томберг<sup>1</sup>, Е. П. Зайцева<sup>1</sup>, В. В. Мальник<sup>1</sup>, А. Г. Лухнев<sup>1</sup>, Е. Л. Попова<sup>2</sup>,  
О. В. Попова<sup>1</sup>, Н. В. Потапская<sup>1</sup>, В. С. Вишняков<sup>2,1</sup>, Е. А. Волкова<sup>1</sup>,  
Ю. М. Зверева<sup>2,1</sup>

<sup>1</sup> Лимнологический институт СО РАН, Иркутск

<sup>2</sup> Иркутский государственный университет, Иркутск

E-mail: [kulikova@lin.irk.ru](mailto:kulikova@lin.irk.ru)

**Аннотация.** Представлены результаты изучения химического элементного состава прибрежных и интерстициальных вод заплесковой зоны бух. Бол. Коты (Юж. Байкал). Установлено, что содержание многих элементов заметно варьирует в интерстициальных водах заплесковой зоны. Максимальное количество биофильных элементов поступает в прибрежную зону в июле, наиболее благоприятный период для разложения береговых скоплений детрита (БСД). При этом вода обогащается не только элементами, поступающими в результате минерализации БСД, но и элементами (Al, Si, Fe, Mn, Ti, РЗЭ и др.), переходящими в раствор при разрушении пляжных грунтов продуктами распада БСД. Важным фактором в миграции макро- и микроэлементов является массовое развитие и отмирание прибрежных водорослей, жизнедеятельность беспозвоночных, накапливающих широкий спектр химических элементов при жизни и обогащающих ими воды мелководной и заплесковой зон при отмирании.

**Ключевые слова:** Байкал, заплесковая зона, береговая зона, горные породы, пляжные грунты, интерстициальные воды, макроводоросли, береговые скопления детрита, химический элементный состав.

### Введение

Химический состав озёрных вод формируется в ходе сложных многоступенчатых процессов. Основными природными источниками поступления элементов в водную среду являются выветривание горных пород, высвобождение из донных отложений, выпадение из атмосферы, минерализация органического вещества на водосборе и в самом водоёме. Среди факторов, определяющих элементный состав воды и концентрацию элементов в воде, наиболее важными являются геологическая структура водосбора, химический состав горных пород и соотношение их типов, устойчивость к выветриванию. Климатические факторы (температура, осадки, испарение и др.) косвенно влияют на содержание элементов через интенсивность выветривания горных пород, биопродукционных процессов, разложения органических остатков, а также скорости химических и биологических внутриводоёмных процессов и пр. [9].

Протяженность береговой линии оз. Байкал составляет около 2 тыс. км, из которых 80 %

приходится на абразионные берега, развивающиеся в условиях сейсмической активности, глубокого промерзания и высокой энергии движения волн. Почти на всём протяжении западного побережья абразионные берега сложены магматическими и метаморфическими породами докембрия [1; 10]. В геологическом строении района исследований основную роль играют гранитоидные породы Котовского комплекса протерозойского возраста. Наряду с гранитоидами распространены осадочные породы среднеюрского возраста, представленные конгломератами и песчаниками. Долины рек и распадки слагают кайнозойские образования, где широко развиты коллювиально-делювиальные щебнисто-песчанисто-глинистые отложения плейстоцен-голоценового возраста. В береговой зоне коренные породы нередко перекрыты четвертичными обвальными осадками щебнисто-глинисто-глыбовыми отложениями. На берегу бух. Бол. Коты наиболее распространены смешанные, хвойные (сосняки) и мелколиственные леса, чередующиеся с участками экстразо-

нальных степей и остепнённых лугов по крутым каменистым склонам [2]. В почвенном покрове, развитом в основном в верхней части береговой зоны, преобладают дерновые лесные почвы. К абразионным берегам приурочены валунные или чаще галечные пляжи шириной от 2 до 20 м. Нередко вдоль берегов за счёт разрушения прибрежных склонов возникают обвалы, осыпи, оползни, материал которых скапливается у подножия склонов и частично на пляжах. Постепенно эти конусы обломочного и почвенного материала вовлекаются в переработку волновыми процессами [11]. Между урезом воды озера в спокойном состоянии и линией заплесков наибольших штормовых волн расположена заплесковая зона. В период открытой воды проходящая по урезу нижняя граница зоны заплеска из-за повышения уровня озера смещается вверх по пляжу к береговым уступам, а в зимне-весенний – вновь удаляется. При этом амплитуда колебаний уровня меняется в пределах 1 м [10; 2]. В районе бух. Бол. Коты средняя ширина зоны составляет около 10 м [2].

Весь комплекс макро- и микроэлементов поступает в воды и при разложении органического вещества, скопление которого в заплесковой зоне обеспечивается ежегодным массовым вылетом имаго эндемичных ручейников, хирономид и последующим их отмиранием после откладки яиц в приурезовой зоне; массовой вегетацией и отмиранием водных и наземных макрофитов; массовыми линьками прибрежных беспозвоночных, а также растительным опадом лесов (листья, хвоя, шишки, пыльца и др. растительные остатки), покрывающих береговые склоны. Штормы периодически выносят на берег массу губок, макроводорослей (улотрикс, драпарнальдии, тетраспоры, кладофоры и др.), высшей водной растительности (элодея, ряска, уруть и др.), иногда погибших бычковых рыб и др. [2]. Интенсивно развивающиеся в этих скоплениях микроорганизмы, многочисленные представители мейоинфауны (Cyclopoida, Nematoda, Tardigrada, Rotifera и Collembola) и макрофауны (Enchytraeidae) [4] ускоряют минерализацию органического вещества БСД и обеспечивают круговорот химических элементов в прибрежной зоне озера. Разложение большой массы органических веществ приводит к образованию  $\text{CO}_2$  и органических кислот, которые, вместе с водой просачиваясь в грунты, ускоряют их разрушение, обеспечивают выщелачивание растворимых продуктов и поступление их в прибрежные воды. Раство-

ранные формы представлены соединениями элементов, находящимися в ионной форме, в виде гидрокомплексов и комплексов с растворёнными неорганическими и органическими веществами природных вод. Химические элементы в природных водах могут также находиться во взвешенной и коллоидной формах [6].

Целью настоящих исследований стало выявление роли природных факторов, влияющих на формирование химического состава вод прибрежья и определение природного фона содержания химических элементов в водах прибрежной зоны.

#### *Материалы и методы*

Отбор проб для определения элементного состава интерстициальных вод заплесковой зоны начали проводить в июле – октябре 2009 г. В 2010–2011 гг. отбор проб интерстициальных вод заплесковой зоны, воды приурезовой полосы и вод в 100 м от уреза проводили ежемесячно с мая по ноябрь на базе стационара ЛИН СО РАН в пос. Бол. Коты. Пробы отбирали на четырёх стандартных разрезах: пляжи возле выхода к береговой линии падей Чёрная, Жилище (150 м южнее стационара ЛИН СО РАН («Пещерка») и напротив стационара), Варначка. Каждый из разрезов включал 3 станции: лунка в 1 м выше уреза (пробы грунтов и интерстициальных вод), вода озера в 1 м и в 100 м от уреза. Ниже приведены геологические описания стандартных разрезов:

*Падь Чёрная:* в южной части берегового склона в форме отвесной скалы высотой 10–15 м обнажаются слабоизменённые микроклин-амфиболовые граниты, переходящие в центре в трещиноватые и выветрелые ожелезненные микроклин-амфиболовые граниты, на поверхности которых участками сформирован мало мощный дерновый слой почвы с разреженной степной и лесостепной травянистой растительностью. В северной оконечности крутой берег высотой 6–7 м сложен рыхлой осадочной песчано-глинистой толщей с редкими включениями крупных валунов. Широкий гравийно-галечниковый пляж на 60 % представлен обломками гранитов береговой зоны и на 40 % привнесённым каменным материалом.

