



DOI: 10.26898/0370-8799-2019-2-1

УДК: 540.631.4.633

## ЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ ПОЧВ ЗАСОЛЕННЫХ АГРОЛАНДШАФТОВ ПРИЧАНОВСКОЙ ДЕПРЕССИИ И ИХ САНИТАРНО-ГИГИЕНИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА

<sup>1,2</sup> Добротворская Н.И., <sup>1,3</sup> Семендяева Н.В., <sup>4</sup> Морозова А.А.

<sup>1</sup> Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук  
Новосибирская область, р.п. Краснообск, Россия

<sup>2</sup> Сибирский государственный университет геосистем и технологий  
Новосибирск, Россия

<sup>3</sup> Новосибирский государственный аграрный университет  
Новосибирск, Россия

<sup>4</sup> Институт почвоведения и агрохимии СО РАН  
Новосибирск, Россия

**Для цитирования:** Добротворская Н.И., Семендяева Н.В., Морозова А.А. Элементный состав почв засоленных агроландшафтов Причановской депрессии и их санитарно-гигиеническая оценка // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2019. Т. 49. № 2. С. 5–15, DOI: 10.26898/0370-8799-2019-2-1

**For citation:** Dobrotvorskaya N.I., Semendyaeva N.V., Morozova A.A. Elementnyi sostav pochv zasolennykh agrolandshtov Prichanovskoi depressii i ikh sanitarno-gigienicheskaya otsenka [The elemental composition of soils of saline agrolandscapes of the Prichanovskaya depression and their sanitary and hygienic assessment] *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoy nauki* [Siberian Herald of Agricultural Science], 2019, vol. 49, no. 2, pp. 5–15, DOI: 10.26898/0370-8799-2019-2-1

### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

### Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Изучен элементный состав почв в условиях мезорельефа бывшей акватории Юдинского плеса озера Чаны. Исследование проводилось в двух почвенных разрезах, находящихся в геохимическом сопряжении: лугово-черноземной слабоосолоделой супесчаной почве в элювиальной позиции ландшафта и лугово-болотной солончаковой тяжелосуглинистой в аккумулятивной. Почвы существенно различаются как по окислительно-восстановительным, так и по кислотнo-щелочным условиям: распределению гумуса в почвенном профиле, величинам pH, содержанию физической глины, емкости катионного обмена. Распределение преобладающего числа макро- и микроэлементов (за исключением кремния) в засоленном агроландшафте Причановской депрессии характеризуется их накоплением в лугово-болотной солончаковой тяжелосуглинистой почве

## THE ELEMENTAL COMPOSITION OF SOILS OF SALINE AGROLANDSCAPES OF THE PRICHANOVSKAYA DEPRESSION AND THEIR SANITARY AND HYGIENIC ASSESSMENT

<sup>1,2</sup> Dobrotvorskaya N.I.,

<sup>1,3</sup> Semendyaeva N.V., <sup>4</sup> Morozova A.A.

<sup>1</sup> Siberian Research Institute of Agriculture and Chemicalization of Agriculture of the Siberian Federal Scientific Center for Agro-BioTechnologies of the Russian Academy of Sciences

Krasnoobsk, Novosibirsk region, Russia

<sup>2</sup> Siberian State University of Geosystems and Technology

Novosibirsk, Russia

<sup>3</sup> Novosibirsk State Agrarian University,

Novosibirsk, Russia

<sup>4</sup> Institute of Soil Science and Agrochemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Russia,

Novosibirsk, Russia

The elemental composition of the soil was studied in the mesorelief of the former water area of the Yudinsky stretch of Lake Chany. The study was carried out in two soil sections that are in geochemical conjugation: meadow-chnozem weakly-solodic loamy sand soil in the eluvial landscape position and meadow-marsh saline heavy-loamy soil in the accumulative landscape. Soils differ significantly in both redox and acid-base conditions: the distribution of humus in the soil profile, pH values, the content of physical clay, cation exchange capacity. Distribution of the predominant number of macro- and microelements (with the exception of silicon) in the saline

