

В.Л. УБУГУНОВ, В.И. УБУГУНОВА, А.Д. ЖАМБАЛОВА

Институт общей и экспериментальной биологии СО РАН,
670047, Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6, Россия,
ubugunov@mail.ru, ubugunova57@mail.ru, zhambalova_ann@mail.ru

ЭНДОГЕННЫЕ ФАКТОРЫ ФОРМИРОВАНИЯ И ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ГАЛОМОРФНЫХ ПОЧВ БАЙКАЛЬСКОЙ РИФТОВОЙ ЗОНЫ (НА ПРИМЕРЕ БАРГУЗИНСКОЙ КОТЛОВИНЫ)

Впервые для Байкальской рифтовой зоны приведена характеристика почв, формирующихся в зоне влияния разгружающихся термальных минерализованных вод фтористого сероводородного гидрокарбонатно-сульфатно-натриевого типа (Кучигерский источник). Под действием палео- и современной (активной, скрытой) разгрузки гидротерм на обширной площади лесостепной зоны северо-западной части Баргузинской котловины формируются засоленные, сильнозасоленные и солонцеватые почвы сульфатно-натриевого типа химизма. Морфологическое строение засоленных почв вследствие протекающих в них турбационных процессов существенно отличается от строения зональных и интразональных (пойменных) почв. В районах с активным проявлением восходящих газогидротермальных флюидов отмечается сильная турбированность почв, а в местах палеоразгрузок — слабая. Процессы турбации могут быть связаны с проявлением тектонических процессов складкообразования в сейсмически активных районах, а также иметь криогенную природу. Наряду с засолением, на удаленных участках, в местах палеоразгрузки минерального источника, наблюдается образование гумусо-глинистых кутан, что свидетельствует о проявлении солонцового процесса. Впервые для почв Забайкалья отмечено скопление кристаллов мучнистого гипса в солонцеватых подтипах. Почвы зон тектонических разломов с выклинивающимися термальными водами характеризуются крайне высокой динамичностью условий почвообразования, что выражается в контрастном сочетании физико-химических свойств почвенных горизонтов, неоднородном гранулометрическом составе. Геохимическое своеобразие изученных засоленных почв связано с аномально высокими концентрациями S, высокими — Ba, Sr, P, Na. Эндогенный фактор существенно влияет на морфологический облик и свойства почв, что позволяет выделить нехарактерные для фоновых почв турбированные подтипы. По морфологическому строению и вещественному составу диагностирована принадлежность засоленных почв к отделам аллювиальных почв синлитогенного ствола и галоморфных почв постлитогенного ствола.

Ключевые слова: почвы, засоление, Байкальский рифт, термальные воды, геохимические особенности.

V.L. UBUGUNOV, V.I. UBUGUNOVA, A.D. ZHAMBALOVA

Institute of General and Experimental Biology, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences,
670047, Ulan-Ude, ul. Sakhyanovoi, 6, Russia,
ubugunov@mail.ru, ubugunova57@mail.ru, zhambalova_ann@mail.ru

ENDOGENOUS FACTORS FOR THE FORMATION AND FUNCTIONING OF HALOMORPHIC SOILS IN THE BAIKAL RIFT ZONE (A CASE STUDY OF THE BARGUZIN DEPRESSION)

For the first time, the description of soils evolving in the zone of influence of the discharge of thermal mineralized waters of hydrogen sulfide hydrocarbonate-sulfate-sodium type (Kuchiger source) is provided for the Baikal rift zone. Under the influence of the paleo-discharge and modern (active, hidden) discharge of hydrotherms across a large area of the forest-steppe zone in the northwestern part of the Barguzin depression, saline, highly saline and solonchic soils of sulfate-sodium type of chemistry are formed. The morphological structure of saline soils differs significantly from zonal and intrazonal (floodplain) soils by the presence of turbation processes in them. The areas of active manifestation of the ascending gas-hydrothermal fluids show a high degree of turbation of soils, whereas a low degree of turbation is observed in areas of paleo-discharges. Turbation can be associated with the manifestation of tectonic folding processes in seismically active areas as well as can have a cryogenic origin. Along with salinization processes, in remote locations, sites of paleo-discharge of a mineral source show the formation of humus-clay revestments, indicating the manifestation of the solonch process. For the first time for soils of Transbaikalia, an accumulation of crystals of powdery gypsum in solonch subtypes was observed. Soils of tectonic fault zones with outcropping thermal water are characterized

by an extremely high dynamics of soil formation conditions, which is manifested in a contrasting combination of physicochemical properties of soil horizons and heterogeneous granulometric composition. The geochemical uniqueness of the saline soils under study is associated with anomalously high concentrations of S and high concentrations of Ba, Sr, P and Na. The endogenous factor has a considerable influence on the morphological structure and properties of soils, which allows us to identify turbated subtypes unusual for the background soils. According to the morphological structure and material composition of saline soils, they belong to the orders of alluvial soils of the synlithogenous trunk and halomorphic soils of the post-lithogenous trunk.

Keywords: soil, salinization, Baikal Rift, thermal waters, geochemical features.

ВВЕДЕНИЕ

Байкальская внутриконтинентальная рифтовая зона (БРЗ) является зоной активного тектогенеза, характеризуется высокой сейсмической активностью, проявлениями термальных источников и грязевых вулканов [1–3]. Многочисленные выклинивания активных грифонов, поставляющих из глубин воду, растворенные соли и тепловую энергию, оказывают локальное термально-геохимическое воздействие [3]. Среди компонентов экосистем зон активных тектонических разломов Байкальского внутриконтинентального рифта с разгрузкой термальных вод менее всего изучены почвы. Известно, что эндогенные факторы создают контрастные и динамичные условия почвообразования [4, 5], влияющие на формирование почв [6–8]. В результате этих процессов происходят либо изменения отдельных свойств почв (без существенной перестройки их морфологического облика и строения), либо коренное преобразование механизмов формирования почв [9].