*Падь Жилище, 150 м южнее стационара ЛИН (пляж «Пещерка»):* берег сформирован в виде небольшой бухты; в центральной части береговой зоны в форме обрыва, высотой около 10 м, обнажаются микроклин-амфиболовые граниты Котовского комплекса. В северной части берега граниты выветрелые, ожелезнен-

ные и разбиты сверху донизу комплексом тонких и крупных трещин. В основании скального обнажения – небольшое тело сильно изменённых габбро или амфиболитов. Породы южной оконечности берега представлены слаботоразрушенными микроклин-амфиболовыми гранитами. Наибольшая ширина песчано-галечникового пляжа в центральной части 8–10 м.

*Падь Жилище (пляж напротив стационара ЛИН СО РАН):* берег высотой около 3 м сложен горизонтально лежащими рыхлыми образованиями. Верхний дерновый слой почвы мощностью 15–20 см постепенно переходит в толщу, сложенную песком, глиной и остроугольными обломками горных пород. В нижней части этой толщи располагается небольшой погребённый гумусовый горизонт, который через тонкую охристую прослойку переходит в сизоватой окраски глину. Ниже следуют глинисто-галечниковые отложения. Основание обрыва представлено песчано-галечниковым слоем мощностью около 2 м. Пляж шириной 8–10 м сложен валунами, галькой и гравием.

*Падь Варначка:* коренные породы береговой зоны представлены конгломератами, обнажения которых выходят на поверхность в 70–100 м южнее разреза «падь Варначка». В районе исследований крутой, обширный берег высотой около 30 м сложен рыхлыми песчано-глинистыми отложениями. По береговому склону развит разреженный сосновый лес, в основании склона – заросли спиреи, на пляже – одиночные деревья ивы. Песчано-галечниковый пляж шириной 10–15 м преимущественно сложен гальками из конгломератов (около 90 % – порфиритами, 10 % – гнейсовидными породами).

Пробы воды в 1 м от уреза, интерстициальных вод и пляжных грунтов отбирали в южной, центральной и северной частях пляжей. Кроме этого, отбирали пробы интерстициальных вод и грунтов под скапливающимися на берегу органическими остатками.

После отбора пробы воды фильтровали через мембранные фильтры с диаметром пор 0,2 мкм в полипропиленовые пробирки, консервировали  $\text{HNO}_3$  марки ос. ч. Грунт для лимоннокислых вытяжек подвижных соединений макро- и микроэлементов (преимущественно водно-растворимых, адсорбированных и небольшой доли труднорастворимых форм) отбирали со дна лунок, на глубине 20–40 см, где выделяется гравийно-песчаный слой с примесью пылевидных и илистых частиц. Для вытяжек, после рассеивания всего образца на ситах, составляли навеску в 5 г, включающую для всех

отобранных проб одинаковые количества следующих фракций: 2–1, 1–0,5, 0,5–0,25 и < 0,25 мм.

Навеску помещали в полипропиленовые банки ёмкостью 100 мл, приливали 50 мл лимонной кислоты с рН 4,6, встряхивали три часа, отбирали 14 мл суспензии и фильтровали через мембранный фильтр с размером пор 0,2 мкм в полипропиленовые пробирки. Профильтрованные пробы подкисляли азотной кислотой марки ос. ч. Величину рН отобранных проб воды, водных вытяжек из почвенных образцов и органических остатков, преобладающих в БСД, измеряли потенциометром «testo 252». Выбор лимонной кислоты для вытяжек обусловлен тем, что в природных условиях выветривание пляжных грунтов связано, в первую очередь, с разложением большой массы органических веществ, в процессе которого вода заплесковой зоны постепенно насыщается органическими кислотами. Самую многочисленную группу из них составляют карбоновые кислоты [5]. Концентрация кислоты подобрана так, чтобы значение рН экстрагента было близким к показателям кислотности разлагающихся на пляжах БСД.

Тщательно очищенные (с использованием магнитной мешалки ММ-5 и микроскопа МБС-10) от механических примесей образцы макродорослей и выдержанных в дистиллированной воде без пищи в течение 2–3 дней олигохет, сушили при температуре 30 °С. Для контроля однородности высушенные образцы повторно просматривали под биноклем и затем растирали в агатовой ступке. Методом квартования отбирали средние пробы, помещали их в стеклянные бюксы и доводили до постоянной массы при температуре 105 °С. Подготовку проб к анализу выполняли способом кислотной минерализации (70%-ной  $\text{HNO}_3$  марки ос. ч., 30%-ным  $\text{H}_2\text{O}_2$  и 50%-ной HF марки ос. ч.) в микроволновой печи (DAEWOO KOC-1B4KA, мощность СВЧ 1000 Вт). Элементный состав проб определяли методом ICP-MS на масс-спектрометре Agilent 7500ce (Agilent Technologies) с квадрупольным масс-анализатором в центре коллективного пользования «Ультрамикрoанализ» при ЛИН СО РАН. Прибор градуировали по стандартному раствору (MECS-2A, Agilent), содержащему Li, Be, Al, V, Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, As, Se, Rb, Sr, Ag, Cd, Cs, Ba, Tl, Pb, Th, и U, который был разбавлен 2%-ной  $\text{HNO}_3$  до концентрации 10 мкг/л для каждого элемента, а также по стандартному образцу байкальской бутилированной воды. 2%-ный раствор  $\text{HNO}_3$  использовали для выполнения контрольного опыта.

Дрейф прибора отслеживали по внутреннему стандарту In.

Правильность определений оценивали, используя аттестованные стандартные образцы байкальской воды, тканей элодеи канадской *Elodea canadensis* Michx. 1803 (ЭК-1) и речного окуня *Perca fluviatilis* Linnaeus, 1758 из оз. Байкал (БОК), которые разлагали и измеряли в каждой серии совместно с исследуемыми пробами. Пределы обнаружения элементов в воде – от 0,0001 мкг/л для редкоземельных элементов до 340 мкг/л для S. Относительное стандартное отклонение – от 0,1 для В, Na, Mg, Si, S, К, Са, Мо, Ва, I, U, до 0,3 для Р, Mn, Cu, редкоземельных элементов (РЗЭ) и Pb.

### Результаты и обсуждение

В летние месяцы, особенно в июле, содержание большинства химических элементов в воде бух. Бол. Коты уменьшается в направлении «зона заплеска (интерстициальные воды) > вода приурезовой полосы (1 м от уреза) > вода залива в 100 м от уреза». Максимальное снижение характерно для малоподвижных, слабо мигрирующих Al, Ti, Si, Cr, V, Ga, Zr, Ag, Th и РЗЭ (рис. 1).

Конец июня – июль – период наиболее благоприятных климатических условий для развития растительного покрова, процессов разложения органических остатков, сопровождающихся понижением водородного показателя pH за счёт образования CO<sub>2</sub> и органических кислот. Значения этого показателя в водных вы-

тяжках растительного опада (сосновая и лиственничная хвоя, сосновые шишки, берёзовые листья), образующего лесную подстилку и постоянно сносимого ветрами в прибрежную зону, колеблется от 4,25 до 5,26. Соответственно, растворяющая способность стекающей с берегов воды, просачивающейся в вертикальном направлении через слой растительного опада, почвенный покров (pH<sub>водн.</sub> – 5,63–6,50) и горные породы, повышается.