в результате водной миграции и последующего закрепления в виде малоподвижных соединений. Содержание элементов в аккумулятивной позиции в среднем в 2–3 раза выше, чем в элювиальной. Макроэлементы железо и алюминий мигрируют вниз по рельефу в виде полоторных оксидов в составе илистой фракции. Накопление кальция и магния связано с карбонатизацией почвенного профиля. Микроэлементы цинк, медь, кадмий, свинец осаждаются на щелочном барьере в профиле лугово-черноземной почвы на глубине 95 см и ниже, в лугово-болотной солончаковой почве с поверхности, молибден концентрируется в верхних горизонтах почвенного профиля на испарительном барьере, марганец – на гумусовом и глеевом лугово-болотной почвы, никель и кобальт – на гумусовом и глинистом, хром – в солевых аккумуляциях. В почвах как элювиальной, так и аккумулятивной позиции наблюдается дисбаланс меди и молибдена, железа и марганца, кальция и стронция, что свидетельствует о дефиците молибдена и марганца и избытке стронция в почвах ландшафта в целом. Имеет место превышение допустимых санитарно-гигиенических норм содержания стронция и бария в аккумулятивных позициях во всей толще почвенного профиля лугово-болотной солончаковой тяжелосуглинистой почвы. Содержание мышьяка и особенно бора превышает значения ПДК в ландшафте в целом.

**Ключевые слова:** засоленный агроландшафт, геохимическое сопряжение почв, макро- и микроэлементы, санитарно-гигиеническая обстановка

Эффективность интенсификации сельскохозяйственного производства, высокое качество товарной продукции во многом определяются санитарно-гигиеническим состоянием территории, которое формируется не только в процессе эксплуатации земель, но во многом зависит от исходных характеристик используемого ландшафта, его компонентов (почвенного и растительного покрова), способности к самоочищению и самовосстановлению [1, 2]. Барабинская низменность, расположенная в южной части Западно-Сибирской равнины, и наиболее пониженная ее часть Причановская депрессия издавна являются областью интенсивного использования в сельском хозяйстве. В условиях мезорельефа конкретных местных ландшафтов с гривным рельефом перераспределение водных потоков и связанного с ними механического и химического стока способствует дифференциации земель по

агроландшафт of the Prichanovskaya depression is characterized by their accumulation in the meadow-marsh saline heavy loam soil as a result of water migration and subsequent fixation in the form of slow-moving compounds. The content of elements in the accumulative position is on average 2-3 times higher than in the eluvial one. Macroelements iron and aluminum migrate down the relief in the form of sesquioxides in the composition of the clay fraction. The accumulation of calcium and magnesium is associated with the carbonatization of the soil profile. Trace elements zinc, copper, cadmium, lead are deposited on the alkaline barrier in the profile of meadow chernozem soil at a depth of 95 cm and below, in a meadow-marsh saline soil from the surface, molybdenum is concentrated in the upper horizons of the soil profile on the evaporation barrier, manganese - on humus and gley meadow-bog soil, nickel and cobalt - on humus and clay, chrome - in salt accumulations. An imbalance of copper and molybdenum, iron and manganese, calcium and strontium is observed in the soils of both the eluvial and accumulative positions, which indicates a deficiency of molybdenum and manganese and an excess of strontium in the landscape soils in general. There is an excess of permissible sanitary and hygienic standards for the content of strontium and barium in the accumulative positions in the entire thickness of the soil profile of meadow-marsh saline heavy-loamy soil. The content of arsenic and, especially, boron exceeds the MPC values in the landscape as a whole.

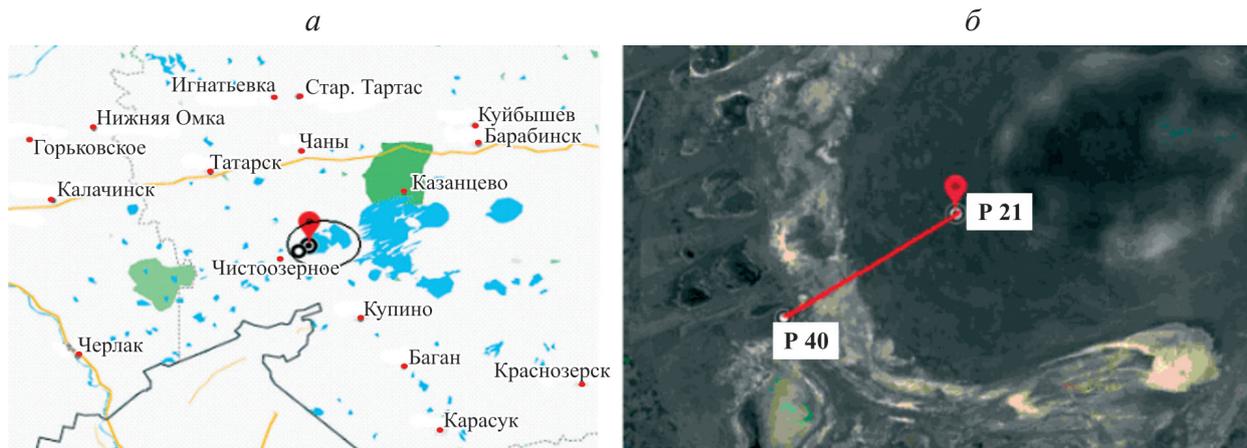
**Keywords:** saline agrolandscape, geochemical conjugation of soils, macro- and microelements, sanitary and hygienic conditions.

