

СОДЕРЖАНИЕ И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В СИСТЕМЕ «ВОДА–ПОЧВА–РАСТЕНИЕ» АЛГИНСКОГО ГИДРОМИНЕРАЛЬНОГО КОМПЛЕКСА (ЗАПАДНОЕ ЗАБАЙКАЛЬЕ)

С. Г. Дорошкевич, М. К. Чернявский

Геологический институт Сибирского Отделения РАН, Россия

Поступила в редакцию 23 апреля 2018 г.

Аннотация: Представлены результаты изучения распределения химических элементов в биогеохимической системе Алгинского гидроминерального комплекса. Химический состав воды источника и озера отличается друг от друга: в воде источника преобладают Cr, Cs, Ni, Gd, Ag, Dy, Pb, Ce, Pr, Y, Eu, Co, Sn и Tl; в воде озер – As, Sb, Ge, Zr, W, Mo, Li, V, Th, Sr, Hf, U, Ga, Cu, Rb, Yb, Cd, Al, Nd, Ba, Be, Mn, La, Er, Sm и Ti. Показано, что количество Na, Cs, Sr, Ba, Br, Al, Y, Zr, Ti, V, Cd, As и Se в почвах и растительности зависит от их содержаний в воде.

Ключевые слова: химические элементы в воде, почве, растениях, озеро, термальный источник, пойменный и степной ландшафт, Западное Забайкалье.

Abstract: The results of studying the distribution of chemical elements in the biogeochemical system of the Algin hydromineral complex are presented. The chemical composition of the source water and the lake water is different: the source water is dominated by Cr, Cs, Ni, Gd, Ag, Dy, Pb, Ce, Pr, Y, Eu, Co, Sn and Tl; the lakes water is dominated by As, Sb, Ge, Zr, W, Mo, Li, V, Th, Sr, Hf, U, Ga, Cu, Rb, Yb, Cd, Al, Nd, Ba, Be, Mn, La, Er, Sm and Ti. The amount of Na, Cs, Sr, Ba, Br, Al, Y, Zr, Ti, V, Cd, As and Se in soils and vegetation depends on their water content.

Key words: chemical elements in water, soil, plants, lake, thermal water source, floodplain and steppe landscape, West Trans Baikal.

В настоящее время представления о биогеохимических циклах, определяющих обмен химических элементов между организмами и окружающей средой на поверхности Земли, можно считать, в основном, сложившимися. Однако, накопленный фактический материал не исключает постановки новых вопросов в изучении миграции и перераспределении вещества на уровне отдельных геохимически сопряженных ландшафтов.

Баргузинская котловина, относящаяся к Байкальской рифтовой зоне, является одной из крупных водосборных территорий озера Байкал. На ее территории широко распространена речная сеть, минеральные источники (горячие и холодные) и озера (пресные, солоноватые, соленые), которые в свою очередь, обуславливают формирование определенных типов природных геохимических ландшафтов.

В связи с этим, целью наших исследований явилось изучение геохимических особенностей сопряженных сред (вода–почвенный покров–растительность) в ландшафтах, прилегающих к Алгинскому гидроминеральному комплексу.

Объекты и методы исследований

Исследования распределения химических элементов по компонентам ландшафта (вода–почва–растение) проводились на территории Алгинского гидроминерального комплекса (АГМК), находящегося в Баргузинской впадине Забайкалья. В состав АГМК входят Алгинский источник и Алгинские (Большое и Малое) озера.

Баргузинская впадина расположена в центральной части Саяно-Байкальского станового нагорья, восточнее озера Байкал, и тянется субпараллельно его северной части на 190–200 км, при ширине 13–34 км и общей ориентировкой СВ–30°. Высоты котловины колеблются в интервале 470–600 мет-

ров. С северо-запада она ограничена Баргузинским хребтом, с юго-востока – Икатским, на юго-западе замыкается Шаманским отрогом, а на северо-востоке – соединением Баргузинского, Икатского и Южно-Муйского хребтов. Котловина входит в бассейн реки Баргузин, берущей начало в пределах юго-западных отрогов Южно-Муйского хребта [25]. Климат обусловлен своеобразным географическим положением котловины, ее рельефом, потоками воздушных масс и характеризуется резкой континентальностью – холодной продолжительной зимой ($-27,8-32,2^{\circ}\text{C}$) и коротким сравнительно теплым летом ($+18,2-19,2^{\circ}\text{C}$). Суммарная радиация за год составляет 4400-4600 мДж/м². Годовая сумма осадков не превышает 200-250 мм с максимумом в июле-августе; мощность снежного покрова – 10 см. Среднемесячная относительная влажность воздуха изменяется в широких пределах: от 43 % (апрель-май) до 83 (декабрь-февраль) [20]. Баргузинская котловина представляет собой горную лесостепь с закономерным сочетанием лесного, степного, болотного и лугового типов растительности [15]. Неоднородность геоморфологического строения создает высокое разнообразие почв. В ее пределах выделяется три генетических типа поверхности с определенным комплексом почв: 1 – предгорная наклонная пролювиально-делювиальная равнина с сочетанием дерновых лесных, дерновых остепненных, серых лесных почв и черноземов; 2 – вторично-эоловая грядово-холмистая равнина с каштановыми, лугово-каштановыми, лугово-черноземными, луговыми, лугово-болотными, болотными почвами и солончаками, солонцами; 3 – озерно-аллювиальная равнина с аллювиальными дерновыми, луговыми, лугово-болотными и болотными почвами. Баргузинская котловина находится в зоне перехода от сплошной к спорадической и островной мерзлоте, в связи с чем пространственно распространены мерзлотные, длительносезонно- и сезонномерзлотные почвы [20, 24].

Алгинский источник находится на левобережье реки Баргузин у подножия Икатского хребта севернее с. Алга, в юго-западной части Баргузинской впадины. Приурочен к бортовому разлому северо-восточного простирания. Водовмещающие породы – граниты верхнепротерозойского возраста. Воронка источника выработана в рыхлых озерно-речных отложениях (диаметр 1,0 м, глубина 0,5-0,7 м). Химический состав воды сульфатная кальциево-натриевая; минерализация – 0,6 г/дм³; рН – 7,1, температура 20,5-23,0^oC [3, 6, 7, 14]. Выход

источника связан с заболоченным берегом Алгинских озер. В пределах заболоченной территории между оз. Большое Алгинское и коренным юго-западным бортом отмечена повышенная температура почвенно-грунтового слоя на глубине 0,2 м и на расстоянии до 150 м от выхода источника, что свидетельствует о площадной разгрузке термальных вод [19].