В ходе проведенного нами почвенного обследования северо-западной лесостепной части Баргузинской котловины в 2011–2018 гг. были обнаружены нетипичные для данной территории засоленные, сильнозасоленные и солоноватые почвы [10, 11]. Они распространены как в непосредственной близости от активных грифонов, так и на достаточно большом удалении (минимум 5 км) от мест их разгрузки при отсутствии прямой гидрологической сопряженности. Цель настоящего исследования — характеристика почв нетипичных галоморфных экосистем БРЗ, формирующихся в лесостепи в районах современного (открытого и скрытого) и палеовлияния термальных вод.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Объектом исследования стали засоленные почвы северо-западной части Баргузинской котловины (рис. 1). Почвенно-географические работы были проведены в 2011 и 2016–2018 гг. на территории распространения поверхностно-засоленных почв (около 50 км²). Их ареал находится на пойменных участках ручья Индехен, безымянных ручьев и рукавов р. Улюгны вблизи окрестностей сел Кучигер и Улюнхан, а также в Олосском урочище на озерно-аллювиальной равнине, в междуречье рек Сен, Олос и Улюн.

Климат территории исследования резко континентальный, с длительной и холодной зимой, засушливым весенне-летним и влажным июльско-августовским периодами [12]. В котловине распространены различные типы мерзлоты [13]. Зональные почвы представлены дерново-подбурами, которые формируются под сосновыми лесами, а в поймах рек — аллювиальными перегнойно-темногумусовыми мерзлотными почвами [14]. К почвообразующим породам относятся продукты разрушения щелочных гранитов Ангаро-Витимского батолита [15]. В формировании рифтогенной впадины значительную роль играют разрывные нарушения. К разломным участкам и узлам их пересечения приурочена разгрузка трещинно-жильных минерализованных вод [2], относящихся по минеральному и газовому составу к Байкальской гидроминеральной области азотных терм [16, 17].

Почвенные разрезы заложены в пределах зоны влияния разгружающихся фтористых сероводородных гидрокарбонатно-сульфатных натриевых термальных вод кульдурского типа Кучигерского источника (54°88' с. ш., 111°00' в. д.; $H = 570$ м над ур. моря). Выклинивание подземных вод приурочено к пересечению продольного (Баргузинского) и поперечного (Дыренского) тектонических разломов [2]. Воды термы (40–50 °С) низкоминерализованные, щелочные (рН 9,9), отмечается высокая концентрация F, Al, Ti, S, Cu, W, Cr, Fe, Li, Ni, Pb, Cd, Sr, Cl, Ba и редкоземельных элементов [16].

Для анализа влияния термальных минерализованных источников на формирование засоленных почв была заложена серия почвенных разрезов: разрез ТЛК-2 (54°52' с. ш., 111°00' в. д.; $H = 577$ м над ур. моря) — на берегу болотного массива, первичного коллектора вод, вытекающих из открытых грифонов Кучигерских гидротерм; ТЛК-1 (54°52' с. ш., 111°2' в. д.; $H = 563$ м над ур. моря) — на притеррасной возвышенности, в 1,5 км от минерального источника; ТЛК-3 (54°51' с. ш., 111°2' в. д.;

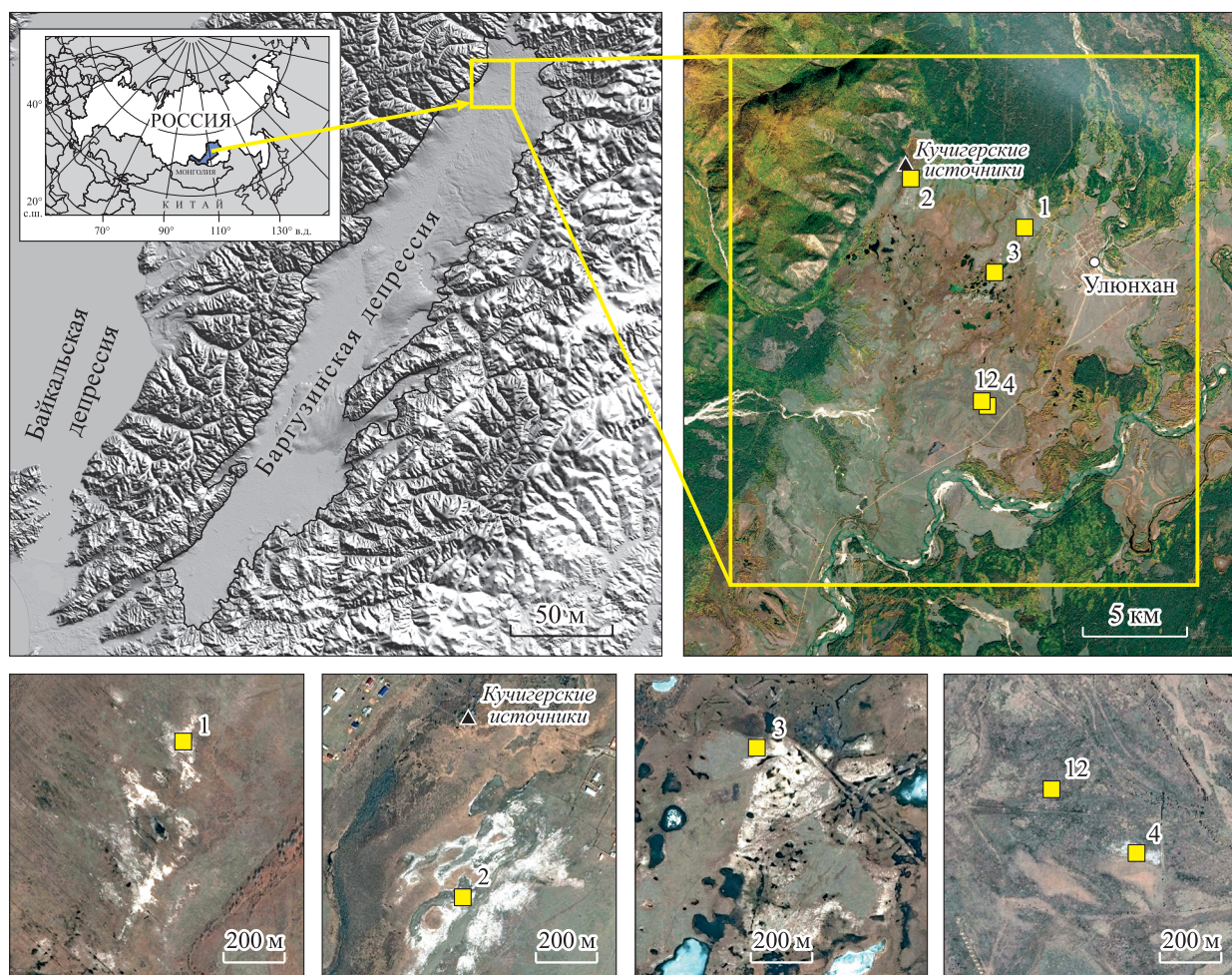


Рис. 1. Географическое положение рифтогенной Баргузинской депрессии и места закладки опорных почвенных разрезов.