составу и содержанию в почвах макро- и микроэлементов, в том числе токсичных элементов и тяжелых металлов. Учитывая, что большие площади лугов используются в сельскохозяйственном производстве в качестве кормовой базы для животноводства, необходимым условием при разработке проектов рационального использования земель становится изучение их санитарно-гигиенического состояния.

Цель исследования – провести сравнительный анализ элементного состава почв в сопряженных позициях ландшафта (на гриве и в подчиненной ей аккумулятивной равнине) и дать их санитарно-гигиеническую оценку.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Исследования проводили в 2017 г. в юго-западной части Причановской депрессии



Район исследований (а) и расположение почвенных разрезов на исследуемом участке (б)  
Study area (а) and location of soil cuts in the study area (б)

Барабинской низменности в непосредственной близости от Юдинского плеса озера Чаны (Чистоозерненский административный район Новосибирской области) (см. рисунок).

Вследствие обсыхания Юдинского плеса в течение последних 40 лет его акватория существенно сократилась, береговая линия отодвинулась к центру плеса, обнажающееся дно постепенно осваивается галофитной болотной растительностью [3, 4].

Почвенные образцы отобраны из двух почвенных разрезов. Первый из них (Р 40) заложен на вершинной части окраины гривы на высоте 120 м над уровнем моря (координаты 54.745889° с. ш., 76.760694° в. д.). Территория представляет собой суходольный луг, в травянистом покрове преобладают подмаренник, полынь эстрагонная, синеголовник плоский, мятлик луговой, чабрец, подорожник, ковыль. Почва лугово-черноземная обыкновенная слабоосолодевшая среднесиловатая супесчаная.

Второй разрез находился в геохимическом подчинении у первого, абсолютная отметка над уровнем моря 103 м (координаты 54.781133° с. ш., 76.839528° в. д.). Грива резким уступом переходит к полого-наклонной поверхности высохшего дна Юдинского плеса, на которой сформировался болотно-солончаковый луг. Растительность галофитная (горькуша, осот, тростник, вейник незамечаемый). Грунтовая вода обнаруживается

на глубине 60 см. Почва лугово-болотная солончаковая тяжелоглинистая.

В почвенных образцах определено содержание гумуса, рН почвы, содержание обменных катионов и водорастворимых солей, выявлен гранулометрический состав почвы. Данные исследования проведены методами, общепринятыми в почвоведении. Валовое содержание макроэлементов (Si, Fe, Al, Ca, Mg, Na, P) и микроэлементов (Pb, As, Cd, Ba, Br, Mn, Cu, Cr, Mo, V, Zn, Co, Sr, Ni) в отобранных почвенных образцах определено методом атомной спектроскопии на приборе ДАЭП (двухлучевой атомно-эмиссионный плазмотрон).

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Геохимические свойства элементов и их соединений, миграционная способность, трансформация соединений в малоподвижные формы зависят от физико-химической обстановки в почвах, в частности кислотно-щелочных и окислительно-восстановительных условий в почвенном профиле. Исследование показало, что почвы разных местоположений существенно различаются по физико-химическим свойствам (см. табл. 1).