В этот период отмечается наибольший поток химических элементов в приурезовую и заплесковую зоны с берегов залива. Максимальные содержания химических элементов в интерстициальных водах зоны заплеска установлены после июльских ливней (рис. 2). После осенних дождей (сентябрь, октябрь) интенсивность миграции химических элементов с водой из береговой зоны снижается, но и в эти месяцы интерстициальные воды отличаются более высокими содержаниями элементов, чем в сухую погоду.

Выветриванию горных пород береговой зоны способствует также практически постоянно действующее ветровое волнение. Ударная нагрузка волн достигает нескольких тонн на квадратный метр [10]. Образование трещин, раздробление горных пород ведут к увеличению их дисперсности, просачиванию насыщенной кислородом, углекислотой и органическими соединениями воды, ускорению химического разрушения горных пород и образованию обвалов.

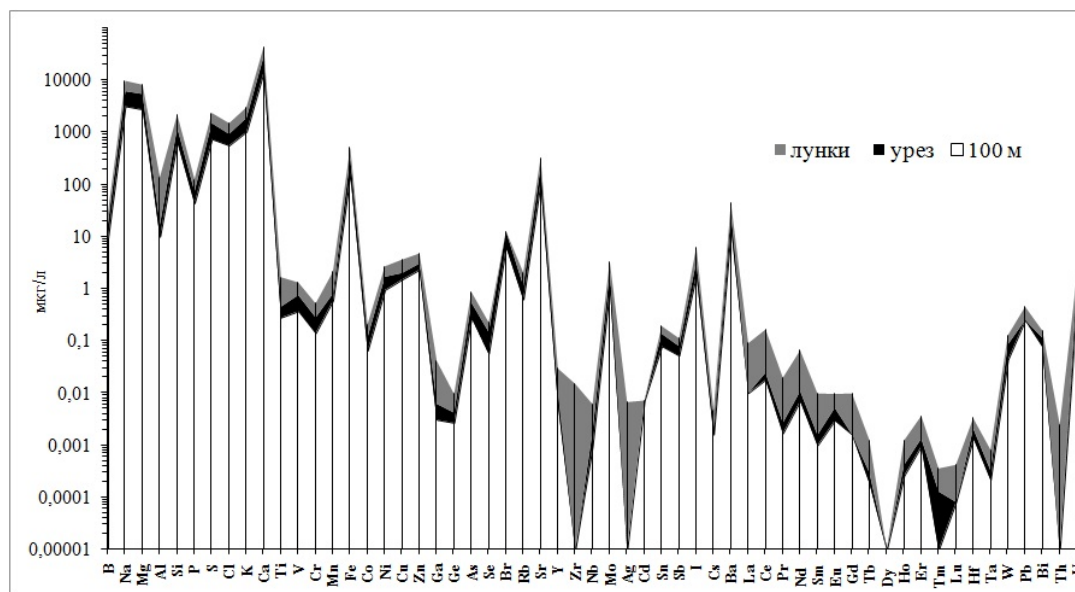


Рис. 1. Элементный состав воды в бух. Бол. Коты в 100 м, в 1 м от уреза и интерстициальных вод зоны заплеска (22.07.2010, падь Варначка)

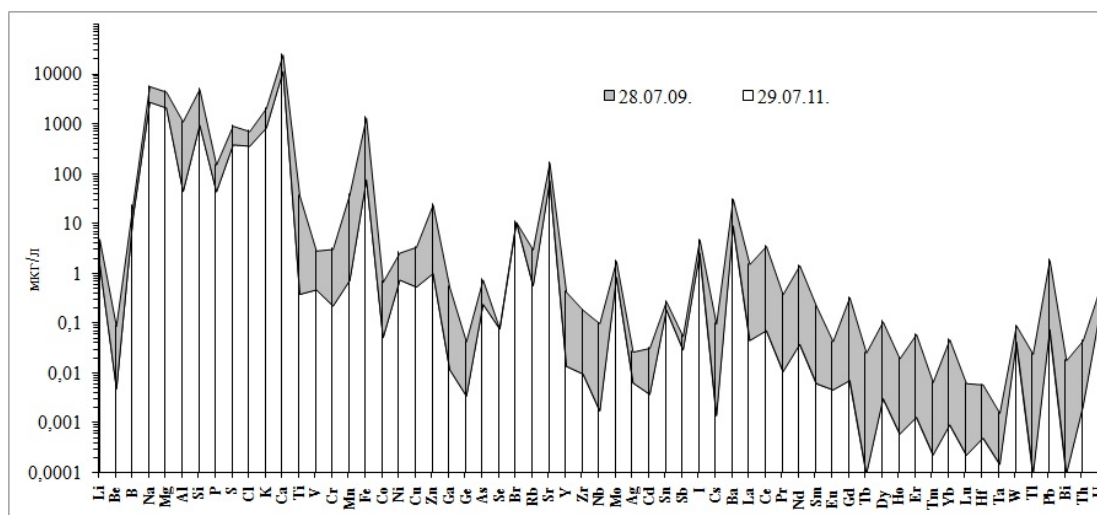


Рис. 2. Среднее содержание химических элементов в интерстициальной воде зоны заплеска (28.07.2009 после ливней 24–26 июля, 29.07.2011 в сухую погоду; падь Варначка)

В пробах интерстициальной воды, отобранных в заплесковой зоне (падь Чёрная) на следующий день после суточного шторма, уменьшается содержание B, P, S, K, Ca, Cu, Se, Sr и увеличивается концентрация Al, Si, Ti, Mn, Fe, Co, Zn, Ga, Ge, Br, Y, Nb, Cs, Pb, РЗЭ. Вода, скопившаяся после шторма в выемке гранитной глыбы, и отстоявшаяся в течение суток, насыщена B, Na, Mg, Si, P, S, Cl, K, Ca, V, Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Y, Zr, Ag, I, Hf. Под конусом почвенного обвала, протянувшегося почти до уреза воды и засыпавшего пляжный грунт на глубину 70–80 см, увеличивается содержание Li, B, Na, Mg, Al, Si, P, K, Ca, Mn, Br, Sr, Ag, Sn, I, тяжёлых РЗЭ (Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Yb, Lu) (табл. 1).

Кроме выветривания горных пород и разрушения почвенного покрова, миграция химических элементов в заплесковой зоне определяется процессами разложения аккумулирующихся (от 20–170 до 1100 г/м<sup>2</sup> воздушно-сухой массы) на пляжах органических остатков, подкисляющих интерстициальные воды и воду озера в приурезовой полосе (рН воды в таких участках снижается с 7,5–8,6 до 6,2–6,8). В результате минерализации органических остатков интерстициальные воды заплесковой зоны и вода побережья, а также слой пляжных грунтов на глубине 20–30 см насыщаются биогенными элементами.