Площадь распространения озер приурочена к одноименной впадине неогенового возраста, отделенной от Баргузинской впадины продолжением Алгинского отрога Икатского хребта. В настоящее время происходит тектоническое опускание фундамента впадины, разбитого на мелкие блоки, о чем свидетельствуют рисунок рельефа, конфигурация, расположение озер и наличие болот. Озера Большое и Малое Алгинское соединены суженной горловиной и имеют вытянутую форму с юго-востока на северо-запад. Их общая площадь – 129,3 га; глубина – до 1,5 м. Южные и юго-западные берега заболочены. На севере и северо-западе берега представлены песчаными увалами. По химическому составу воды озер сульфатная гидрокарбонатно-натриевая. Минерализация равна 2,6-50,0 г/дм³, рН – 9,6, температура в летний период 21^oC. Формирование сульфатного натриевого состава воды озер обусловлено сочетанием трех факторов: тектонических условий впадины, климата и состава термальных вод [3, 6, 14, 17, 23].

На прилегающей территории АГМК нами выделено два типа геохимических ландшафтов: пойменный и степной (рис. 1). Пойменный ландшафт располагается в непосредственной близости от минерального источника и Алгинских озер. Почвенный покров представлен аллювиальными болотными перегнойно-дерново-глеевыми (АБГ), лугово-глеевыми (АЛГ) и дерново-глеевыми (АДГ) почвами, растительность – ползучеклеверово-булавовидно-полевицевым и вахтово-осоковым сообществами. Классификация почв дана по [12]. Степной ландшафт граничит с пойменным. Он приурочен к аккумулятивным равнинам с каштановыми мучнистокарбонатными (К) почвами и китайско-леймусово-холоднопопынно-чиевыми растительными сообществами. Некоторая площадь степного ландшафта прилегающей территории АГМК занята соровыми солончаками (СС), которые периодически представляют собой мелкие водоемы. На момент исследования они находились в сухом состоянии. Их поверхность была покрыта сплошной коркой белого солевого налета с разреженной солянковой растительностью.

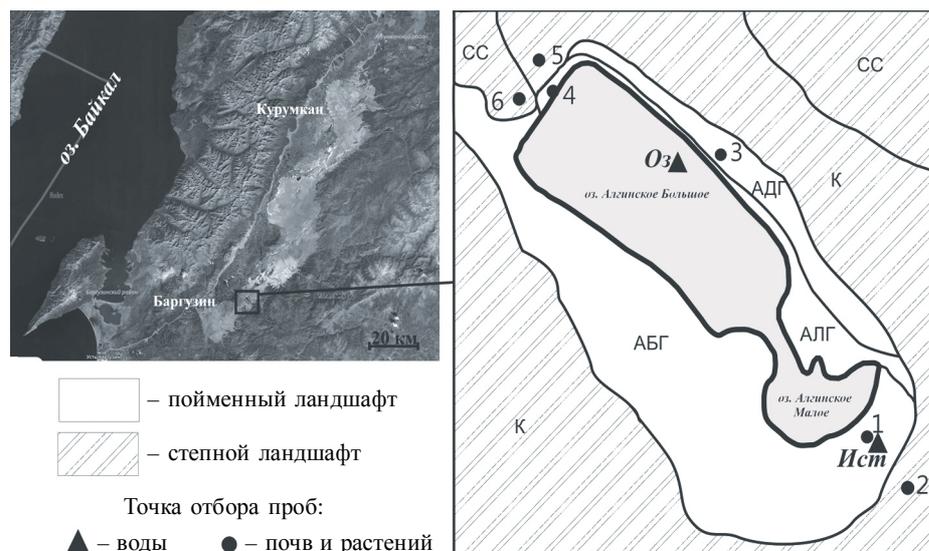


Рис. 1. Месторасположение АГМК и схема отбора проб

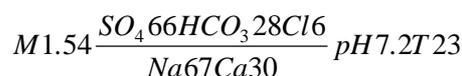
Аллювиальные дерновые и луговые почвы имеют легкий гранулометрический состав (песчаный, супесчаный), нейтральную, слабощелочную реакцию среды; низкое (1,8-3,87 %) и высокое (5,02-7,38 %) содержание гумуса, соответственно [1, 20, 24]. В аллювиальных болотных почвах содержание органического вещества колеблется в широких пределах – от 16 до 69 % [16, 20]. Каштановые мучнистокарбонатные почвы характеризуются, в основном, супесчаным и легкосуглинистым гранулометрическим составом; низким содержанием гумуса (1,5-3,5 %) с преобладанием фульвокислоты; реакция среды в верхних горизонтах от нейтральной до щелочной, в нижних – щелочная; поглощающий комплекс насыщен основаниями [16, 20, 24]. Соровые солончаки, являясь первичными образованиями, имеют в большинстве своем супесчаный гранулометрический состав, очень низкое содержание гумуса (0,67-1,12 %), щелочную реакцию среды; общее содержание водно-растворимых солей колеблется в пределах 1,4-2,1 % [16, 22].

Для изучения распределения химических элементов в исследуемых ландшафтах отбирались образцы воды, почв и растений (рис. 1). Отбор проб воды осуществлялся в соответствии с [9]. При отборе проб воды измерялись рН, температура. Пробы газа в источнике отбирались методом вытеснения воды в естественном выходе. Анализ газа сделан хроматографическим методом в лаборатории ООО НПФ «Сибэкосервис» (г. Иркутск). Содержание радона определено с предварительным его концентрированием из 8 литров воды на угольном модуле по гамма-активности его дочернего элемен-

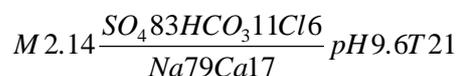
та Bi-214 [18]. Отбор проб почв для определения валового количества химических элементов проводился по генетическим горизонтам разных типов почв. Растения опробовались по точкам отбора почвенных проб по наземной и корневой частям. Содержание в пробах химических элементов определялось: воды и растений – ICP-MS; почв – химико-спектральным и рентгеноструктурным методами анализа.