В Р 40 отмечается резкая дифференциация профиля по содержанию гумуса. Несмотря на явные морфологические признаки фильтрации гумуса до глубины 50 см, содержание его в горизонте АВ резко снижается. Совокупность легкого грануломет-

**Табл. 1.** Физико-химические свойства исследуемых почв

**Table 1.** Physico-chemical properties of the studied soils

Геохимическая позиция, номер разреза, почва	Горизонт, его мощность, см	Гумус, %	pH <sub>H<sub>2</sub>O</sub>	Физическая глина, %	Обменные катионы			Емкость катионного обмена
					ммоль (экв.)/100 г почвы			
					Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>1+</sup>	
Элювиальная, Р 40, лугово-черноземная осолодевшая супесчаная	A <sub>1</sub> (0–18)	5,7	6,8	14,8	16,15	3,6	0,16	19,91
	A <sub>1</sub> ' (18–30)	4,5	7,1	14,1	14,10	3,9	0,07	18,07
	AB (31–49)	1,1	7,3	36,1	12,35	3,65	0,11	16,11
	B <sub>2</sub> (61–93)	0,5	8,9	29,4	Не определяли		0,17	9,52
	C <sub>ca</sub> (95–105)	0,2	9,0	26,9	»		0,22	10,08
Аккумулятивная, Р 21, лугово-болотная солончаковая тяжелоглинистая	Ад (0–7)	5,9	8,7	72,2	»		4,35	35,64
	A <sub>1g</sub> (7–33)	2,8	9,0	88,1	»		9,14	29,70
	Bg (33–60)	2,8	8,6	66,1	»		18,27	27,72
	G (60–75)	2,5	8,9	51,1	»		23,05	27,72

рического состава с нейтральной реакцией почвенного раствора, невысокая емкость катионного обмена не создают условий для накопления элементов. В то же время уже при pH 6,8 в осадок выпадает гидроксид кобальта Co(OH)<sub>2</sub> [5].

В Р 21 содержание гумуса до глубины 60 см близко к 3%, хотя высокая гумусированность профиля сильно завуалирована процессом оглеения, который придает всему профилю сизо-стальной оттенок. Гумус равномерно распределен по глубине в глинистой толще, что свидетельствует о преобладании его подвижных форм. Верхние горизонты почвенного профиля Р 21 образованы средней и тяжелой глиной с высоким содержанием илистой фракции. Этот факт в совокупности с высоким содержанием гумуса обуславливает значительную поглотительную способность почвы, характеризующую в данном случае емкостью катионного обмена. Реакция почвенного раствора щелочная с поверхности профиля. Такие условия обычно способствуют образованию малоподвижных гидроксидов Mg(OH)<sub>2</sub>, AgOH, Mn(OH)<sub>2</sub>, снижению их миграционной способности и накоплению в почве [2].

В накоплении химических элементов в поверхностных горизонтах почвы велика роль растительности. Преобладание галофитов в фитоценозе часто приводит к аккумуляции

муляции Cu, Zn, Mo, Sr, иногда Fe, Pb, Mn. Кроме того, важным фактором накопления химических элементов в почве при близком залегании грунтовых вод, что обычно для аллювиальных равнин, является испарительная концентрация, характерная для элементов – водных мигрантов. В данном процессе участвуют B, F, I, U, Mo, Li, Sr, Zn и другие [6–8].

Распределение макроэлементов в почвенном профиле исследуемых почв характеризуется определенными закономерностями (см. табл. 2). Содержание Si, Fe и Al тесно связано с гранулометрическим составом почв: вымывание илистой фракции из почв элювиальной позиции и миграция полуторных оксидов Fe и Al в ее составе в виде взвесей вниз по рельефу обуславливают накопление их в тяжелоглинистой лугово-болотной почве. При этом происходит относительное обогащение лугово-черноземной почвы кремнеземом.

Накопление кальция и магния в лугово-болотной почве связано с карбонатизацией профиля, которая подтверждается в полевых условиях вскипанием почвы при воздействии соляной кислоты. Некоторое обогащение лугово-черноземной почвы натрием, возможно, связано с некогда протекавшей фазой осолонцевания профиля. Дифференциация содержания натрия в профиле лугово-болотной почвы свидетельствует о

**Табл. 2.** Профильное распределение валового содержания макроэлементов в почвах ландшафта  
**Table 2.** Profile distribution of gross macronutrient content in landscape soils