I — зона активного эндогенного засоления; II — Кучигерские гидротермальные источники. 1, 2, 3, 4, 12 — почвенные разрезы с соответствующими инвентарными номерами ТЛК-1, ТЛК-2, ТЛК-3, ТЛК-4, ТЛК-12.

$H = 601$ м над ур. моря) — на заболоченном участке озерно-аллювиальной равнины с пересыхающими озерами в 2 км северо-западнее дер. Улюнхан, в 3 км от источника; разрезы ТЛК-4 ($54^{\circ}49'$ с. ш., $111^{\circ}1'$ в. д.; $H = 605$ м над ур. моря) и ТЛК-12 ($54^{\circ}49'$ с. ш., $111^{\circ}01'$ в. д.; $H = 605$ м над ур. моря) — на высоком, редко затопляемом участке между реками Улюгна и Сен, примерно в 6 км от источника (см. рис. 1).

Анализ физико-химических и химических свойств почв проведен стандартными методами [18]. Состав обменных катионов в засоленных почвах определяли по методу Пфедфера в модификации Молодцова и Игнатовой [19], содержание легкорастворимых солей, степень засоления, химизм — по [20]. Элементный состав почв был установлен в аккредитованной лаборатории Республиканского аналитического центра атомно-эмиссионным методом с индуктивно связанной плазмой (ICP) с помощью спектрометра SPECTRO ARCOS.

Для выявления особенностей распределения элементов в засоленных почвах рассчитаны коэффициенты концентрации по отношению к литосфере: $KK = Cb/CC$, где KK — кларк концентрации элемента, Cb — содержание элемента в изученных почвах, CC — кларки литосферы. Значения CC заимствованы из работ [21, 22]. Коэффициенты концентрации относительно регионального фона ($Kф$) определялись как отношение содержания элемента в исследуемой почве к его среднему количеству в данном регионе [23]. Статистическая обработка данных включала расчет основных показателей в пакетах Statistica 10 и Microsoft Excel 2010. Классификация и диагностика почв проводилась согласно [24].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Изученные засоленные почвы, формирующиеся в зоне как современного, так и палеовлияния термальных вод, имеют явное несоответствие внешних морфологических признаков зональным (ТЛК-14) и интразональным (ТЛК-17) (пойменным) почвам лесостепной зоны (рис. 2). В морфологическом строении почв сосновых рододендроново-кладониевых и рододендроново-брусничных лесов Баргузинской котловины (ТЛК-14) отчетливо диагностируется серогумусовый, иллювиально-железистый горизонт буровато-охристой окраски и элюво-делювиальный щебнистый горизонты. Система генетических горизонтов аллювиальной почвы (ТЛК-17) поймы р. Сен под монгольско-полевещево-безжилково-осоковым сообществом состоит из перегнойно-темногумусового, квазиглеевого, погребенного и мерзлотного горизонтов.

Морфологическое строение почв, формирующихся в зоне влияния термальных вод, существенно отличается от строения почв, рассмотренных выше. В непосредственной близости (350–500 м) от места разгрузки активного грифона термальных вод образуется слоистая почва с выраженными процессами поверхностного засоления. В пределах почвенного профиля (с глубины 100 см) отмечается присутствие теплых вод. Переувлажнение почвы способствует развитию анаэробных и квазиглеевых процессов. Тип почвы — аллювиальная светлогумусовая засоленная термокриотурбированная квазиглеевая (ТЛК-2). На притеррасной возвышенности, в 1,5 км от минерального источника, образуются солончаки темные постагрогенные криотурбированные (ТЛК-1). Они имеют солевой, турбированный,