При разложении БСД, представленных на 50 % *Ulothrix zonata* (Web. et Mohr.) Kütz. и на 40 % остатками наземной растительности, в интерстициальных водах и сопряжённых с ними мелкодисперсном слое грунтов и приурезовой воде озера увеличивается содержание P, S, Cl, K, Ca, Mn, Ni, Cu, Zn, As, Se, Br, Rb, Sr, Ag, Cd, I, Ba, Pb. При отмирании скоплений *Tetraspora cylindrica* (Wahl.) Ag. var. *bullosa*

*S. Meyer.* в воде побережья повышается содержание B, P, S, K, Ca, Ti, Mn, Ni, Cu, As, Rb, Sr, Cd, Ba; при отмирании выброшенных на берег колоний *Nostoc verrucosum* (Vauch.) Born. et Flah. in sensu Elenk. в интерстициальные воды в заметных количествах переходят Mg, P, K, Ca, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Rb, Sr, Cd, I, Ba, Pb; а макроводорослей рода *Draparnaldioides* – B, Na, P, Cl, K, Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, As, Br, Rb, Cd, I, Pb. В результате минерализации отмерших имаго ручейников в интерстициальные воды поступают Na, Al, Si, P, Cl, K, Ti, V, Mn, Cu, Zn, As, Se, Br, Rb, Ba, La (табл. 2).

Одновременно с этим под скоплениями органических остатков развивается огромное количество олигохет *Mesenchytraeus bungei* Michaelsen, 1901 (от одной до нескольких десятков тыс. экз. на 1 м<sup>2</sup>) [4], накапливающих в своих телах: Na – 1700±350; Mg – 500±50; Si – 2100±300; P – 3500±360; S – 4200±400; K – 3200±300; Ca – 200±50; Zn – 90,0±20,0; As – 4,20±0,90; Br – 9,40±1,70; Cd – 0,35±0,10; I – 3,23±0,50; Pb – 0,65±0,17 мкг/г сухой массы. Разложение большой массы органических веществ приводит также к усилению процессов разрушения пляжных грунтов и выщелачиванию из слагающих их минералов и горных пород подвижных элементов. Миграция химических элементов в периоды массового скопления органического вещества определяется процессами его разложения. В этот период вода уреза и лунок максимально насыщена химическими элементами, входящими в состав как разлагающейся массы органического вещества (Ca, P, S, K, Cl, Mn, Fe, Cu, Zn, Br, Se, I), так и минеральных грунтов (Ca, Mg, K, Si, Fe, Mn, B, Br) [4].

Таблица 1

Содержание химических элементов (мкг/л) в интерстициальной воде, отобранной в безветренную погоду 23.07.2010 (1); после суточного шторма (02.11.2010) (2); в воде, скопившейся после шторма в выемке гранитной глыбы (23.07.2010) (3); под толщей почвенного обвала (31.07.2011) (4)

Элемент	1	2	3	4	Элемент	1	2	3	4
Li	2,20	1,55	1,75	4,55	Nb	0,0034	0,024	0,0015	0,0025
Be	0,0022	0,0080	0,0039	0,0047	Mo	1,06	0,95	1,70	0,68
B	9,07	5,60	14,0	15,0	Ag	< ПО	< ПО	0,0029	0,0039
Na	3000	2400	3500	3500	Cd	< ПО	< ПО	0,010	0,0045
Mg	2800	2300	3300	3700	Sn	< ПО	< ПО	< ПО	0,013
Al	44,0	200	16,0	62,0	Sb	0,028	0,040	0,053	0,028
Si	790	1100	2100	1800	I	1,30	1,70	2,25	3,80
P	35,3	< ПО	50,5	80,0	Cs	0,001	0,012	0,001	0,002
S	690	< ПО	950	690	Ba	14,0	14,0	15,5	15,0
Cl	380	290	770	330	La	0,18	0,63	0,23	0,14
K	920	700	1400	1200	Ce	0,23	1,35	0,31	0,23
Ca	15 000	12 000	17 500	22 000	Pr	0,04	0,13	0,05	0,03
Ti	1,63	12,0	0,55	1,50	Nd	0,12	0,47	0,20	0,13
V	0,40	0,73	0,84	0,36	Sm	0,015	0,068	0,026	0,017
Cr	0,21	0,45	1,28	0,17	Eu	0,004	0,015	0,007	0,007
Mn	0,81	8,3	29,0	1,40	Gd	0,015	0,071	0,028	0,039
Fe	180	520	200	190	Tb	0,0013	0,0070	0,0029	0,0025
Co	0,074	0,17	0,32	0,12	Dy	< ПО	0,030	< ПО	0,0089
Ni	0,84	0,52	1,40	1,30	Ho	0,0008	0,0060	0,0026	0,0019
Cu	0,81	0,36	2,05	0,78	Er	0,003	0,017	0,008	0,006
Zn	1,15	2,8	1,70	0,97	Tm	0,0003	0,0022	0,0008	0,0006
Ga	0,02	0,13	0,02	0,02	Yb	< ПО	< ПО	< ПО	0,0048
Ge	0,004	0,011	0,011	0,003	Lu	0,0002	< ПО	0,0009	0,0007
As	0,23	0,24	0,61	0,13	Hf	0,0002	0,0005	0,0015	0,0003
Se	0,074	< ПО	0,10	0,060	Ta	0,0002	0,0007	0,0002	< ПО
Br	< ПО	4,1	< ПО	13,0	W	0,050	0,042	0,049	0,024
Rb	0,40	0,61	0,32	0,13	Tl	0,0015	0,0033	0,0023	< ПО
Sr	113	95	120	140	Pb	0,10	0,35	0,16	< ПО
Y	0,02	0,14	0,07	0,04	Bi	0,037	0,044	0,036	< ПО
Zr	0,012	0,015	0,034	0,008	Th	0,012	0,010	0,012	0,002

Примечание. < ПО – ниже предела обнаружения.

Повышенные содержания подвижных элементов, извлекаемых в лимоннокислые вытяжки, установлены в грунтах всех разрезов в мае, когда продолжается сток воды с береговых склонов и скал. Из проб грунтов, отобранных в это время, экстрагируются в большем количестве В, Na, Mg, Al, Si, Cl, K, Ca, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Br, Cd, Pb, U, РЗЭ (табл. 3).

Широкий спектр подвижных соединений химических элементов накапливается в грунтах через несколько часов после шторма. Лимоннокислые вытяжки из таких проб, в отличие от экстрактов грунтов, отобранных в безветренную погоду, более насыщены Li, B, Al, Si, Ti, Cr, Fe, Zn, I, РЗЭ, Pb, U. Периодически во время штормов и ливневых дождей часть

образовавшихся запасов элементов из грунтов вымывается и обогащает ими воды мелководной зоны.

Содержание определяемых элементов в воде озера в 1 м от уреза, как правило, ниже, чем в интерстициальных водах, но выше, чем в 100 м от уреза. Значительное количество химических элементов усваивается живыми организмами, которые в мелководной зоне Байкала отличаются высокими численностью и биоразнообразием. В апреле на свободных ото льда участках дна у уреза воды появляются первые нити *U. zonata*. В мае – августе на глубинах от 0 до 1,5 м он образует растительный пояс.