Геохимическая позиция, номер разреза, почва	Горизонт, его мощность, см	Макроэлемент, $n \cdot 10^{-4}$ мг/кг							
		Si	Fe	Al	Ca	Mg	Na	P	K
Элювиальная, Р 40, лугово-черноземная осолодевшая супесчаная	A <sub>1</sub> (3–18)	44,9	2,01	6,66	0,98	0,57	1,37	0,078	Не определяли
	A <sub>1</sub> (18–30)	40,1	2,04	5,93	0,84	0,55	1,38	0,064	То же
	AB (35–45)	40,1	1,81	5,64	0,68	0,51	1,27	0,036	»
	B <sub>2</sub> (70–80)	41,0	1,89	6,82	3,08	0,71	1,44	0,045	»
	C <sub>Ca</sub> (90–100)	40,1	1,91	6,17	2,61	0,68	1,29	0,045	»
Аккумулятивная, Р 21, лугово-болотная солончаковая тяжело-глинистая	A <sub>д</sub> (0–7)	26,2	4,06	–	5,88	2,35	0,61	0,096	2,70
	A <sub>1g</sub> (10–20)	24,3	3,53	9,09	7,85	2,42	1,08	0,074	2,16
	B <sub>g</sub> (40–50)	22,0	3,57	8,86	7,76	2,69	1,26	0,059	2,59
	G (65–75)	23,7	3,50	9,51	9,97	2,71	1,37	0,069	2,76

периодической усиленной промывке горизонтов A<sub>д</sub> и A<sub>1</sub> во время половодий. Фосфор, биогенный элемент, коррелирует с распределением гумуса в почвенном профиле обеих почв. В целом следует отметить, что в почвах элювиальных позиций природного засоленного ландшафта содержится меньше макроэлементов (за исключением кремния), чем в профиле почв аккумулятивных позиций примерно в 2–3 раза.

*Микроэлементы* имеют большое биологическое значение в жизни растений, животных и человека. Биогеохимическое районирование Новосибирской области [9, 10] показало, что исследуемый нами район находится в биогеохимической провинции БГХП-1, характеризующейся весьма неблагоприятной биогеохимической ситуацией. Анализ содержания 14 микроэлементов, проведенный нами, позволил разделить их на две группы: с содержанием ниже ПДК и выше ПДК.

В табл. 3 приведены микроэлементы, содержание которых в почве не превышает предельно допустимых концентраций. По геохимическим свойствам первые четыре элемента таблицы – Zn, Cu, Cd, Pb – относятся к водным мигрантам, подвижным в окислительной и глеевой обстановке и менее подвижным в нейтральной и щелочной среде. Они осаждаются на щелочном барьере, что обуславливает концентрирование этих

элементов в горизонте C<sub>Ca</sub> лугово-черноземной почвы и существенное накопление их в лугово-болотной солончаковой в аккумулятивной позиции рельефа. В почвенном профиле как в элювиальной позиции, так и в аккумулятивной эти элементы накапливаются в наиболее гумусированной его части. Аналогичные результаты получены исследователями в Ростовской области [11].

Биологическое значение данных элементов различается. В частности, *цинк* (Zn) входит в состав различных ферментов, участвующих в метаболизме углеводов, белков и фосфатов и в процессе размножения. В высших растениях цинк, как правило, накапливается в семенах, где концентрируется в зародышах.

*Кадмий* (Cd) известен как токсичный химический элемент, однако в последнее время установлено, что он в небольших количествах стимулирует рост животных и человека. Являясь химическим аналогом цинка, кадмий легко поступает в растения через корневую систему. Основной причиной токсичности кадмия для растений является то, что он нарушает активность ферментов, тормозит фотосинтез и затрудняет поступление в растения ряда элементов питания. *Медь* (Cu) принимает участие во многих физиологических процессах, протекающих в живых организмах. В растениях к ним относятся фотосинтез, синтез гемоглобина, дыхание, пере-

**Табл. 3.** Профильное распределение валового содержания микроэлементов в почвах засоленного агроландшафта Причановской депрессии

**Table 3.** Profile distribution of the total content of trace elements in the soils of saline agrolandscape of the Prichanovskaya depression