Результаты исследования и обсуждение

По температурному режиму воды Алгинский источник относится к субтермальным (23 С); дебит – 1,3 л/сек. Вода гидрокарбонатно-сульфатная кальциево-натриевая (2010 г.), формула Курлова имеет вид:



Вода Алгинских озер имеет сульфатный натриевый состав (2010 г.):



По химическому составу воды источника и озера несколько отличается друг от друга (рис. 2). В воде источника содержание Y, Eu, Co, Sn и Tl от 1,2 до 1,6 раз; Gd, Ag, Dy, Pb, Ce и Pr от 2 до 3,6 раз; Ni – в 15 раз; Cs – в 29 раз; Cr – в 65 раз выше, чем в воде озера. В воде озера содержание Nd, Ba, Be, Mn, La, Er, Sm и Ti от 1,1 до 1,7 раз; Th, Sr, Hf, U, Ga, Cu, Rb, Yb, Cd и Al от 2 до 4,7 раз; V – в 17 раз; W, Mo и Li – в 26 и 27 раз; Ge и Zr – в 60 и 64 раза; Sb – 96 раз; As – в 161 раз выше содержаний этих элементов в воде источника. Концентрации Zn в

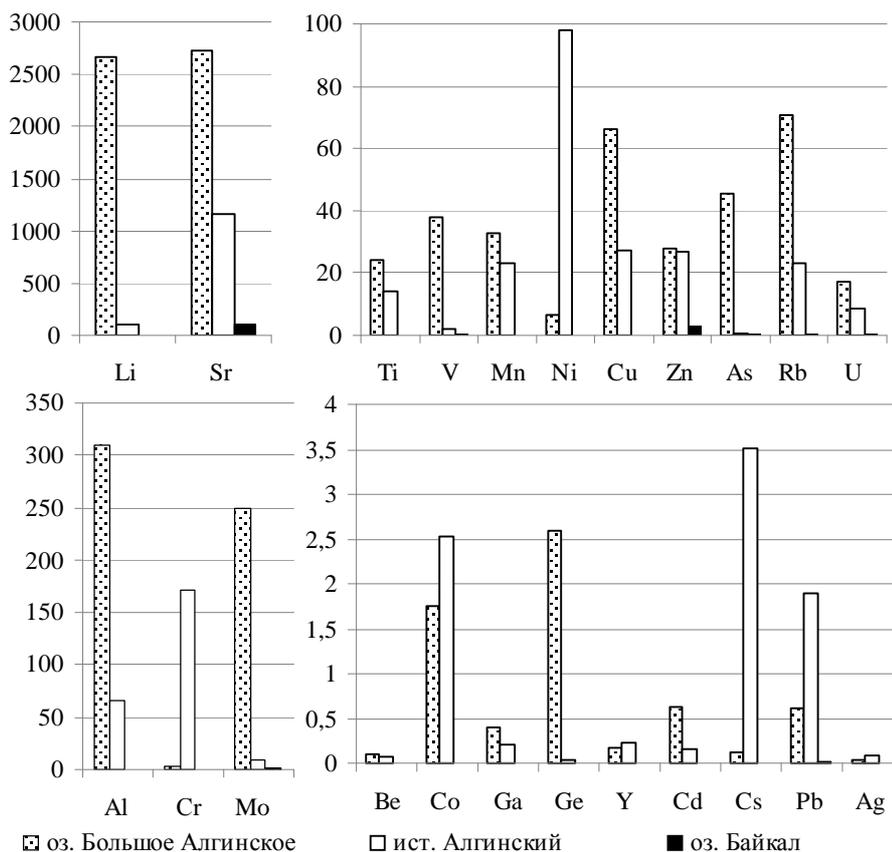


Рис. 2. Содержание некоторых химических элементов в воде, мкг/л

воде источника и озера одинаковы – 26,7 и 27,9 мкг/л, соответственно. В воде источника и озера практически все изученные химические элементы содержатся в количествах выше базовых уровней химических элементов в воде оз. Байкал [4]. Исключения составляют Fe, As и Sb – их концентрации в воде Алгинского источника находятся ниже базовых уровней химических элементов в воде оз. Байкал.

По газовому составу Алгинский источник является метаново-азотным: в составе растворенных газов преобладающим является метан (55 %); содержание азота – 40,3 %, углекислого газа – 3,7 %, кислорода – 0,2 %. Преобладание метана связано с условиями разгрузки источника, он имеет органическое происхождение; об этом свидетельствует соизмеримое соотношение метана и азота [11]. Следует отметить, что источник Алгинский имеет достаточно высокую концентрацию углекислого газа, являющуюся максимальной для гидротерм и озер Баргузинской впадины. В озере Большое Алгинское, генетически связанном с источником, выходов газов не обнаружено.

По насыщенности радоном вода Алгинского источника является слаборadioактивной. Концен-

трация радона в воде Алгинского источника составляет 60,6 эман. Данная концентрация является максимальной для всех гидротермальных источников Баргузинской котловины – содержание радона гидротерм находится в пределах от 0,5 (Горячинский, Кулиные болота) до 19,1 (Гаргинский) эман. Насыщение воды Алгинского источника радоном связано с относительно замедленным водообменом и, возможно, с их приуроченностью к разломам докайнозойского заложения, подновившимся в современную эпоху, так как обогащение вод радоном связано не с повышенной эманулирующей способностью пород, а с наличием вторичного обогащения пород радием путем его сорбции на гипергенных минералах [3].

Радоновые воды нередко встречаются на юге Русской равнины в местах глубинных разломов. В подземных водах, контактирующих с чернокварцевыми гранитами архея и протерозоя, помимо радона здесь встречаются микроэлементы – бром, бор, стронций и другие [2].

Для генетических горизонтов почв были составлены ассоциации химических элементов по их валовым содержаниям в убывающей последовательности (таблица 1). Общим для всего комплек-

Геохимические ассоциации химических элементов почвах и растительности ландшафтов АГМК