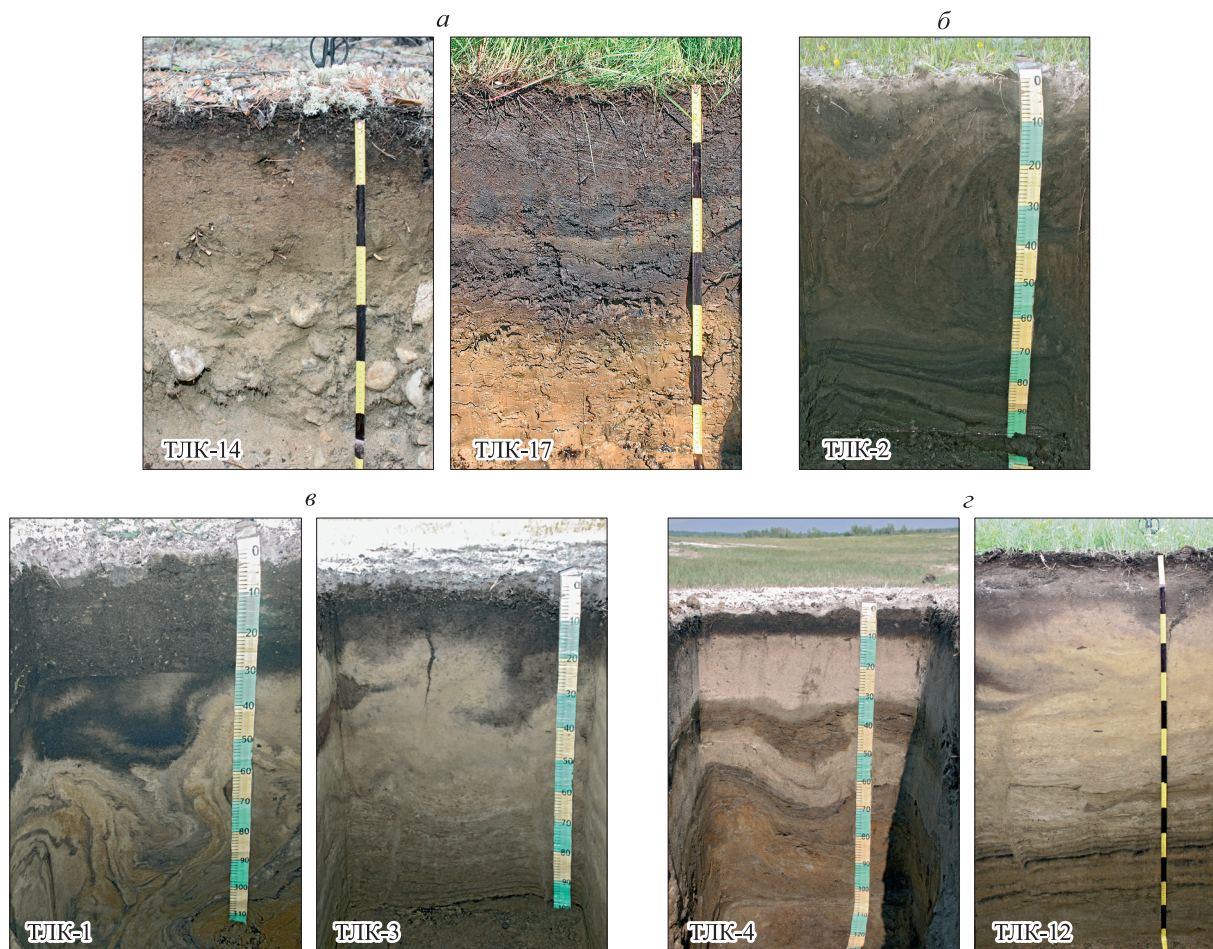


Рис. 2. Морфологическое строение почв.

а — зональные (ТЛК-14, ТЛК-17), *б* — почвы, формирующиеся в зоне влияния активных грифонов (ТЛК-2), *в* — в зоне скрытой подпочвенной разгрузки минерализованных вод (ТЛК, ТЛК-3), *г* — в зоне слабого скрытого влияния или палеовлияния гидротерм (ТЛК-4, ТЛК-12).

Некоторые физико-химические свойства засоленных почв Кучигерского урочища

Горизонт	Глубина, см	pH _{водн}	CO ₂	Сухой остаток	Токсичные соли	Гумус	Азот	ЕКО, ммоль/экв	
									%
Аллювиальная светлогумусовая засоленная термокриотурбированная квазиглееватая (ТЛК-2)									
СК	+1-0	8,0	0,8	26,806	26,806	Не опр.			
AJs,@	0-2(20)	8,0	2,2	0,330	0,098	2,83	0,27	20,0	
[AC, AСох,A]@	1-й слой	8,4	1,0	0,184	0,050	0,84	0,07	10,0	
	2-й слой	2(20)-61(66)	8,2	0,2	0,186	0,057	0,86	0,12	8,0
	3-й слой		7,3	-	0,200	0,108	2,03	0,15	20,0
[A]C [~] q,s	61(66)-70(75)	7,8	1,6	0,188	0,037	1,89	0,12	10,0	
2[AC [~] q,s	70(75)-77(86)	7,9	-	0,196	0,037	2,91	0,18	24,0	
3[A]C [~] q,s	77(86)-100	8,1	-	0,226	0,049	1,17	0,05	16,0	
Солончак темный постагрогенный криотурбированный мерзлотный (ТЛК-1)									
СК	+1-0	8,6	2,3	32,380	31,564	Не опр.			
Spa[A]	0-22(30)	8,0	2,7	1,386	1,386	2,66	0,29	24,0	
S@	22(30)-31(62)	7,9	2,3	1,402	1,402	3,00	0,30	16,0	
[SA, Cs [~] , Сох,s]	1-й слой	7,8	3,6	1,418	1,418	0,73	0,08	10,0	
	2-й слой	31(62)-95(115)	8,2	0,5	0,134	0,134	0,28	0,03	8,0
	3-й слой		8,2	2,6	0,298	0,245	0,27	0,04	8,0
[A]Cs,⊥ [~]	95(115)-115	8,1	5,2	1,032	0,352	1,23	0,10	14,0	
Солончак темный криотурбированный квазиглееватый мерзлотный (ТЛК-3)									
СК	+1-0	8,1	0,6	27,462	24,298	Не опр.			
S[A]	0-10	7,6	0,1	2,168	0,845	3,13	0,18	20,0	
Cs ^{'''}	10-30(36)	7,8	0,1	0,252	0,180	0,40	0,08	14,0	
[A]s,@	30(36)-37(54)	7,6	1,7	1,382	0,044	2,64	0,15	26,0	
2Cs, ox,@ ^{'''}	37(54)-54(68)	7,9	1,7	0,468	0,186	0,21	0,04	20,0	
2[A]s, ox, @	54(68)-70(90)	7,8	2,4	0,838	0,197	1,56	0,11	18,0	
3Cs, ox, ⊥ ^{'''}	70(90)-106	8,5	1,6	0,362	0,242	0,23	0,02	14,0	
Солончак темный криотурбированный солонцеватый мерзлотный (ТЛК-4)									
СК	+0,5-0	8,0	0,9	22,818	21,349	Не опр.			
S[A]	0-3(5)	7,7	0,8	5,690	4,643	3,75	0,20	26,0	
2S	3(5)-7(10)	7,7	1,2	2,844	2,491	4,98	0,26	36,0	
3S@	7(10)-13(24)	7,8	6,4	2,408	2,027	3,37	0,14	32,0	
4S@	1-й слой	7,8	10,8	2,496	1,922	1,56	0,10	22,0	
	2-й слой	13(24)-26(46)	7,9	7,3	1,752	1,578	1,53	0,10	26,0
	3-й слой		7,7	6,5	2,050	1,658	1,44	0,10	28,0
Cs	26(46)-49(55)	8,8	4,4	0,496	0,387	0,55	0,07	14,0	
2Cs [~]	1-й слой	8,1	3,9	0,918	0,884	0,87	0,07	8,0	
	2-й слой	49(55)-82(85)	8,8	3,6	0,448	0,190	0,63	0,03	14,0
[A]s,⊥	82(85)-100		8,4	3,8	0,424	0,246	1,53	0,09	18,0
Темногумусовая квазиглеевая солончаковатая солонцеватая криотурбированная мерзлотная почва (ТЛК-12)									
AUca,s,cs,th	0-20(32)	7,7	1,3	1,437	0,340	5,04	Не опр.	28,0	
Qca,dc,@,s,cs,th	20 (32-54)	7,8	6,4	1,857	1,030	1,62	Не опр.	14,0	
Cca,s,q [~]	54-63(77)	8,1	3,7	1,084	0,190	0,62	Не опр.	18,0	
2Cca,s [~]	63(77)-91(98)	7,7	3,1	0,503	0,510	0,11	Не опр.	4,0	
3Cca,s,q [~]	91(98)-130	8,5	3,6	0,406	0,240	0,42	Не опр.	16,0	
4Cca,s [~] ⊥	130-145	8,1	3,8	0,338	0,190	0,39	Не опр.	6,0	

Примечание. Прочерк — не обнаружено. Не опр. — не определяли.