Геохимическая позиция, номер разреза, почва	Горизонт, его мощность, см	Микроэлемент, мг/кг почвы									
		Zn	Cu	Cd	Pb	Mo	V	Mn	Co	Ni	Cr
Элювиальная, Р 40, лугово-черноземная осолодевшая супесчаная	A <sub>1</sub> (0–18)	49,8	28,5	0,752	17,6	3,4	67,7	855,0	8,18	29,8	76,1
	A' <sub>1</sub> (18–30)	44,6	20,1	0,253	16,2	2,29	70,1	731,0	7,79	28,8	63,4
	AB (31–49)	30,4	18,5	0,167	10,5	2,05	55,0	456,0	5,58	28,8	38,4
	B <sub>2</sub> (61–93)	36,5	19,5	0,321	11,6	2,67	69,5	698,0	6,45	29,5	57,5
	C <sub>Ca</sub> (95–105)	42,0	22,5	0,609	15,5	2,89	66,8	653,0	6,95	31,4	62,3
Аккумулятивная, Р 21, лугово-болотная солончаковая тяжелоглинистая	A <sub>d</sub> (0–7)	106,0	45,6	0,902	26,0	3,69	103,0	1030,0	18,2	69,9	101,0
	A <sub>lg</sub> (7–33)	97,8	47,4	0,606	17,8	2,27	130,0	1090,0	14,2	54,3	121,0
	B <sub>g</sub> (33–60)	89,2	40,3	0,336	14,4	2,42	122,0	909,0	16,8	51,9	107,0
	G (60–75)	94,1	40,2	0,412	19,5	3,29	116,0	1070,0	13,6	49,4	110,0
ПДК в почве		65,0–220,0*	33,0–132,0**	3,0	100,0	5,0	150,0	1500,0	50,0	80,0	100,0

\*65,0 – в песчаных и супесчаных почвах; 110 – в суглинистых и глинистых (кислых); 220 – в суглинистых и глинистых (нейтральных).

\*\*33,0 – в песчаных и супесчаных почвах, 132,0 – в суглинистических и глинистых.

распределение углеводов и др. Медь, как и цинк, отвечает за репродуктивные функции. Ее недостаток приводит к снижению количества и качества зерна. При избытке меди в организме человека возможно развитие атеросклероза, диабета, болезни Альцгеймера и других нарушений нейродегенеративного характера. Установлено, что избыток меди может влиять на развитие недостатка цинка в организме. Интерес к свинцу (Pb) в медицине и в биологии связан исключительно с его токсичностью для всего живого. Однако в настоящее время установлено, что свинец в небольших количествах (для растений от 2 до 6 мг/кг сухого вещества и животных от 0,05 до 0,5 мг/кг) необходим для их нормальной жизнедеятельности [12, 13].

Молибден (Mo) и ванадий (V) в геохимии относятся к группе катионно- и анионогенных элементов с переменной валентностью, что увеличивает число барьеров, на которых эти элементы могут концентрироваться. Молибден более подвижен в щелочных водах степей и пустынь. Здесь наблюдается только испарительная концентрация элемента в верхнем горизонте почвенного профиля [6]. В биосфере молибден, являясь важным биоэлементом, энергично мигрирует и кон-

центрируется. В растениях молибден принимает участие в азотном обмене. Он является катализатором при переводе нитритов в нитраты, обеспечивает фиксацию атмосферного азота клубеньковыми бактериями бобовых культур. Известны явления как дефицита (особенно у бобовых растений), так и избытка молибдена. Важно соотношение меди и молибдена, оптимальным значением которого является 4 : 1. В изученных почвах оно существенно выше, особенно в аккумулятивной позиции, что может привести к недостаточному поступлению молибдена в растения (см. табл. 4).

Ванадий в целом малоподвижный водный мигрант, в восстановительных условиях болот может осаждаться на органических субстратах, с чем, возможно, связано некоторое накопление его в лугово-болотной солончаковой почве (см. табл. 3). Соединения ванадия ядовиты для большинства животных и человека. Вместе с тем установлено, что ванадий принимает участие в фотосинтезе растений. При его нехватке в растениях снижается количество хлорофилла. Как и молибден, ванадий является катализатором в процессах фиксации азота из воздуха клубеньковыми бактериями бобовых растений.

**Табл. 4.** Соотношение меди и молибдена в почвах засоленного природного ландшафта

**Table 4.** Ratio of copper and molybdenum in the soils of saline natural landscape

Лугово-черноземная обыкновенная			Лугово-болотная солончаковая		
Горизонт	Глубина взятия образца, см	Cu/Mo	Горизонт	Глубина взятия образца, см	Cu/Mo
A <sub>1</sub>	3–18	8,4	A <sub>d</sub>	0–7	12,3
A' <sub>1</sub>	18–30	8,8	A <sub>1</sub>	10–20	20,9
AB	35–40	9,0	B	40–50	16,6
B <sub>2Ca</sub>	70–80	7,3	C	60–70	12,2
C <sub>Ca</sub>	95–105	8,0			