Ландшафт	Почвы Растительное сообщество	Геохимические ассоциации элементов
Ландшафт, прилегающий к Алгинскому источнику		
Пойменный	АБГ	Si>Ca>Al>S>Fe>Mg>K>Na>Ti>F=Sr>Ba>P>Mn>Rb>Zr>Zn>V>Ce>Li=Mo>Br=U>La=Y>Cu>Nd>Cr>Ni>Cs>Co>Nb>I
	вахтово-осоковое	N>K>Na>Fe>P>Mn>Sr>Zn>Rb>Cr>Ba>Ti>Zr>Br>Cu>Ni>Mo>W>Ce>Co>Nb>Cd>Se>Sb
Степной	К	Si>Al>Ca>Fe>K>Na>Mg>Ti>S>P=Ba>Mn>Sr>F>Zr>Rb>V>Zn>Ce>La>Y>Cr>Li>Nd>Ni>Cu=Nb>Co>Sn
	китайско-леймусово-пырейное	Na>K>N>Fe>P>Sr>Zn>Mn>Ti=Ba>Rb>Cu>Cr>Zr>Br>Ni>Mo>Nb>Ce>W>Se>Co>Cd>Sb
Ландшафт, прилегающий к Алгинским озерам		
Пойменный	АЛГ	Si>Ca>Al>Na>Mg>K>Fe>Ti>Ba=Sr>P>Mn>Zr>Rb>Ce>V>La>Zn>Cr>Y>Nb>Li>Co=Cu>Sn>Ni
	ползучеклеверово-булавовидно-полевичье	Na>N>K>Fe>P>Sr>Mn>Zn>Ba>Ti>Br>Cr>Cu>Rb>Ni>Zr>Mo>Ce>W>Se=Nb>Co>Cd>Sb>Pb=Bi
	АДГ	Si>Al>Ca>K>Na>Fe>Mg>Ti>Ba>Sr>P>Mn>Zr>Rb>V=Ce>La>Cr>Y>Pb>Ni>Li>Nb>Co=Cu
	твердоватоосочково-лапчатко-холоднопопынно-чиевое	Na>N>K>Fe>P>Sr>Zn>Mn>Ba>Ti>Cr>Rb>Zr>Br>Cu>Ni>Mo>W>Ce>Co>Cd>Se>Pb=Sb>Bi
Степной	К	Si>Al>Ca>Fe>Mg>Na>K>Ti>Ba>Sr>Mn>P>Zr>V>Rb>Ce>Zn>Cr>La>Li>Ni>Y>Co=Cu>Nb>Sn
	китайско-леймусово-холоднопопынно-чиевое	Na>N>K>Fe>P>Zn>Sr>Ti>Mn>Ba>Cr>Zr>Cu>Br>Ni>Rb>Pb>La=Ce>Mo>W>Ni=Co>Cd>Se>Sb
	СС	Si>Ca>Al>Mg>Na>Fe>K>Ti>Ba>Sr>Mn>P>Zr>V>Rb>Zn>Ce>Li>Cr>Ni>La>Cu>Y>Co>Nb>Pb>Sn
	солянковое	Na>N>Fe>K>P>Ti>Sr>Mn>Ba>Br>Zn>Cr>Zr>Ni>Cu>Rb>Ce>Y>Mo>La>Co>Pb>Nb=W>Se>Cd>Sb

са почв ландшафтов АГМК является преобладание в почве таких элементов, как Si, Ca, Al. Для АБГ почвы, находящейся в непосредственной близости от Алгинского термального источника, характерной особенностью явилось появление таких элементов как S, F, Br, U, Nd, I и Cs. Часть этих элементов (S, F, Nd, Br) содержится в составе К почвы, граничащей с АБГ почвой. В остальных почвенных типах АГМК данные элементы обнаружены не были. Следует отметить, что разгрузка гидротерм Байкальской рифтовой зоны, в частности Алгинского источника, происходит по актив-

ным разрывным нарушениям [7] и такие элементы как Br и I относятся к элементам-индикаторам глубокого подземного стока [8].

По абсолютным концентрациям химических элементов для почв пойменного ландшафта, прилегающего к источнику характерно повышенное содержание относительно местного фона P, Li, Zn, Pb, U, Sb, I, Cs, Br и пониженное – Ti, Al, Mn, Mg, Ca, Na, V, Cr, Ni, Sr, Nb, Ba, La, Ce, Zr (таблица 2); для почв пойменного ландшафта, прилегающего к озерам – Mn, Na, K, Rb, Sr, Ba и V, Cr, Co, Ni, Cu, Y, Nb, соответственно. В аллювиальных почвах

Средние содержания химических элементов в почвах АГМК и рассчитанные по ним некоторые геохимические индексы

Элемент	Ед. изм.	Номер точки опробования/почва						Местный фон	Кларк в почвах [3, 25]
		1/АБГ	2/К	3/АДГ	4/АЛГ	5/К	6/СС		
		Ландшафт, прилегающий к источнику			Ландшафт, прилегающий к озеру				
<i>Si</i>	%	22,9	27,1	32,65	27,44	27,7	27,52	27,1	33
<i>Ti</i>		0,23	0,28	0,11	0,32	0,36	0,36	0,38	0,46
<i>Al</i>		5,29	7,14	8,13	7,70	7,63	7,67	7,47	7,13
<i>Fe</i>		2,10	2,89	0,73	2,18	2,78	3,15	2,82	3,8
<i>Mn</i>		0,03	0,07	0,03	0,04	0,07	0,06	0,06	0,085
<i>Mg</i>		0,70	0,92	0,35	1,55	1,79	2,04	1,33	0,63
<i>Ca</i>		2,31	2,24	2,33	5,12	4,71	4,34	4,80	1,37
<i>Na</i>		1,56	1,92	2,84	2,82	2,58	2,77	2,51	0,63
<i>K</i>		1,87	2,59	3,10	2,43	2,45	2,52	2,24	1,36
<i>P</i>		0,11	0,17	0,04	0,09	0,09	0,61	0,09	0,08
<i>Li</i>		мг/кг	38,0	24,0	5,83	17,6	23,8	37,3	19,7
<i>V</i>	49,5		69,0	24,0	61,0	85,8	91,0	81,0	100
<i>Cr</i>	15,5		22,0	9,17	26,5	31,1	41,5	37,0	200
<i>Co</i>	9,0		10,0	3,20	7,20	10,7	12,7	12,0	8
<i>Ni</i>	13,0		15,0	6,27	14,4	22,3	25,6	21,0	40
<i>Cu</i>	18,5		14,0	3,27	8,40	14,5	18,2	16,4	20
<i>Zn</i>	79,0		61,0	7,50	32,0	58,7	44,3	36,4	50
<i>Pb</i>	15,0		2,50	10,3	4,75	16,3	13,0	9,73	10
<i>Rb</i>	119		100	95,7	78,5	74,3	80,3	69,9	100
<i>Sr</i>	847		610	858	975	859	775	771	300
<i>Y</i>	18,5		23,0	8,33	17,5	19,7	19,7	20,5	20
<i>Zr</i>	110		160	80,0	244	194	206	236	300
<i>Nb</i>	8,50		14,0	3,30	9,90	11,4	11,8	12,6	3-300
<i>U</i>	29,5		7,5	н/о	н/о	н/о	н/о	н/о	1
<i>Sn</i>	1,8		1,6	1,0	1,4	1,2	1,5	1,45	10
<i>I</i>	4,8		1,5	н/о	н/о	н/о	н/о	н/о	5
<i>Cs</i>	11		1,5	н/о	н/о	н/о	н/о	н/о	5
<i>Ba</i>	646		810	1277	1053	1020	1028	975	500
<i>La</i>	23,0		34,0	14,0	30,5	35,3	36,3	34,2	29
<i>Ce</i>	36,0		55,0	23,0	60,5	61,3	63,7	62,7	70
<i>Sr/Ba</i>	усл. ед.	1,31	0,75	0,67	0,93	0,84	0,75	0,79	
<i>Ti/Zr</i>		20,9	17,5	13,8	13,1	18,6	17,5	16,1	
<i>La/V</i>		0,45	0,49	0,58	0,50	0,41	0,40	0,42	

Примечание: н/о – не обнаружено

ландшафта, прилегающего к озерам концентрации Al, Na, K, Sr, Ba в 1,3-4,7 раз выше и P, Li, Co, Cu, Zn, Pb в 1,2-7,1 раз ниже содержаний этих элементов в аллювиальных почвах ландшафта, прилегающего к источнику.