Таблица 2

Элементный состав (мкг/л) прибрежных и интерстициальных вод заплесковой зоны бух. Бол. Коты

Элемент	25.06.2010		24.07.2010		24.06.2010		27.08.2010		25.08.2010	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
B	6,72	8,14	7,00	37,0	3,19	3,93	8,6	23,0	9,4	44,5
Na	3100	2600	2800	2900	2400	3700	2600	3100	2800	4000
Mg	2800	3000	2500	2900	2200	2600	2400	2900	2500	15500
Al	110	10,1	5,6	4,3	3,7	16,3	22,0	11,0	21,0	36,5
Si	560	660	410	550	750	990	500	560	590	640
P	< ПО	890	33	80	20	1300	< ПО	70	< ПО	3500
S	830	1000	710	1300	360	590	460	400	510	700
Cl	850	1260	340	520	300	900	340	2200	380	500
K	950	3000	780	2900	740	2700	810	2400	860	14000
Ca	16000	18600	13000	16000	12200	14000	13000	10000	13000	80000
Ti	2,73	0,83	0,19	0,60	0,22	0,83	0,48	0,29	0,57	0,52
V	0,38	0,39	0,44	0,43	0,16	0,54	0,33	0,36	0,38	0,86
Cr	0,37	0,22	0,12	0,14	0,13	0,17	0,12	0,63	0,18	0,64
Mn	0,7	110,0	0,2	5,9	0,3	9,0	0,4	11,0	0,7	62,0
Fe	220	240	150	180	130	170	140	110	150	1000
Co	< ПО	< ПО	0,06	0,11	< ПО	< ПО	0,06	0,20	0,06	0,80
Ni	0,34	1,15	0,73	1,20	0,22	0,64	0,61	1,80	0,74	4,10
Cu	1,2	59,9	0,5	1,2	0,6	3,2	0,3	1,0	0,7	1,7
Zn	1,29	6,13	0,80	1,30	1,29	2,14	1,10	6,60	1,40	5,10
As	0,13	0,79	0,27	0,65	0,23	0,79	0,28	1,30	0,20	3,30
Se	0,48	1,04	0,06	0,08	0,34	0,60	0,06	0,10	0,07	0,23
Br	11,6	28,8	< ПО	< ПО	7,1	11,2	< ПО	18,0	< ПО	< ПО
Rb	< ПО	0,72	0,47	1,70	< ПО	0,80	0,50	1,10	0,35	3,20
Sr	110	150	100	120	90	100	100	60	100	600
Mo	1,34	0,89	1,10	1,10	0,95	1,20	1,10	0,62	1,00	0,55
Ag	0,003	0,070	< ПО	< ПО	< ПО	< ПО	< ПО	< ПО	< ПО	< ПО
Cd	0,003	0,530	< ПО	0,006	0,002	0,003	< ПО	0,063	< ПО	0,050
I	1,92	5,02	1,40	1,30	1,38	1,42	1,40	2,30	1,20	5,55
Ba	3,5	44,7	12,0	20,0	9,1	17,1	12,0	8,2	10,0	73,5
La	0,16	0,21	0,01	0,05	0,02	0,11	0,05	0,08	0,07	0,13
Ce	0,05	0,03	0,01	0,06	< ПО	< ПО	0,07	0,13	0,08	0,15
Pb	0,14	0,38	0,06	0,15	0,06	0,12	0,06	1,60	0,06	0,27
Bi	0,007	0,008	0,035	0,039	0,012	0,031	0,034	0,010	0,037	0,040
Th	0,003	< ПО	< ПО	0,001	< ПО	< ПО	0,001	0,011	0,002	0,002
U	0,91	0,17	0,68	0,15	0,44	0,21	0,57	0,11	0,57	0,07

Примечание: 1 – интерстициальная вода чистого участка пляжа; 2 – вода под БСД с преобладанием массы отмирающих талломов *U. zonata* и остатков наземной растительности; 3 – вода в 1 м от уреза без скоплений макроводорослей; 4 – вода в 1 м от уреза с массой оторванных от субстрата талломов *T. cylindrica* var. *bullosa* (падь Жилище, напротив стационара ЛИН); 5, 7 – интерстициальные воды чистого участка пляжа; 6 – воды под скоплением разлагающихся имаго ручейников; 8 – воды под массой выброшенных на берег талломов макроводорослей рода *Draparnaldioides* (падь Чёрная); 9 – интерстициальные воды чистого участка; 10 – воды под скоплениями колоний *N. verrucosum* и имаго ручейников (падь Жилище, пляж «Пещерка»)

Вдоль северо-западного побережья Юж. Байкала максимальная фитомасса вида (от 100 до 400 г/м<sup>2</sup>) отмечена в конце июля [8], в районе пос. Бол. Коты средняя биомасса в этот же период составляет 202,5 г/м<sup>2</sup> [3]. В процессе роста улотрикс интенсивно поглощает: S – 10500±1500; Ca – 2800±400; Si – 1700±570; P – 900±40; Fe – 290±80; Mn – 34,2±10,2; Zn – 25,7±6,2; Ti – 19,5±3,7 мкг/г сухой массы, <10

мкг/г – Cr, Co, Ni, Cu, Se, Br, Rb, Sr, Cd, I, PЗЭ, Pb и др. Личинки хирономид (с неочищенными кишечниками), в большом количестве обитающие в его зарослях, аккумулируют: Na – 4200; Mg – 1100; Si – 15000; P – 6100; S – 3900; K – 5500; Cl – 1200; Ti – 48,0; Mn – 22,0; Fe – 650; Cu – 11,0; Zn – 33,0; As – 6,30; Br – 9,10 мкг/г сухой массы.

Таблица 3

Содержание элементов в лимоннокислых вытяжках из грунтов, отобранных на пляже разреза «падь Варначка», мкг/л

Элемент	28.05.10	23.06.10	22.07.10	24.08.10	31.10.10	Элемент	28.05.10	23.06.10	22.07.10	24.08.10	31.10.10
B	5,80	4,10	<1,8	<1,8	<1,8	Mo	0,45	0,32	0,27	0,34	0,24
Na	1300	960	310	280	290	Cd	0,046	0,018	0,0064	0,0026	0,0042
Mg	620	420	220	310	270	I	3,50	13,00	2,20	2,90	3,70
Al	93,0	55,0	47,0	72,0	99,0	Ba	4,60	2,50	2,40	2,60	2,40
Si	740	490	420	510	480	La	0,45	0,24	0,17	0,15	0,21
P	< ПО	< ПО	15,0	16,0	22,0	Ce	1,10	0,53	0,32	0,35	0,38
S	< ПО	< ПО	< ПО	< ПО	< ПО	Pr	0,12	0,05	0,04	0,04	0,05
Cl	660	430	97	52	330	Nd	0,51	0,20	0,15	0,14	0,17
K	510	290	230	260	260	Sm	0,086	0,027	0,022	0,023	0,026
Ca	2200	1400	1200	1700	1600	Eu	0,013	0,005	0,004	0,004	0,005
Ti	2,20	1,50	1,10	2,10	2,70	Gd	0,081	0,032	0,020	0,024	0,026
Mn	24,0	8,2	7,3	5,9	7,4	Tb	0,0093	0,0028	0,0024	0,0027	0,0033
Fe	120	70	48	64	68	Dy	0,052	0,017	0,012	0,012	0,017
Co	0,34	0,13	0,11	0,12	0,13	Ho	0,0094	0,0031	0,0028	0,0022	0,0036
Ni	1,50	0,42	0,23	0,32	0,30	Er	0,0270	0,0110	0,0064	0,0077	0,0110
Cu	3,20	2,60	1,80	1,30	1,50	Tm	0,0037	0,0016	0,0007	0,0010	0,0016
Zn	6,00	3,00	1,40	0,56	0,84	Yb	0,0230	0,0082	0,0037	0,0056	0,0093
As	0,55	0,51	0,57	0,57	0,44	Lu	0,0039	0,0012	0,0010	0,0010	0,0018
Br	13,00	7,90	5,70	7,90	9,20	Pb	1,60	0,60	0,29	0,16	0,18
Sr	16,0	10,0	9,4	13,0	12,0	Th	0,03	0,01	< ПО	0,04	0,04
Zr	0,48	0,18	0,07	0,18	0,29	U	1,40	0,26	0,28	0,31	0,23