Марганец (Mn), кобальт (Co), хром (Cr), никель (Ni) относятся к группе сидерофильных металлов, также обладающих переменной валентностью и геохимическим сродством к железу. Рассматривать их поведение в почвах ландшафта, особенно переувлажненных, можно только во взаимосвязи со свойствами железа [14]. Максимальные количества этих элементов, как и железа, приурочены к наиболее гумусированным горизонтам обоих профилей. Высокая корреляция содержания марганца с гумусом отмечается и в переувлажненных почвах Каменной степи [15]. Марганец и кобальт играют важную роль в организме человека: марганец нужен для выработки организмом инсулина, формирования скелета, работы центральной нервной системы, кобальт влияет на кроветворение. Оптимальное соотношение (Fe/Mn) составляет 1,5–2,0. В изученных почвах оно существенно выше (см. табл. 5).

Кобальт в гумидных ландшафтах вымывается из почв, в ландшафте с сухим климатом дефицит кобальта для растений наблюдается реже, так как на карбонатном барьере и при высоком содержании гумуса кобальт осаждается, переходя в малоподвижные соединения.

Необходимость никеля для жизнедеятельности живых организмов установлена недавно [9]. Он является незаменимым в составе уреазы и потребляется бактериями бобовых культур, стимулирует процессы нитрификации и минерализации соединений азота, в живых организмах никель принимает участие

**Табл. 5.** Соотношение железа и марганца в изучаемых почвах

**Table 5.** Ratio of iron and manganese in studied soils

Лугово-черноземная обыкновенная			Лугово-болотная солончаковая		
Горизонт	Глубина взятия образца, см	Fe/Mn	Горизонт	Глубина взятия образца, см	Fe/Mn
A <sub>1</sub>	3–18	23,5	A <sub>d</sub>	0–7	39,4
A' <sub>1</sub>	18–30	27,9	A <sub>1</sub>	10–20	32,4
AB	35–40	39,7	B	40–50	39,3
B <sub>2Ca</sub>	70–80	27,1	C	60–70	53,6
C <sub>Ca</sub>	95–105	29,2			

в структурной организации ДНК, РНК и белков. Повышенное содержание никеля в кормах приводит к увеличению продукции шерсти. Избыток этого элемента в кормах приводит к слепоте животных, в растительных ценозах появляются низкорослые уродливые формы. В исследуемом ландшафте наблюдается накопление никеля в почвах аккумулятивной позиции, которое так же, как и кобальта, обусловлено его миграцией в составе глинистой фракции.

Хром как химический элемент жизненно необходим живым организмам, поскольку в процессах углеводного обмена он взаимодействует с инсулином, участвует в структуре и функции нуклеиновых кислот и, возможно, щитовидной железы. Однако избыток хрома в организме вызывает различные хронические заболевания. К ним относятся дерматиты, частые аллергии, развитие язвы желудка и нарушение работы печени и почек. Кроме того, увеличивается риск развития злокачественных новообразований. В ландшафте с резко окислительными щелочными условиями этот элемент образует подвижные хроматы  $\text{CrO}_4^{2-}$ , аналогичные сульфат-иону  $\text{SO}_4^{2-}$ . Это обстоятельство обуславливает его накопление в засоленных почвах аккумулятивных позиций в концентрациях, близких или превышающих ПДК (см. табл. 3).

Во вторую группу нами объединены микроэлементы, содержание которых в изучаемых почвах выше ПДК (см. табл. 6). Следу-

**Табл. 6.** Профильное распределение валового содержания стронция, бария, бора и мышьяка в почвах засоленного агроландшафта Причановской депрессии

**Table 6.** Profile distribution of the total content of strontium, barium, boron and arsenic in the soils of the saline agrolandscape of the Prichanovskaya depression

Геохимическая позиция, номер разреза, почва	Горизонт, его мощность, см	Микроэлемент, мг/кг почвы			
		Sr	Ba	B	As
Элювиальная, Р 40, лугово-черноземная осолодевшая супесчаная	A <sub>1</sub> (0–18)	233,0	679,0	53,0	21,6
	A <sub>1</sub> ' (18–30)	191,0	559,0	57,8	20,9
	AB (31–49)	131,0	459,0	38,4	18,9
	B <sub>2</sub> (61–93)	297,0	561,0	53,2	18,0
	C <sub>ca</sub> (95–105)	328,0	543,0	54,3	20,9
Аккумулятивная, Р 21, лугово-болотная солончаковая тяжелоглинистая	Ад (0–7)	1520,0	829,0	104,0	34,5
	A <sub>lg</sub> (7–33)	3080,0	913,0	109,0	13,0
	B <sub>g</sub> (33–60)	2520,0	757,0	104,0	15,5
	G (60–75)	4640,0	1040,0	102,0	23,3
ПДК в почве [9]		Не разработан		25,0	20