Изученные почвы, находящиеся в непосредственной близости друг от друга и имеющие схожие условия почвообразования, различаются друг

от друга по некоторым литохимическим показателям. Соотношение Sr/Ba (таблица 2) заметно выше в почвах, прилегающих к Алгинскому источнику, что указывает на гидротермические условия осадконакопления и приуроченность их к морским отложениям. Отношение Ti/Zr до 1,5 раза выше в АБГ почве в сравнении с таковым в других исследованных почвах, что свидетельствует о незначи-

Средние содержания химических элементов в надземной (числитель) и подземной (знаменатель) частях травянистых растениях АГМК, мг/кг сухого вещества

Элемент	Ед. изм.	Номер точки опробования						Пределы колебаний в травянистых растениях мира [26]
		1	2	3	4	5	6	
		Ландшафт, прилегающий к источнику			Ландшафт, прилегающий к озеру			
<i>N</i>	%	<u>3,12</u> –	<u>2,45</u> –	<u>2,48</u> –	<u>2,16</u> –	<u>2,49</u> –	<u>1,83</u> –	–
<i>P</i>		<u>0,20</u> 0,18	<u>0,26</u> 0,23	<u>0,15</u> 0,17	<u>0,13</u> 0,12	<u>0,28</u> 0,25	<u>0,19</u> 0,15	–
<i>K</i>		<u>2,45</u> 0,32	<u>2,79</u> 0,41	<u>1,46</u> 0,30	<u>1,66</u> 0,35	<u>2,09</u> 0,36	<u>0,93</u> 0,29	–
<i>Na</i>	%	<u>2,22</u> 0,93	<u>2,97</u> 0,65	<u>3,62</u> 2,07	<u>3,51</u> 1,24	<u>2,61</u> 1,93	<u>5,58</u> 2,48	–
<i>Ti</i>		<u>7,55</u> 399	<u>15,0</u> 148	<u>11,4</u> 160	<u>13,7</u> 138	<u>38,4</u> 171	<u>157</u> 161	0,15-80
<i>Mn</i>		<u>120</u> 115	<u>21,5</u> 103	<u>23,7</u> 48,5	<u>22,1</u> 99	<u>27,7</u> 110	<u>72,1</u> 68,0	17-334
<i>Cr</i>	%	<u>11,1</u> н/о	<u>4,34</u> н/о	<u>9,62</u> н/о	<u>5,18</u> н/о	<u>8,73</u> н/о	<u>21,7</u> н/о	0,02-8
<i>Co</i>		<u>0,10</u> 2,70	<u>0,05</u> 2,05	<u>0,10</u> 0,96	<u>0,08</u> 2,39	<u>0,19</u> 3,70	<u>0,56</u> 0,84	0,03-0,57
<i>Ni</i>		<u>2,34</u> 4,77	<u>1,36</u> 3,12	<u>2,37</u> 5,28	<u>2,24</u> 3,57	<u>2,73</u> 6,72	<u>6,66</u> 4,75	0,1-2,7
<i>Cu</i>	мг/ кг	<u>2,86</u> 16,6	<u>5,58</u> 8,97	<u>3,99</u> 4,42	<u>4,59</u> 4,64	<u>6,96</u> 9,26	<u>5,42</u> 2,36	1,1-33,1
<i>Zn</i>		<u>42,5</u> 50,4	<u>25,8</u> 33,6	<u>20,3</u> 23,6	<u>26,7</u> 21,6	<u>23,6</u> 14,8	<u>22,6</u> 20,6	12-47
<i>Pb</i>		<u>н/о</u> 6,21	<u>н/о</u> 3,02	<u>0,02</u> 2,30	<u>н/о</u> 1,34	<u>1,23</u> 2,39	<u>0,47</u> 3,03	0,1-10
<i>Rb</i>	%	<u>13,2</u> 19,3	<u>12,3</u> 18,7	<u>8,85</u> 10,3	<u>3,08</u> 8,28	<u>1,88</u> 8,42	<u>3,76</u> 18,1	20-70
<i>Sr</i>		<u>115</u> 126	<u>29,9</u> 97,8	<u>106</u> 158	<u>196</u> 261	<u>64,9</u> 329	<u>147</u> 220	6-37
<i>Zr</i>		<u>5,34</u> –	<u>2,99</u> –	<u>7,76</u> –	<u>1,09</u> –	<u>7,48</u> –	<u>10,9</u> –	0,005-2,6
<i>Cd</i>	%	<u>0,07</u> 0,49	<u>0,04</u> 0,31	<u>0,03</u> 0,06	<u>0,04</u> 0,11	<u>0,05</u> 0,23	<u>0,05</u> 0,07	0,07-0,28
<i>Ba</i>		<u>9,65</u> –	<u>14,9</u> –	<u>18,2</u> –	<u>18,1</u> –	<u>26,7</u> –	<u>37,0</u> –	100-198
<i>Ce</i>		<u>0,18</u> 23,7	<u>0,18</u> 11,9	<u>0,27</u> 9,95	<u>0,32</u> 4,29	<u>0,75</u> 8,73	<u>2,73</u> 4,59	–
<i>Br</i>	%	<u>3,98</u> 1,99	<u>1,65</u> 0,87	<u>5,67</u> 2,65	<u>5,27</u> 2,31	<u>2,99</u> 1,24	<u>26,4</u> 9,87	2,1-119

Примечание: прочерк – нет данных; н/о – не обнаружено.

тельном сносе терригенного материала от источника [13]. Более высокие значения соотношения La/V в почвах пойменного ландшафта, прилегающего к озерам, и в почвах степных ландшафтов,

указывает на большую степень преобразования этих почв процессами выветривания.