Биомасса *Tetraspora cylindrica* var. *bullosa* в районе бух. Бол. Коты в июле в среднем составляет 270–360 г/м<sup>2</sup>, в отдельных случаях достигая 2–3 кг/м<sup>2</sup> [7]. В её талломах в это время накапливаются: Mg – 1400±400; Si – 2100±300; P – 2800±700; S – 2300±400; Cl – 190±20; K – 1600±300; Ca – 1900±300; Ti – 17,5±5,3; Mn – 25,8±3,9; Fe – 240±90; Co – 1,40±0,31; Ni – 8,23±3,62; Cu – 13,9±4,1; Zn – 20,3±2,1; As – 8,68±1,73 мкг/г сухой массы. Развивающиеся в весенне-осенний период макроводоросли составляют основную массу вдоль береговых скоплений [3]. В апреле – первой половине июня начинается развитие других весенне-летних видов водорослей из родов *Tetraspora* (фитомасса в разные годы от 200 до 600 г/м<sup>2</sup>), *Didymosphenia*, *Draparnaldioides* (фитомасса разных видов колеблется от 50–250 до 700–1200 г/м<sup>2</sup> у *Draparnaldioides baicalensis* в середине сентября) и др. Вторая половина июня – сентябрь – период массовой вегетации весенне-летних видов [8].

Наименьшие колебания в элементном составе воды залива отмечены на станциях всех разрезов в 100 м от уреза. За весь период наблюдений более высокие концентрации многих элементов (Al, Ti, Fe, Cu, Zn, Se, Zr, Cd, Sn, Pb), в том числе малоподвижных, установлены

здесь с конца мая до конца июня, что, вероятно, связано с поверхностным и дренажным стоком талых и дождевых вод. При этом максимальным количеством Ca, Mg, Na, K, P, Fe в конце мая и Al, P, Cl, K, Mn, Cu, Zn, Pb – в июле выделяется вода на разрезе «падь Варначка» (табл. 4), где крутой обширный берег сложен рыхлыми песчано-глинистыми отложениями с небольшими участками маломощных смытых почв.

В период наиболее высоких температур и биологической активности в июле – начале сентября в сравнении с маем – июнем на всех станциях 100 м от уреза увеличивается содержание B (с 2,84–5,33 до 7,80–9,70) и P (с 2,6–18,0 до 23,0–72,0 мкг/л). Максимальное содержание Cu (0,52–1,60), отмеченное на всех станциях, удерживается до конца июля. В последующие месяцы концентрация этого элемента составляет 0,10–0,56 мкг/л.

В осенние месяцы (конец сентября – начало ноября) содержание многих химических элементов в воде прибрежной зоны заметно снижается, а различия в составе воды на всех станциях и разрезах (в 100 м, в 1 м от уреза и в интерстициальных водах заплесковой зоны) менее выражены. Кратковременное повышение содержания химических элементов в 100 м от уреза в этот период отмечено после штормов.



Таблица 4

Содержание химических элементов в пробах воды озера, отобранной в 100 м от уреза, мкг/л

Элемент	Место и дата отбора проб					
	Варначка 28.05.10	«Пещерка» 30.05.10	Чёрная 29.05.10	Варначка 22.07.10	«Пещерка» 24.07.10	Чёрная 23.07.10
B	5,33	4,84	4,44	9,30	8,90	9,10
Na	3000	2800	2600	3100	2900	2900
Mg	2700	2500	2300	2700	2600	2600
Al	10,1	8,1	11,7	10,0	4,3	3,2
Si	600	600	540	650	680	670
P	13,9	6,0	2,6	43,0	23,0	27,0
S	670	500	530	730	700	750
Cl	410	410	350	550	360	360
K	1000	860	800	1000	830	830
Ca	15000	14000	13000	14000	14000	14000
Ti	0,52	0,40	0,54	0,28	0,22	0,12
Mn	0,54	0,64	1,62	0,59	0,36	0,39
Fe	190	170	170	160	150	160
Co	< ПО	< ПО	< ПО	0,065	0,057	0,058
Ni	0,35	0,32	0,32	0,94	0,73	0,77
Cu	1,56	1,19	0,92	1,50	0,52	0,73
Zn	3,32	2,90	8,91	2,30	1,40	0,86
As	0,30	0,28	0,26	0,28	0,26	0,27
Se	0,48	0,51	0,49	0,06	0,06	0,07
Br	8,29	8,41	7,63	< ПО	< ПО	< ПО
Rb	0,14	< ПО	< ПО	0,62	0,53	0,53
Sr	110	100	100	110	100	100
Mo	1,18	1,09	1,01	1,10	1,10	1,10
Ag	0,010	0,0037	0,0053	< ПО	< ПО	< ПО
Cd	0,022	0,024	0,014	0,0072	< ПО	< ПО
I	1,57	1,66	1,61	1,90	2,10	1,40
Ba	11,4	11,5	10,14	15,0	15,0	13,0
La	0,014	0,011	0,015	0,010	0,006	< ПО
Ce	< ПО	< ПО	< ПО	0,018	0,009	0,004
Pb	0,24	1,19	0,66	0,25	0,049	0,098
Th	< ПО	< ПО	< ПО	< ПО	< ПО	< ПО
U	0,55	0,47	0,46	0,64	0,62	0,62

Через 5–6 ч после шторма в районе разрезов «падь Варначка» и «падь Жилище» (напротив стационара ЛИН СО РАН), где береговая зона сложена рыхлыми песчано-глинистыми и глинисто-галечниковыми отложениями, в 100 м от уреза повышается содержание Al (с 1,30–5,20 до 14,0–18,0), P (с < 10 до 22,0–47,0), Mn (с 0,30–0,59 до 1,70–3,20), Ga (с < 0,001–0,003 до 0,006–0,017), в десятки раз возрастает концентрация РЗЭ. В районе разрезов «падь Чёрная» и «Пещерка» со скалистыми берегами элементный состав воды в 100 м от уреза в период штормов изменяется менее заметно.

**Заключение**

Во всех районах исследований максимальным содержанием химических элементов отличаются интерстициальные воды заплесковой зоны, в которой происходит разложение скоп-

лений органических остатков, разрушение пляжных грунтов, куда направлен сток поверхностных и грунтовых вод, насыщенных продуктами выветривания горных пород, разрушения почвенного покрова и минерализации растительного опада лесов. Накапливающиеся в этих водах химические элементы частично вымываются прибойными потоками в воду озера, частично адсорбируются залегающей глубже 20–40 см мелкодисперсной фракцией пляжных грунтов, составляя запас подвижных макро- и микроэлементов.

Концентрируя широкий спектр макро- и микроэлементов, необходимых для нормального роста и развития, наиболее продуктивные весенне-осенние виды прибрежных макроводорослей и значительная масса разнообразных беспозвоночных зоны заплеска и приурезовой полосы в период интенсивного потока химиче-

ских элементов в прибрежную зону выполняют роль биогеохимического барьера.

Составляя основу береговых скоплений, выброшенные прибоем макроводоросли и отмершие имаго ручейников, а также многие другие компоненты детрифицирующихся органических остатков обеспечивают биологический круговорот химических элементов в мелководной зоне Байкала.

Аккумулирующийся в береговой и прибрежной зонах природный органический и неорганический материал, разрушающийся под действием климатических, гидродинамических и биологических факторов, является постоянным источником химических элементов, необходимых для жизнедеятельности всего многообразия гидробионтов прибрежной и заплесковой зоны.