Рис. 3. Скопление кристаллов мучнистого гипса (белые прожилки) в гумусовом горизонте разреза ТЛК-4.

погребенный органогенные горизонты. Почвы подвергались распашке. На глубине 115 см вскрыта льдистая мерзлота. На озерно-эоловой равнине (ТЛК-3) также формируются галоморфные почвы — солончаки темные криотурбированные квазиглееватые мерзлотные. Морфологическое строение их характеризуется резко контрастными по цветовой гамме чередующимися слоями эоловых отложений и гумусовых слоев, а в нижней части профиля — проявлением криотурбации. На глубине 106 см при вскрытии разреза отмечена льдистая мерзлота. На периферийной части контура основного распространения засоленных почв получают развитие солончаки темные криотурбированные солонцеватые мерзлотные (ТЛК-4). В верхней части профиля отмечается слабая интенсивность турбационных процессов (вихревый рисунок), в срединной — выраженное оглинивание почв; в

нижней части залегает серия погребенных слоев. На поверхности почвы имеется солевая корочка, профиль полностью засолен (см. таблицу). Следует отметить плитчато-пластинчатое строение минеральной почвенной массы верхних горизонтов и скопление гирлянд дисперсного гипса (рис. 3).

Все изученные почвы, на формирование которых влияют слабоминерализованные воды, имеют выраженные признаки синлитогенеза, характерные для аллювиальных почв. В то же время отмечается нарушение классического расположения генетических горизонтов в профиле почв. Морфологические различия полностью или частично стерты под воздействием турбационных процессов, вызванных как разломной тектоникой, так и мерзлотными факторами. Общий признак всех изученных почв — засоление, которое морфологически проявляется в виде рыхлых белесых солевых образований на поверхности почвы. Впервые для Забайкалья отмечено скопление кристаллов гипса в гумусовом горизонте солонцеватых солончаков (см. рис. 3). Именно минерализованные термальные воды являются дополнительным источником легкорастворимых солей. Дальнейшее накопление их в почвах связано с зимним вымораживанием, весенне-раннелетним иссушением почв, отсутствием как вертикального (мерзлотный водоупор либо грунтовые воды), так и горизонтального внутрпочвенного перемещения. Благодаря сочетанию экзогенных и эндогенных факторов, в лесостепной зоне образуются нетипичные для данных широт засоленные и сильнозасоленные почвы. Среди морфологических признаков почв, формирующихся в местах палеоразгрузки гидротерм, отмечается наличие гумусо-глинистых кутан, что свидетельствует о слабом проявлении солонцового процесса за счет активной гидрогенной аккумуляции солей и карбонатов. Глеевые процессы наблюдаются в переувлажненных нижних горизонтах.

В гранулометрическом составе почв преобладают фракции крупной пыли и мелкого песка (рис. 4). Минералогический состав характеризуется доминированием плагиоклазов и калиевых полевых шпатов [11]. Почвы имеют щелочную реакцию среды, окарбоначены (см. таблицу). Содержание гумуса наибольшее в верхних и погребенных гумусовых горизонтах. Максимальная концентрация легкорастворимых солей выражена в поверхностной корке, где среди анионов доминируют сульфаты, а среди катионов — натрий. Аллювиальные термокриотурбированные почвы характеризуются несбалансированностью состава. Почвы имеют среднюю и слабую степень щелочного засоления с содово-сульфатным и сульфатно-содовым химизмом. Среди катионов доминирует натрий. В составе катионов солончака постагрогенного вместе с натрием на засоление заметно влияет кальций. Тип химизма изменяется от натриевого до натриево-кальциевого, степень засоления — от сильной до слабой. Среди анионов ведущую роль играют сульфаты. В профиле почв озерной депрессии проявляется концентрация анионов хлора. Химизм сложный, изменяется от сульфатного к хлоридному. В катионном составе преобладают ионы натрия и кальция.

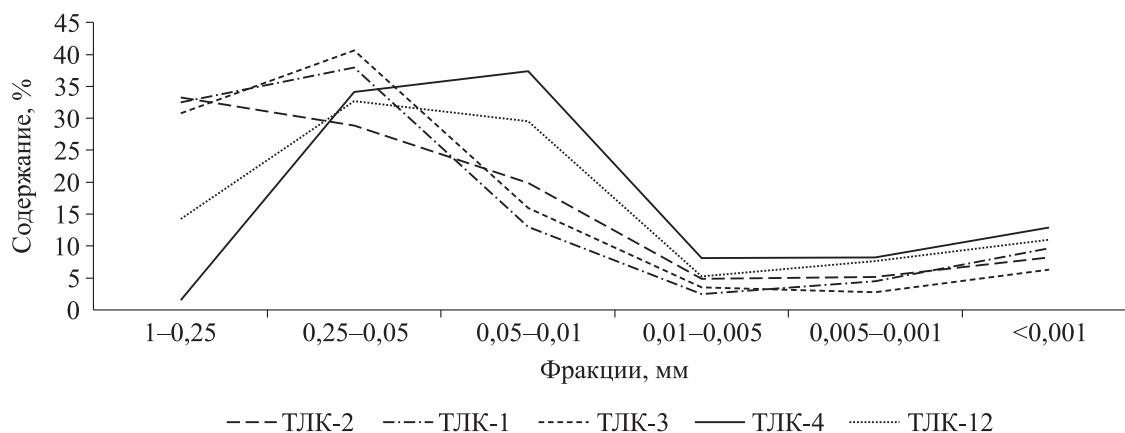


Рис. 4. Гранулометрический состав засоленных почв в зоне влияния Кучигерских гидротерм по данным расчета средневзвешенной средней в каждом почвенном разрезе.