Геохимические ассоциации были составлены также для химических элементов, содержащихся

Коэффициенты биологического поглощения (КБП)

Ландшафт	Номер точки опробования	Растительное сообщество	КБП	
			>1,0	<1,0
прилегающий к источнику	1	вахтово-осоковое	К, Р, Na, Zn, Br, Rb, Sr	Fe, Zr, Nb, Mo, Ba, Ce
	2	китайско-леймусово-пырейное	К, Р, Na, Zn, Rb, Sn, Ba	Fe, Sr, Zr, Ce
прилегающий к озеру	3	твердоватоосочково-лапчатко-холоднополынничное	К, Р, Na, Sr	Fe, Rb, Zr, Ba
	4	ползучеклеверово-булавовидно-полевицевое	К, Р, Na, Zn, Sr	Fe, Rb, Zr, Nb, Ba
	5	китайско-леймусово-холоднополынничное	К, Р, Na, Cu, Zn, Sr, Ba	Fe, Rb, Zr, Nb, Sn, La, Ce
	6	солянковое	К, Р, Na, Fe, Zn, Sr, Sn, Ba	Rb, Y, La, Ce

в растениях (таблица 1). Преобладающие элементы – Na, N, K, Fe, P; в растениях, произрастающих в условиях степных ландшафтов и пойменного ландшафта, прилегающего к Алгинскому озеру, лидирующие позиции занимает Na. Обнаружено, что в растениях, изученных ландшафтов, наблюдается сравнительно высокое содержание Sr, Rb, Ba.

Концентрации большинства химических элементов в воздушно-сухом веществе надземной массы изученных растений находятся в пределах колебаний содержаний таковых в травянистых растениях мира (таблица 3), за исключением Sr и Zr. Содержание химических элементов в травянистых растениях зависит от условий их произрастания. Так, в растениях пойменного ландшафта, прилегающего к Алгинскому термальному источнику в сравнении с растениями других исследованных ландшафтов отмечены высокие содержания N, Mn, Cr, Zn и Rb. Наибольшее накопление Na, Ti, Mn, Cr, Co, Ni, Zr, Ba, Ce и Br характерно для растений, произрастающих на сорных солончаках.

Результатом избирательного поглощения элементов из почвы является их различное накопление, как в надземной, так и подземной частях. Подземная фитомасса на единицу массы накапливает большее количество Ti, Mn, Co, Ni, Cu, Pb, Rb, Sr, Cd и Ce по сравнению с надземной (таблица 3). Это связано с тем, что корневая система растений, выполняя барьерную роль, аккумулирует их избыточное количество. В уровнях накопления P и Zn в надземной и подземной фитомассах отме-

чается незначительная разница. Тогда как концентрации K, Na, Sr и Br выше в надземной части, чем в подземной части. В условиях засоления или повышенного содержания натрия в почвах, накопление K и Na происходит большей частью в стеблях растений, что связано со способностью растения перераспределять вещество для минимизации негативного действия стресса [10, 21]; Br легко удаляется из растительных тканей, концентрируясь больше в листьях, чем в корнях [27].

Для выявления интенсивности поглощения химических элементов из почвы растениями были рассчитаны коэффициенты биологического поглощения (КБП), которые по степени интенсивности были разделены на 2 группы: наиболее (КБП > 1,0) и наименее (КБП < 1,0) интенсивно поглощаемые растениями (таблица 4). К наиболее интенсивно потребляемым растениями химическими элементами отнесены K, P и Na. Для растительных сообществ, произрастающих вблизи Алгинского термального источника, особенностью явилось увеличение интенсивности поглощения Rb.

Глубокий подземный сток оказывает существенное влияние на геохимию ландшафтов аридных областей. Его региональное воздействие проявляется прежде всего в увеличении площади засоленных почв аридных областей и в накоплении элементов-индикаторов глубокого подземного стока: Na, Cl, а также микроэлементов: I, B, Br и других [8]. В результате сопоставления полученных нами данных по содержанию химических элементов в воде, почвах и растениях ландшафтов, при-

легающих к АГМК, было выявлено, что количество Na, Cs, Sr, Ba, Br, Al, Y, Zr, Ti, V, Cd, As и Se в почвах и растительности зависит от их концентраций в воде: чем выше их концентрации в воде, тем больше этих элементов накапливается в воде и почве.

Выводы

1. В воде Алгинского источника и Алгинских озер Li, Sr, Al, Cr, Mo, Ti, V, Mn, Ni, Cu, Zn, Rb, U, Be, Co, Ga, Y, Cd, Cs, Pb, Ag содержатся в количествах выше базовых уровней химических элементов в воде оз. Байкал, за исключением Fe, As и Sb в воде источника.

2. Воды источника и озера по химическому составу отличаются друг от друга: вода Алгинского источника имеет гидрокарбонатно-сульфатный кальциево-натриевый состав с повышенным содержанием (относительно воды озера) Cr, Cs, Ni, Gd, Ag, Dy, Pb, Ce, Pr, Y, Eu, Co, Sn и Tl; вода Алгинских озер сульфатная натриевая с повышенным содержанием (относительно воды источника) As, Sb, Ge, Zr, W, Mo, Li, V, Th, Sr, Hf, U, Ga, Cu, Rb, Yb, Cd, Al, Nd, Ba, Be, Mn, La, Er, Sm и Ti.

3. В химическом составе аллювиальной болотной почвы, сформированной около Алгинского термального источника, отмечено нахождение S, F, Br, U, Nd, I и Cs, что, вероятнее всего, связано с его разгрузкой по активным разрывным нарушениям и питанием за счет глубокого подземного стока.

4. В растениях пойменного ландшафта, прилегающего к Алгинскому термальному источнику в сравнении с растениями изученных ландшафтов отмечены высокие содержания N, Mn, Cr, Zn и Rb. Наибольшее накопление Na, Ti, Mn, Cr, Co, Ni, Zr, Ba, Ce и Br характерно для растений, произрастающих на соловых солончаках.

5. Содержания Na, Cs, Sr, Ba, Br, Al, Y, Zr, Ti, V, Cd, As и Se в почвах и растительности зависят от их количества в воде: высокие концентрации в воде – высокие в растениях и почвах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аллювиальные светлогумусовые почвы Баргузинской котловины / В. И. Убугунова [и др.] // Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В. Р. Филиппова. – 2012. – № 1. – С. 52-62.
2. Биотестирование радона, выделяемого из почвогрунта цитологическим методом / А. И. Федорова [и др.] // Вестник Воронежского государственного университета. Сер. География. Геоэкология. – 2007. – № 2. – С. 87-96.

3. Борисенко И. М. Минеральные воды Бурятской АССР / И. М. Борисенко, Л. В. Замана. – Улан-Удэ : Бурятское книжное издательство, 1978. – 162 с.

4. Ветров В. А. Базовые уровни химических элементов в воде озера Байкал / В. А. Ветров, А. И. Кузнецова, О. А. Склярова // География и природные ресурсы. – 2013. – № 3. – С. 41-51.

5. Виноградов А. П. Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почвах / А. П. Виноградов. – Москва : Издательство АН СССР, 1957. – 237 с.

6. Водные системы Баргузинской котловины / Б. Б. Намсараев [и др.]. – Улан-Удэ : Издательство Бурятского государственного университета, 2007. – 150 с.