Работа выполнена в рамках проекта № VII–62–1–4 «Междисциплинарные исследования заплесковой зоны как важной составляющей литорали озера Байкал» (2010–2012 гг.) и частично поддержана интеграционным проектом СО РАН № 49 «Разнообразие, биогеографические связи и история формирования биот долгоживущих озёр Азии» (2009–2011 гг.), грантом РФФИ 10-03-01135.

#### Литература

1. Байкал: Атлас / гл. ред. Г. И. Галазий ; Фед. служба геод. и карт. России. – М., 1993. – 160 с.
2. Биология прибрежной зоны озера Байкал. Сообщение 1. Заплесковая зона: первые результаты междисциплинарных исследований, важность для мониторинга экосистемы / О. А. Тимошкин [и др.] // Изв. Иркут. гос. ун-та. Сер. Биология. Экология. – 2011. – Т. 4, № 4. – С. 75–110.

3. Биология прибрежной зоны озера Байкал. Сообщение 2. Береговые скопления заплесковой зоны: классификация, сезонная динамика количественных и качественных показателей их состава / О. А. Тимошкин [и др.] // Изв. Иркут. гос. ун-та. Сер. Биология. Экология. – 2012. – Т. 5, № 1. – С. 40–91.

4. Биология прибрежной зоны озера Байкал. Сообщение 3. Сезонная динамика инфауны береговых скоплений; гидрохимическая, микробиологическая характеристика интерстициальных вод / О. А. Тимошкин [и др.] // Изв. Иркут. гос. ун-та. Сер. Биология. Экология. – 2012. – Т. 5, № 1. – С. 92–110.

5. Гидрохимические показатели состояния окружающей среды : справ. материалы / Я. П. Молчанова [и др.] / под ред. Т. В. Гусева. – М. : Изд-во Форум, ИНФРА, 2011. – 192 с.

6. Драйвер Дж. Геохимия природных вод : пер с англ. / Дж. Драйвер. – М. : Мир, 1985. – 440 с.

7. Ижболдина Л. А. Биомасса и продукция *Tetraspora cylindrica* (Wahlenb) Ag. var. *bullosa* C. Meyer в озере Байкал / Л. А. Ижболдина, А. Ю. Верномудров, В. И. Максимов // Экологические исследования озера Байкал и Прибайкалья. – Иркутск : Изд-во Иркут. ун-та, 1984. – С. 10–17.

8. Ижболдина Л. А. Атлас и определитель водорослей бентоса и перифитона озера Байкал (мейо- и макрофиты) с краткими очерками по их экологии / Л. А. Ижболдина – Новосибирск : Наука-Центр, 2007. – 248 с.

9. Инактивация тяжёлых металлов в водах суши гумусовыми веществами / Т. И. Моисеенко [и др.] // Вест. Тюм. ГУ. – 2011. – № 5. – С. 6–19.

10. Подводные ландшафты Байкала / Е. Б. Карabanов [и др.] – Новосибирск : Наука. Сиб. Отд-е, 1990. – 183 с.

11. Потёмкина Т. Г. Закономерности формирования обломочного материала в приурезовой полосе озера Байкал / Т. Г. Потёмкина // Геоморфология. – 2006. – № 2. – С. 109–117.

## Biogeochemistry of the shore zone of Bol'shye Koty bay (Southern Baikal)

N. N. Kulikova<sup>1</sup>, A. N. Suturen<sup>1</sup>, Ye. V. Saybatalova<sup>1</sup>, S. M. Boyko<sup>1</sup>,  
O. A. Timoshkin<sup>1</sup>, V. M. Domyshcheva<sup>1</sup>, L. F. Paradina<sup>1</sup>, M. V. Sakirko<sup>1</sup>, I. V. Tomberg<sup>1</sup>,  
E. P. Zaytseva<sup>1</sup>, V. V. Mal'nik<sup>1</sup>, A. G. Lukhnev<sup>1</sup>, E. L. Popova<sup>2</sup>, O. V. Popova<sup>1</sup>,  
N. V. Potapskaya<sup>1</sup>, V. S. Vishnyakov<sup>2,1</sup>, E. A. Volkova<sup>1</sup>, Yu. M. Zvereva<sup>2,1</sup>

<sup>1</sup> Limnological Institute SB RAS, Irkutsk

<sup>2</sup> Irkutsk State University, Irkutsk

**Abstract.** This paper provides some data on the chemical composition of the near-shore water and interstitial water within the splash zone in Bolshye Koty Bay (Southern Baikal). It has been found out that the content of many chemical elements varies significantly in the interstitial water on the splash zone. Maximum amounts of biophilic elements are registered on the coastal zone in July that is a most favourable period for decomposition of shore aggregates of detritus. The water is enriched by the elements released by mineralization of the aggregates of detritus on the shore, as well as by Al, Si, Fe, Mn, Ti, rare earth elements and others that are converted into soluble forms as a result of disintegration of the beach material by the products of detritus decomposition. A critical point in migra-

tion of macro- and microelements is near-shore algae bloom and death, life activity of invertebrates, concentrating a wide spectrum of chemical elements when alive and supplying them into the near-shore and splash zones after death.

**Key words:** Baikal Lake, splash zone, near-shore zone, rocks, shore grounds, interstitial water, macroalgae, shore aggregates of detritus, chemical element content

*Куликова Наталья Николаевна*  
Лимнологический институт СО РАН  
664033, г. Иркутск, Улан-Баторская, 3  
кандидат биологических наук  
старший научный сотрудник  
тел. (3952)42-64-09, факс: 42-54-05  
E-mail: kulikova@lin.irk.ru

*Kulikova Natalia Nikolaevna*  
Limnological Institute SB RAS  
3 Ulan-Batorskaya St., Irkutsk, 664033  
Ph.D. in Biology  
senior research scientist  
phone: (3952)42-64-09, fax: 42-54-05  
E-mail: kulikova@lin.irk.ru

*Сутурин Александр Николаевич*  
Лимнологический институт СО РАН  
664033, г. Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3  
кандидат геолого-минералогических наук  
заведующий лабораторией  
тел.: (3952)42-64-09, факс 42-54-05  
E-mail: san@lin.irk.ru

*Suturin Aleksandr Nikolaevich*  
Limnological Institute SB RAS  
3 Ulan-Batorskaya St., Irkutsk, 664033  
Ph. D. in Geology, Head of laboratory  
  
phone: (3952)42-64-09, fax: 42-54-05  
E-mail: san@lin.irk.ru

*Сайбаталова Елена Витальевна*  
Лимнологический институт СО РАН  
664033, г. Иркутск, Улан-Баторская, 3  
ведущий инженер  
тел. (3952)42-64-09, факс: 42-54-05  
E-mail: sayb@lin.irk.ru

*Saybatalova Yelena Vitalievna*  
Limnological Institute SB RAS  
3 Ulan-Batorskaya St., Irkutsk, 664033  
leading engineer  
phone: (3952)42-64-09, fax: 42-54-05  
E-mail: sayb@lin.irk.ru

*Бойко Сергей Михайлович*  
Лимнологический институт СО РАН  
664033, г. Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3  
кандидат геолого-минералогических наук,  
старший научный сотрудник

*Boyko Sergey Mikhailovich*  
Limnological Institute SB RAS  
3 Ulan-Batorskaya St., Irkutsk, 664033  
Ph. D. in Geology, senior research scientist