Очень сильную степень нейтрального засоления имеет солончак солонцеватый (ТЛК-4) с сульфатно-натриевым типом химизма с присутствием гипса. Химизм засоления расположенной рядом темногумусовой квазиглеевой солончаковой солонцеватой криотурбированной мерзлотной почвы (ТЛК-12) сложный и меняется по профилю от сульфатного магниево-кальциевого с присутствием гипса до очень сильного гидрокарбонатно-сульфатного с присутствием гипса.

В составе солей гидротерм и почв, формирующихся в зоне их влияния, выявлено сходство, которое заключается в высокой доле натрия и сульфатов. Различия между ними проявляются по кальцию: в гидротермах кальция очень мало, но существенно больше, чем в почвах, карбонатов и гидрокарбонатов. Очевидно, что в ходе педогенных процессов исходный состав солей, поступающих с минеральными водами, в полугидроморфном режиме трансформируется. Поэтому почвы остепненных луговых ландшафтов больше аккумулируют кальций, осаждающийся в виде кальцита и гипса.

Гидротермальные воды часто сравнивают с «жидкой минеральной рудой» [25, 26]. Разгружаясь в почву, они обогащают ее элементами, характерными для данных терм. Для оценки геохимического состояния засоленных почв рассмотрены элементы, наиболее типичные для зон разломов и гидротермальных источников БРЗ [16, 26]. Это щелочные (K, Na, Li), щелочноземельные (Ca, Mg, Sr, Ba), группа железа (Cr, Fe, Mn, Co, Ni), элементы магнитных эманаций (S) и редкие ионы (W). Среднее валовое содержание элементов в изученных засоленных почвах составило, мг/кг: Li — $27,5 \pm 1,6$; Na — $28\ 286 \pm 603$; K — $17\ 739 \pm 609$; Mg — $17\ 388 \pm 521$; Ca — $57\ 245 \pm 4016$; Sr — $1057 \pm 36,5$; Ba — $1252 \pm 37,6$; Cr — $52 \pm 3,1$; Mn — $790 \pm 35,3$; Fe — $33\ 145 \pm 1773$; Co — $15,2 \pm 1,03$; Ni — $46 \pm 2,9$; S — $3905 \pm 1,2$; W — 43. Накопительный ряд по отношению к кларку литосферы выглядит следующим образом: $S_{3,4} > Ba_{3,2} > Sr_{2,5} > S_{2,8} > P_{1,5} > Na_{1,4} \geq Ni_{1,4} \geq Li_{1,4}$. Геохимический накопительный ряд по сравнению с региональными почвами имел следующий порядок: $Sr_{2,9} > S_{2,4} > P_{2,2} > Ni_{1,6} > Na_{1,4} > Ba_{1,3}$. Содержание Ba, Cr, Fe и K близко к содержанию в почвах Забайкалья.

По имеющимся литературным данным [14, 27], в северо-западной части Баргузинской котловины засоления не отмечено. При проведении почвенно-географических работ на данной территории в 2011 г. нами были обнаружены участки с проявлением сильного поверхностного засоления и солонцеватости почв [28]. В результате детального анализа космоснимков и уточняющих исследований в 2016–2018 гг., после аномальной атмосферной засухи 2014–2016 гг., были выявлены более обширные ареалы галоморфных экосистем площадью 50 км². Засоленные породы, которые могли бы послужить источником солей, в районе исследования отсутствуют. Континентальное соленакопление в лесостепном районе из-за климатического фактора вряд ли бы вызвало площадное засоление почв. Геоморфологические позиции, на которых формируются изученные почвы, различны: поймы, озерно-аллювиальная равнина, междуречье рек.

В ходе исследования была проверена гипотеза о влиянии эндогенных факторов на аккумуляцию солей в почвенном покрове. Воды Кучигерских терм разгружаются в болото. Взаимосвязь источника солей и степени засоления почв не нашла подтверждения, так как почвы, расположенные в непосредственной близости от активных грифонов, были менее засолены, чем удаленные от них на 6 км и более. Было сделано предположение, что в районах с активным проявлением тектонических про-

цессов разгрузка термальных вод может иметь активный выход, скрытую разгрузку и палеовыходы терм. Затухание гидротермальных систем подтверждают многочисленные факты как для территории БРЗ [29], так и для других рифтовых областей [30, 31]. Местоположение гидротермальных систем отличается мобильностью. Формирование почв происходит на вновь образованных почвообразующих породах — продуктах гидротермальной деятельности. Поэтому исходные породы сильнозасоленные и способствуют формированию галоморфных экосистем. Именно «память» почвы позволяет объяснить засоленность почв и на участках, в настоящее время не испытывающих влияния терм. Процессы солонцеватости свидетельствуют о процессах рассоления.

Исследования также показали, что кроме возможного палеовлияния гидротерм имеет место современная, но скрытая разгрузка грифонов, проходящая по крупным и очень активным тектоническим разломам. Скрытые грифоны разгружаются внутрипочвенно, повышая локальный уровень грунтовых вод и осуществляя эндогенную поставку растворенных солей в почвенный профиль. Нередко разгрузка глубинных вод сопровождается формированием блюдцеобразных понижений, напоминающих термокарстовые провалы, заполненные постоянными или пересыхающими озерами, среди которых встречаются и соленые.

Исходя из полученных данных, можно предположить, что процессы засоления связаны с эндогенным источником поступления солей. Это хорошо согласуется с приуроченностью основных массивов сильнозасоленных почв Баргузинской котловины к Алгинским, Сувинским и Харамодунским минеральным озерам. Развитие процессов засоления может быть обусловлено наличием слабоминерализованных подземных вод, разгружающихся на поверхности по тектоническим разломам. Это подтверждает и химизм засоленных почв, который идентичен составу подземных вод [32].

Не всегда в местах разгрузки термальных вод отмечается формирование засоленных вод (Гаргинские, Аллинские, Умхейские термы). Обычно при выходе термальных вод на земную поверхность наблюдается резкая смена физико-химических условий (t , Eh, pH), что приводит к выпадению в осадок растворенных компонентов в виде травертинов, гейзеритов [33, 34]. Эти процессы часто фиксируются на западном крыле Байкальского рифта (предгорья юго-западной части Восточного Саяна) и не вызывают засоления почв [35].