7. Гидрогеохимические особенности состава азотных терм Байкальской рифтовой зоны / А. М. Плюснин [и др.] // Геология и геофизика. – 2013. – Т. 54, № 5. – С. 647-664.

8. Глазовский Н. Ф. Ландшафтно-геохимическое значение глубокого подземного стока в аридных областях СССР : дис. ... д-ра географ. наук / Н. Ф. Глазовский. – Москва, 1985. – 644 с.

9. ГОСТ 31861-2012. Межгосударственный стандарт. Вода. Общие требования к отбору проб. Дата введения 2014-01-01. – URL: <http://rdocs3.cntd.ru/document/gost-31861-2012> (дата обращения: 02.04.2018).

10. Динамика содержания ионов K⁺, Na⁺, Ca²⁺ в растениях риса (*Oryza sativa* L.) в онтогенезе в условиях почвенного засоления / М. С. Ткачева [и др.] // Научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2014. – № 100(06). – URL: <http://ej.kubagro.ru/2014/06/pdf/115.pdf>. (дата обращения: 25.03.2018).

11. Исаев В. П. Природные газы в Баргузинской впадине / В. П. Исаев. – Иркутск : Издательство Иркутского университета, 2006. – 220 с.

12. Классификация и диагностика почв СССР / В. В. Егоров [и др.]. – Москва : Колос, 1977. – 224 с.

13. Маслов А. В. Осадочные породы: методы изучения и интерпретация полученных данных : учебное пособие / А. В. Маслов. – Екатеринбург : Издательство Уральского государственного горного университета, 2005. – 289 с.

14. Минеральные воды южной части Восточной Сибири. Том 1. Гидрогеология минеральных вод и их народнохозяйственное значение / под общ. ред. В. Г. Ткачук, Н. И. Толстихина. – Москва : Издательство Академии наук СССР, 1961. – 346 с.

15. Намзалов Б. Б. Горная лесостепь Баргузинской котловины (Северное Прибайкалье) / Б. Б. Намзалов, Т. Г. Басхаева. – Улан-Удэ : Издательство Бурятского государственного университета, 2006. – 125 с.

16. Ногина Н. А. Почвы Забайкалья / Н. А. Ногина; под ред. Е. Н. Иванова. – Москва : Наука, 1964. – 315 с.

17. Палеогеографические аспекты формирования соленых озер Баргузинской котловины / А. А. Дзюба [и др.] // География и природные ресурсы. – 1999. – № 2. – С. 66-73.

18. Перевалов А. В. Измерение радона при радиоэкологических исследованиях / А. В. Перевалов, Н. Е. Астахов, А. Б. Цыденов // *Город: прошлое, настоящее, будущее : материалы международной конференции.* – Иркутск, 1998. – С.43-45.
19. Плюснин А. М. Условия формирования гидротерм Баргузинского Прибайкалья по данным микроэлементного и изотопного состава / А. М. Плюснин, М. К. Чернявский, В. Ф. Посохов // *Геохимия.* – 2008. – № 10. – С. 1-10.
20. Почвы Баргузинской котловины / Т. И. Азьмука [и др.]; под ред. С. С. Трофимова. – Новосибирск : Наука, 1983. – 270 с.
21. Содержание ионов натрия в тканях галофитов Крымской флоры на фоне засоления различной степени / С. Н. Кабузенко [и др.] // *Вестник Днепропетровского университета. Сер. Биология, экология.* – 2015. – № 23(1). – С. 44-49
22. Солончаки северной окраины Центрально-азиатской аридной зоны / В. Л. Убугунов [и др.] // *Современные проблемы науки и образования.* – 2015. – № 5. – С. 702.
23. Сыренжапова А. С. Условия среды обитания и численности алкалофильных бактерий-деструкторов в содово-соленых озерах Баргузинской долины (Забайкалье) / А. С. Сыренжапова, Е. Ю. Абидуева, Б. С. Цыренов // *Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В. Р. Филиппова.* – 2009. – № 2(15). – С. 95-97.
24. Убугунов В. Л. Почвы и формы рельефа Баргузинской котловины / В. Л. Убугунов, В. И. Убугунова, Э. Г. Цыремпилов; под ред. П. Д. Гунина. – Улан-Удэ : Издательство Бурятского научного центра СО РАН, 2016. – 212 с.
25. Флоренсов Н. А. Мезозойские и кайнозойские впадины Прибайкалья / Н. А. Флоренсов. – Москва : Наука, 1960. – 257 с.
26. Чертко Н. К. Геохимия и экология химических элементов: Справочное пособие / Н. К. Чертко, Э. Н. Чертко. – Минск : Издательский центр Белорусского государственного университета, 2008. – 140 с.
27. Kabata-Pendias A. Trace Elements in Soils and Plants / A. Kabata-Pendias. – CRC Press, Taylor and Francis Group, Boca Raton, London, New York, 2011. – 505 p.
4. Vetrov V. A. Bazovyye urovni khimicheskikh elementov v vode ozera Baykal / V. A. Vetrov, A. I. Kuznetsova, O. A. Sklyarova // *Geografiya i prirodnyye resursy.* – 2013. – № 3. – С. 41-51.
5. Vinogradov A. P. Geokhimiya redkikh i rasseyannykh khimicheskikh elementov v pochvakh / A. P. Vinogradov. – Moskva : Izdatel'stvo AN SSSR, 1957. – 237 s.
6. Vodnyye sistemy Barguzinskoy kotloviny / V. B. Namsarayev [i dr.]. – Ulan-Ude : Izdatel'stvo Buryatskogo gosudarstvennogo universiteta, 2007. – 150 s.
7. Hidrogeokhimiicheskiye osobennosti sostava azotnykh term Baykal'skoy riftovoy zony / A. M. Plyusnin [i dr.] // *Geologiya i geofizika.* – 2013. – Т. 54, № 5. – С. 647-664.
8. Glazovskiy N. F. Landshaftno-geokhimiicheskoye znachenie glubokogo podzemnogo stoka v aridnykh oblastyakh SSSR : dis. ... d-ra geograf. nauk / N. F. Glazovskiy. – Moskva, 1985. – 644 s.
9. GOST 31861-2012. Mezhgosudarstvennyy standart. Voda. Obshchiye trebovaniya k otboru prob. Data vvedeniya 2014-01-01. – URL: <http://rdocs3.cntd.ru/document/gost-31861-2012> (data obrashcheniya: 02.04.2018).
10. Dinamika soderzhaniya ionov K, Na, Ca2 v rasteniyakh risa (*Oryza sativa* L.) v ontogeneze v usloviyakh pochvennogo zasoleniya / M. S. Tkacheva [i dr.] // *Nauchnyy zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta.* – 2014. – № 100(06). – URL: <http://ej.kubagro.ru/2014/06/pdf/115.pdf>. (data obrashcheniya: 25.03.2018).
11. Isayev V. P. Prirodnyye gazy v Barguzinskoy vpadine / V. P. Isayev. – Irkutsk : Izdatel'stvo Irkutskogo universiteta, 2006. – 220 s.
12. Klassifikatsiya i diagnostika pochv SSSR / V. V. Egorov [i dr.]. – Moskva : Kolos, 1977. – 224 s.
13. Maslov A. V. Osadochnyye porody: metody izucheniya i interpretatsiya poluchennykh dannykh : uchebnoye posobiye / A. V. Maslov. – Ekaterinburg: Izdatel'stvo Ural'skogo gosudarstvennogo gornogo universiteta, 2005. – 289 s.
14. Mineral'nyye vody yuzhnoy chasti Vostochnoy Sibiri. Tom 1. Hidrogeologiya mineral'nykh vod i ikh narodnokhozyaystvennoye znachenie / pod obshch. red. V. G. Tkachuk, N. I. Tolstikhina. – Moskva : Izdatel'stvo Akademii nauk SSSR, 1961. – 346 s.
15. Namzalov B. B. Gornaya lesostep' Barguzinskoy kotloviny (Severnoye Pribaykal'ye) / B. B. Namzalov, T. G. Baskhayeva. – Ulan-Ude : Izdatel'stvo Buryatskogo gosudarstvennogo universiteta, 2006. – 125 s.
16. Nogina N. A. Pochvy Zabaykal'ya / N. A. Nogina; pod red. E. N. Ivanova. – Moskva : Nauka, 1964. – 315 s.
17. Paleogeograficheskiye aspekty formirovaniya solenyykh ozer Barguzinskoy kotloviny / A. A. Dzyuba [i dr.] // *Geografiya i prirodnyye resursy.* – 1999. – № 2. – С. 66-73.
18. Perevalov A. V. Izmereniye radona pri radioekologicheskikh issledovaniyakh / A. V. Perevalov, N. E. Astakhov, A. B. TSydenov // *Gorod: proshloye, nastoyashcheye, budushcheye : materialy mezhdunarodnoy konferentsii.* – Irkutsk, 1998. – С.43-45.