*Тимошкин Олег Анатольевич*  
Лимнологический институт СО РАН  
664033, г. Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3  
доктор биологических наук  
заведующий лабораторией  
тел.: (3952)42-82-18, факс 42-54-05  
E-mail: tim@lin.irk.ru

*Timoshkin Oleg Anatolyevich*  
Limnological Institute RAS  
3 Ulan-Batorskaya St., Irkutsk, 664033  
D. Sc. in Biology, Head of laboratory  
  
phone: (3952)42-82-18, fax: 42-54-05  
E-mail: tim@lin.irk.ru

*Домышева Валентина Михайловна*  
Лимнологический институт СО РАН  
664033, г. Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3  
кандидат географических наук,  
старший научный сотрудник  
тел. (3952)42-65-02, факс 42-54-05  
E-mail: hydrochem@lin.irk.ru

*Domysheva Valentina Mikhailovna*  
Limnological Institute RAS  
3 Ulan-Batorskaya St., Irkutsk, 664033  
Ph.D. in Geography  
senior research scientist  
phone: (3952) 42-65-02, fax: 42-54-05  
E-mail: hydrochem@lin.irk.ru

*Парадина Людмила Филипповна*  
Лимнологический институт СО РАН  
664033, г. Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3  
кандидат физико-математических наук  
старший научный сотрудник  
тел. (3952)42-64-09, факс: 42-54-05  
E-mail: paradina@lin.irk.ru

*Paradina Lyudmila Filippovna*  
Limnological Institute RAS  
3 Ulan-Batorskaya St., Irkutsk, 664033  
Ph.D. in Physics  
senior research scientist  
phone: (3952)42-64-09, fax: 42-54-05  
E-mail: paradina@lin.irk.ru

Сакирко Мария Владимировна  
Лимнологический институт СО РАН  
664033, г. Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3  
кандидат географических наук, научный сотрудник  
тел. (3952)42-65-02, факс 42-54-05  
E-mail: sakira@lin.irk.ru

Томберг Ирина Викторовна  
Лимнологический институт СО РАН  
664033, г. Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3  
кандидат географических наук, научный сотрудник  
тел. (3952)42-65-02, факс 42-54-05  
E-mail: kaktus@lin.irk.ru

Зайцева Елена Петровна  
Лимнологический институт СО РАН  
664033, г. Иркутск, Улан-Баторская, 3  
кандидат биологических наук  
научный сотрудник  
тел.: (3952)42-82-18, факс: 42-54-05  
E-mail: zayaz@lin.irk.ru

Мальник Валерий Васильевич  
Лимнологический институт СО РАН  
664033, г. Иркутск, Улан-Баторская, 3  
кандидат биологических наук  
младший научный сотрудник  
тел.: (3952)42-64-09, факс: 42-54-05  
E-mail: malnik80@mail.ru

Лухнев Антон Геннадьевич  
Лимнологический институт СО РАН  
664033, г. Иркутск, Улан-Баторская, 3  
аспирант  
ведущий инженер  
тел.: (3952)42-82-18, факс: 42-54-05  
E-mail: luhnev.ant@yandex.ru

Попова Евгения Леонидовна  
Иркутский государственный университет  
664003, Иркутск, ул. Сухэ-Батора, 5  
студент  
тел.: (3952)42-64-09  
E-mail: knopa\_pylit@mail.ru

Попова Ольга Владимировна  
Лимнологический институт СО РАН  
664033, г. Иркутск, Улан-Баторская, 3  
аспирант  
ведущий инженер  
тел.: (3952)42-82-18, факс: 42-54-05  
E-mail: popova-olga87@yandex.ru

Потапская Надежда Викторовна  
Лимнологический институт СО РАН  
664033, г. Иркутск, Улан-Баторская, 3  
ведущий инженер  
тел.: (3952)42-82-18, факс: 42-54-05  
E-mail: potapskaya@yandex.ru

Sakirko Maria Vladimirovna  
Limnological Institute RAS  
3 Ulan-Batorskaya St., Irkutsk, 664033  
Ph.D. in Geography, research scientist  
phone: (3952) 42-65-02, fax: 42-54-05  
E-mail: sakira@lin.irk.ru

Tomberg Irina Viktorovna  
Limnological Institute RAS  
3 Ulan-Batorskaya St., Irkutsk, 664033  
Ph.D. in Geography  
research scientist  
phone: (3952) 42-65-02, fax: 42-54-05  
E-mail: kaktus@lin.irk.ru

Zaytseva Elena Petrovna  
Limnological Institute SB RAS  
3 Ulan-Batorskaya St., Irkutsk, 664033  
Ph. D. in Biology  
research scientist  
phone: (3952)42-82-18, fax: 42-54-05  
E-mail: zayaz@lin.irk.ru

Malnik Valeriy Vasilyevich  
Limnological Institute SB RAS  
3 Ulan-Batorskaya St., Irkutsk, 664033  
Ph. D. in Biology  
junior research scientist  
phone: (3952)42-64-09, fax: 42-54-05  
E-mail: malnik80@mail.ru

Lukhnev Anton Gennadyevich  
Limnological Institute SB RAS  
3 Ulan-Batorskaya St., Irkutsk, 664033  
doctoral student  
leading engineer  
phone: (3952)42-82-18, fax 42-54-05  
E-mail: luhnev.ant@yandex.ru

Popova Eugenia Leonidovna  
Irkutsk State University  
5 Sukhe-Bator St., Irkutsk, 664003  
student  
phone: (3952)42-64-09  
E-mail: knopa\_pylit@mail.ru

Popova Olga Vladimirovna  
Limnological Institute SB RAS  
3 Ulan-Batorskaya St., Irkutsk, 664033  
doctoral student  
leading engineer  
phone: (3952)42-82-18, fax 42-54-05  
E-mail: popova-olga87@yandex.ru

Potapskaya Nadezhda Victorovna  
Limnological Institute SB RAS  
3 Ulan-Batorskaya St., Irkutsk, 664033  
leading engineer  
phone: (3952)42-82-18, fax 42-54-05  
E-mail: potapskaya@yandex.ru

*Вишняков Василий Сергеевич*  
*Иркутский государственный университет*  
*664003, Иркутск, ул. Сухэ-Батора, 5*  
*студент*  
*тел.: (3952)42-82-18*  
*E-mail: aeonium25@mail.ru*

*Vishnyakov Vasily Sergeevich*  
*Irkutsk State University*  
*5 Sukhe-Bator St., Irkutsk, 664003*  
*student*  
*phone: (3952)42-82-18*  
*E-mail: aeonium25@mail.ru*

*Волкова Екатерина Александровна*  
*Лимнологический институт СО РАН*  
*664033, г. Иркутск, Улан-Баторская, 3*  
*аспирант*  
*тел.: (3952)42-82-18*  
*E-mail: cathvolkova@mail.ru*

*Volkova Ekaterina Aleksandrovna*  
*Limnological Institute SB RAS*  
*3 Ulan-Batorskaya St., Irkutsk, 664033*  
*doctoral student*  
*phone: (3952)42-82-18*  
*E-mail: cathvolkova@mail.ru*

*Зверева Юлия Михайловна*  
*Иркутский государственный университет*  
*664003, Иркутск, ул. Сухэ-Батора, 5*  
*студент*  
*тел.: (3952)42-82-18*  
*E-mail: spongebobuz@yandex.ru*

*Zvereva Julia Mikhailovna*  
*Irkutsk State University*  
*5 Sukhe-Bator St., Irkutsk, 664003*  
*student*  
*phone: (3952)42-82-18*  
*E-mail: spongebobuz@yandex.ru*