Кучигерские воды разгружаются в болото, и поступившие элементы поглощаются минеральными илами, уходят вниз по уклону поверхности с внутрипочвенными водами. Дополнительное поступление химических элементов обуславливает повышенное содержание в изученных почвах щелочных (кроме калия) и щелочноземельных элементов, способствующих процессам засоления почв зон разломов. Процессы ожелезнения и омарганцевания геохимически не выражены: элементы группы железа в изученных почвах рассеиваются по отношению к кларку литосферы. В местах разгрузки терм (болотные экосистемы) и в грязевых конструкциях отмечается очень высокое накопление W, Mo, S, высокое — Ba, Sr, P, Na. Наиболее яркий индикаторный элемент, имеющий площадное распространение, — S. Содержание ее в почвах Забайкалья низкое. Однако во всех изученных засоленных почвах, особенно в солевых корочках, отмечены высокие концентрации серы. Морфологически хорошо различимы кристаллы гипса в органогенных горизонтах почв, расположенных в 6 км от мест современной разгрузки гидротермальных вод. Это свидетельствует о скрытой или палеоразгрузке вод в этих местах.

Гидротермальные системы, как известно, характеризуются общепланетарным распространением в областях современного и четвертичного вулканизма [36]. Преобладающий состав терм в этих районах хлоридно-натриевый с окаймлением выходами конденсатных окисленных сульфатных терм очень кислого состава. Как правило, эндо- и экзогенные почвы формируются на базальтовой или андезитобазальтовой вулканической основе, перекрывающейся пепловыми субстратами при поступлении кислых вод хлоридно-натриевого состава [4–9]. В пределах БРЗ гидротермальные воды проходят через толщу гранитов, обогащаются фтором, серой, вольфрамом, натрием, барием, стронцием, литием и редкоземельными элементами. К их особенностям относятся высокая щелочность и слабая минерализация. Дополнительное поступление гидротермальных вод и их последующая педогенная трансформация способствуют формированию нетипичных для данных широт лесостепной зоны засоленных, сильнозасоленных и солонцеватых почв. По морфологическому строению и вещественному составу диагностирована их принадлежность к отделам аллювиальных почв синлитогенного ствола и галоморфных почв послитогенного ствола. Эти почвы служат экологической нишей для мест обитания термофильных (в местах активной разгрузки терм) и галофильных (на всей площади распространения засоленных почв) видов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Динамометаморфизм земной коры БРЗ обусловлен тектонической и сейсмической активностью. В результате этих процессов на формирование экосистем существенно влияют эндогенные факторы, в первую очередь многочисленные выходы термальных вод — «поставщик» тепловой энергии и дополнительных элементов на земную поверхность. Благодаря редкому сочетанию эндогенных (активная, скрытая и палеоразгрузка гидротерм) и экзогенных (затрудненный сток, резко континентальный климат, продукты разрушения щелочных гранитов) факторов, на северо-западе Баргузинской котловины на площади около 50 км² формируются засоленные, сильнозасоленные и солонцеватые почвы сульфатно-натриевого типа химизма засоления, однотипной геохимической ассоциации элементов. Эти почвы имеют морфологические и физико-химические отличия от зональных почв.

Почва служит связующим звеном между биотическими и абиотическими факторами, поэтому полученные результаты могут использоваться при рассмотрении эволюционных и генетических особенностей формирования экосистем внутриконтинентальной Байкальской рифтовой зоны.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (18-04-00454 А) и средств бюджета (АААА-А17-117011810038-7, ФАНО 0337-2016-0005).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Логачёв Н.А. Главные структурные черты и геодинамика Байкальской рифтовой зоны // Физическая мезомеханика. — 1999. — Т. 2, № 1–2. — С. 163–170.
2. Лунина О.В., Гладков А.С., Неведрова Н.Н. Рифтовые впадины Прибайкалья: тектоническое строение и история развития. — Новосибирск: Акад. изд-во «Гео», 2009. — 316 с.
3. Татаринцов А.В., Яловик Л.И., Канакин С.В. Особенности формирования и минеральные ассоциации литокомплексов грязевых вулканов на юге Восточной Сибири // Вулканология и сейсмология. — 2016. — № 4. — С. 34–49.
4. Burns V. Vegetation change along a geothermal stress gradient at the Te Kopia field // Journ. of the Royal Society of New Zealand. — 1997. — Vol. 27, N 2. — P. 279–293.
5. Byrdina S., Grandis H., Sumintadireja P., Caudron C., Syahbana D.K., Naffrechoux E., Gunawan H., Suantika G., Vandemeulebrouck J. Structure of the acid hydrothermal system of Papandayan volcano, Indonesia, investigated by geophysical methods // Journ. of Volcanology and Geothermal Research. — 2018. — Vol. 358. — P. 77–86 [Электронный ресурс]. — <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2018.06.008> (дата обращения 17.05.2019).
6. Геннадиев А.Н., Гептнер А.Р., Жидкин А.П., Чернянский С.С., Пиковский Ю.И. Экзотемпературные и эндотемпературные почвы Исландии // Почвоведение. — 2007. — № 6. — С. 661–675.
7. Костюг Д.Н., Геннадиев А.Н. Почвы и почвенный покров долины гейзеров // Почвоведение. — 2014. — № 6. — С. 643–653.
8. Rodman A.W., Shovic H.F., Thoma D. Soils of Yellowstone National Park. — Wyoming: Yellowstone Center for Resources, 1996 [Электронный ресурс]. — https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_MANUSCRIPTS/wyoming/yellowstoneNP_WY1996/yellnpWY1996.pdf (дата обращения 15.05.2019).
9. Гольдфарб И.Л. Влияние гидротермальной деятельности на условия формирования и морфологический облик почв (на примере Камчатки) // Почвоведение. — 1996. — № 12. — С. 1413–1419.
10. Убугунов В.Л., Хитров Н.Б., Убугунова В.И., Жамбалова А.Д., Рупышев Ю.А., Аюшина Т.А., Парамонова А.Е., Цыремпилов Э.Г., Насатуева Ц.Н. Эндогенный фактор и морфогенетическое строение почв в зоне влияния Кучигерских гидротерм (Байкальская рифтовая зона, север Баргузинской котловины) // Природа Внутренней Азии. — 2018. — № 4 (9). — С. 54–72.
11. Убугунов В.Л., Хитров Н.Б., Чижикова Н.П., Убугунова В.И., Варламов Е.Б., Жамбалова А.Д., Четчко Е.С. Свойства и минералогический состав темногумусовой квазиглеевой солончаковой солонцеватой криотурбированной мерзлотной почвы Баргузинской котловины (Бурятия) // Бюл. Почвенного ин-та им. В.В. Докучаева. — 2018. — Вып. 91. — С. 62–94.
12. Баргузинская котловина / Отв. ред. В.Е. Викулов. — Улан-Удэ: Изд-во Бурят. науч. центра СО РАН, 1993. — 157 с.
13. Замана Л.В. Мерзлотно-гидрогеологические и мелиоративные условия Баргузинской впадины. — Новосибирск: Наука, 1988. — 126 с.
14. Почвы Баргузинской котловины / Отв. ред. С.С. Трофимов. — Новосибирск: Наука, 1983. — 270 с.
15. Убугунов В.Л., Убугунова В.И. Почвообразующие породы — ключ к пониманию самобытности почвообразования в Западном Забайкалье // Природа Внутренней Азии. — 2017. — № 4 (5). — С. 37–50.
16. Плюснин А.М., Замана Л.В., Шварцев С.Л., Токаренко О.Г., Чернявский М.К. Гидрогеохимические особенности состава азотных терм Байкальской рифтовой зоны // Геология и геофизика. — 2013. — № 5. — С. 647–664.