REFERENCES

1. Allyuvial'nyye svetlogumusovyye pochvy Barguzinskoy kotloviny / V. I. Ubugunova [i dr.] // *Vestnik Buryatskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii im. V. R. Filippova.* – 2012. – № 1. – С. 52-62.
2. Biotestirovaniye radona, vydelyayemogo iz pochvogrunta tsitologicheskim metodom / A. I. Fedorova [i dr.] // *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser. Geografiya. Geoekologiya.* – 2007. – № 2. – С. 87-96.
3. Borisenko I. M. Mineral'nyye vody Buryatskoy ASSR / I. M. Borisenko, L. V. Zamana. – Ulan-Ude : Buryatskoye knizhnoye izdatel'stvo, 1978. – 162 s.

19. Plyusnin A. M. Usloviya formirovaniya gidroterm Barguzinskogo Pribaykal'ya po dannym mikroelementnogo i izotopnogo sostava / A. M. Plyusnin, M. K. Chernyavskiy, V. F. Posokhov // *Geokhimiya*. – 2008. – № 10. – S. 1-10.
20. Pochvy Barguzinskoj kotloviny / T. I. Az'muka [i dr.]; pod red. S. S. Trofimova. – Novosibirsk : Nauka, 1983. – 270 s.
21. Soderzhaniye ionov natriya v tkanyakh galofitov Krymskoj flory na fone zasoleniya razlichnoj stepeni / S. N. Kabuzenko [i dr.] // *Vestnik Dnepropetrovskogo universiteta. Ser. Biologiya, ekologiya*. – 2015. – № 23(1). – S. 44-49
22. Solonchaki severnoy okrainy TSentral'no-aziatskoj aridnoy zony / V. L. Ubugunov [i dr.] // *Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya*. – 2015. – № 5. – S. 702.
23. Syrenzhapova A. S. Usloviya sredy obitaniya i chislennosti alkalofil'nykh bakteriy-destruktorov v sodovosolenykh ozerakh Barguzinskoj doliny (Zabaykal'ye) / A. S. Syrenzhapova, E. YU. Abiduyeva, B. S. TSyrenov // *Vestnik Buryatskoj gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii im. V. R. Filippova*. – 2009. – № 2(15). – S. 95-97.
24. Ubugunov V. L. Pochvy i formy rel'yefa Barguzinskoj kotloviny / V. L. Ubugunov, V. I. Ubugunova, E. G. TSyrempilov; pod red. P. D. Gunina. – Ulan-Ude : Izdatel'stvo Buryatskogo nauchnogo tsentra SO RAN, 2016. – 212 s.
25. Florensov N. A. Mezozoyskiye i kaynozoykiye vpadiny Pribaykal'ya / N. A. Florensov. – Moskva : Nauka, 1960. – 257 s.
26. CHertko N. K. Geokhimiya i ekologiya khimicheskikh elementov: Spravochnoye posobiye / N. K. CHertko, E. N. CHertko. – Minsk : Izdatel'skiy tsentr Belorusskogo gosudarstvennogo universiteta, 2008. – 140 s.
27. Kabata-Pendias A. Trace Elements in Soils and Plants / A. Kabata-Pendias. – CRC Press, Taylor and Francis Group, Boca Raton, London, New York, 2011. – 505 p.

Дорошкевич Светлана Геннадьевна
кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории гидрогеологии и геоэкологии Геологического института Сибирского Отделения Российской академии наук, г. Улан-Удэ, т. 8(3012)433013, E-mail: sv-dorosh@mail.ru

Чернявский Михаил Константинович
кандидат географических наук, научный сотрудник лаборатории гидрогеологии и геоэкологии, Геологического института Сибирского Отделения Российской академии наук, г. Улан-Удэ, т. 8(3012)433275, E-mail: mitchel1977@mail.ru

Doroshkevich Svetlana Gennad'evna
Candidate of Biological Sciences, Senior researcher of the laboratory of Hydrogeology and Geoecology of the Geological Institute of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Ulan-Ude, tel. 8(3012)433013, E-mail: sv-dorosh@mail.ru

Chernyavskii Mikhail Konstantinovich
Candidate of Geographical Sciences, Researcher of the laboratory of Hydrogeology and Geoecology of the Geological Institute of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Ulan-Ude, tel. 8(3012)433275, E-mail: mitchel1977@mail.ru