17. Шварцев С.Л., Замана Л.В., Плюснин А.М., Токаренко О.Г. Равновесие азотных терм Байкальской рифтовой зоны с минералами водовмещающих пород как основа для выявления механизмов их формирования // Геохимия. — 2015. — № 8. — С. 720–733.
18. Агрехимические методы исследования почв / Ред. А.В. Соколов. — М.: Наука, 1975. — 656 с.
19. Хитров Н.Б. Руководство по лабораторным методам исследования ионно-солевого состава нейтральных и щелочных минеральных почв. — М.: Изд-во ГОСНИТИ, 1990. — 236 с.
20. Засоленные почвы России / Отв. ред. Л.Л. Шишов, Е.И. Панкова. — М.: Академкнига, 2006. — 854 с.
21. Касимов Н.С., Власов Д.В. Кларки химических элементов как эталоны сравнения в экогеохимии // Вестн. Моск. ун-та. Сер. География. — 2015. — № 2. — С. 7–17.
22. Kabata-Pendias A. Trace Elements in Soils and Plants. 4th ed. — Boca Raton; London; New York: Taylor and Francis Group, LLC, 2011. — 505 p.
23. Иванов Г.М. Микроэлементы-биофилы в ландшафтах Забайкалья. — Улан-Удэ: Изд-во Бурят. науч. центра СО РАН, 2007. — 239 с.
24. Классификация и диагностика почв России / Ред. Г.В. Добровольский. — Смоленск: Ойкумена, 2004. — 342 с.
25. Скляров Е.В., Склярова О.А., Меньшагин Ю.В., Данилова М.А. Минеральные озера Забайкалья и Северо-Восточной Монголии: особенности распространения и рудогенерирующий потенциал // География и природ. ресурсы. — 2011. — № 4. — С. 29–39.
26. Плюснин А.М., Чернявский М.К., Посохов В.Ф. Условия формирования гидротерм Баргузинского Прибайкалья по данным микроэлементного и изотопного состава // Геохимия. — 2008. — № 10. — С. 1063–1072.
27. Гладков А.А. Особенности почвообразования в Баргузинской котловине // Почвоведение. — 1985. — № 3. — С. 20–28.
28. Ubugunov V.L. Hydromorphic solonchaks of northern Buryatia (Russia) // Central Asian Environmental and Agricultural Problems, Potential, Solutions: International Conference, Darhan-Uul, Mongolia. — Ulan Bator: Mongolian State University of Agriculture, 2016. — P. 151–156.
29. Николаев А.В. Источники Баргузина и их минеральные образования // Труды минерал. музея АН СССР. — 1929. — Т. 3. — С. 50–132.
30. Сугрובה Н.Г., Сугрбов В.М. Изменение режима термопроявлений Долины гейзеров под влиянием циклона «Эльза» // Вопросы географии Камчатки. — 1985. — Вып. 9. — С. 88–94.
31. Пинегина Т.К., Делемень И.Ф., Дроздин В.А., Калачева Е.Г., Чирков С.А., Мелекесцев И.В., Двигало В.Н., Леонов В.Л., Селиверстов Н.И. Камчатская Долина гейзеров после катастрофы 3 июня 2007 г. // Вестн. ДВО РАН. — 2008. — № 1. — С. 33–45.
32. Черноусенко Г.И., Панкова Е.И., Калинина Н.В., Убугунова В.И., Рухович Д.И., Убугунов В.Л., Цыремпилов Э.Г. Засоленные почвы Баргузинской котловины // Почвоведение. — 2017. — № 6. — С. 652–671.
33. Плюснин А.М., Суздальницкий А.П., Адушинов А.А., Миронов А.Г. Формирование травертинов из карбонатных и азотных гидротерм Байкальской рифтовой зоны // Геология и геофизика. — 2000. — Т. 41, № 4. — С. 546–552.
34. Татаринцов А.В., Яловик Л.И., Намсараев З.Б., Плюснин А.М., Константинова К.К., Жмодик С.М. Роль бактериальных матов в петрогенезе и образовании рудных минералов травертинов азотных гидротерм Байкальской рифтовой зоны // Докл. РАН. — 2005. — Т. 403, № 5. — С. 564–570.
35. Лопатовская О.Г. Почвы влияния минеральных источников предгорий Восточного Саяна // Почвоведение. — 2009. — № 8. — С. 911–916.
36. Басков Е.А., Суриков С.Н. Гидротермы Земли. — Л.: Недра, 1989. — 243 с.

Поступила в редакцию 03.06.2019

После доработки 10.07.2019

Принята к публикации 25.12.2019