ет отметить, что значения ПДК существенно различаются в разных литературных источниках. В частности, для мышьяка (As) предельная концентрация в почве по гигиеническим нормативам России ГН 2.1.7.2041–06<sup>1</sup> составляет 2,0 мг/кг почвы, тогда как за рубежом – 20,0 мг/кг [16].

*Стронций* (Sr) и *барий* (Ba) являются химическим аналогом кальция, биогенного элемента, и участвуют в тех же физиологических процессах в организме животных и человека, составляя конкуренцию кальцию, вытесняя этот элемент из костной ткани и нарушая обменные процессы. Возникающий при этом дефицит кальция обуславливает развитие так называемой урской болезни – остеопороза, заболевания суставов, деформации скелета и др. Барий в отличие от стронция сильно токсичен: при отравлении барием дополнительно поражаются печень, нервная система, сердце и другие органы, резко ухудшаются биохимические показатели крови. При избытке стронция

малодоступным для организмов становится иод. ПДК на барий и стронций в почве не установлены, но согласно исследованиям В.В. Ковальского<sup>2</sup> критическим уровнем содержания стронция в почве следует считать 600 мг/кг. Стронциево-кальциевый баланс (Ca/Sr) в наиболее благополучных районах, например в Курской области, равен 200, а в эндемических районах Амурской области он снижается до 3,5. ПДК бария в питьевой воде<sup>3</sup> составляет 0,1 мг/л, стронция – 0,2 мг/л. В исследованных нами почвах наибольшее содержание бария и стронция характерно для аккумулятивной позиции, причем максимум приходится на гумусово-аккумулятивный и карбонатный горизонты. Соотношение кальция и стронция варьирует в пределах 23–103 в лугово-черноземной почве и 32–54 в лугово-болотной солончаковой.

*Бор* (B). Биологические функции бора в растениях связаны с метаболизмом углеводов, переносом сахаров через мембраны, синтезом нуклеиновых кислот и фитогор-

<sup>1</sup>Постановление от 23 января 2006 года № 1 «О введении в действие гигиенических нормативов ГН 2.1.7.2041-06 (с изменениями на 26 июня 2017 года)». [Электронный ресурс]: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=299876>

<sup>2</sup>Ковальский В.В. Успехи изучения микроэлементов в животноводстве СССР // Микроэлементы в биосфере и их применение в сельском хозяйстве и медицине Сибири и Дальнего Востока. Улан-Удэ, 1973. С. 30–40.

<sup>3</sup>СанПиН 2.1.4.1074–01 Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества / Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 26 сентября 2001 г. № 24 «О введении в действие санитарных правил». [Электронный ресурс]: <http://www.vashdom.ru/sanpin/2141074-01>

монов. На юге Западной Сибири недостатка бора для растений практически нет. Почвы богаты этим микроэлементом, а избыток бора здесь – частое явление, особенно на засоленных почвах [17].

ПДК бора в питьевой воде – 0,5 мг/л. Избыток бора в почвах Барабинской равнины представляет серьезную экологическую проблему как для растений, так и для животных и человека. Высокая концентрация бора в засоленных почвах способствует снижению не только урожая, но и вызывает борный энтерит – эндемическое заболевание желудочно-кишечного тракта у животных и людей.

*Мышьяк* – важный биоэлемент, но при незначительном превышении кларка является сильным ядом. Биологическая роль мышьяка связана с тем, что он по химическим свойствам близок к фосфору и может замещать его в отдельных биохимических реакциях. Мышьяк – энергичный водный мигрант, но оседает на глинистых породах. Вместе с тем известно, что при возникновении восстановительных условий, характерных для переувлажненных почв, резко увеличивается растворимость соединений мышьяка [14, 18].

## ВЫВОДЫ

1. Распределение преобладающего числа макро- и микроэлементов (за исключением кремния) в засоленном агроландшафте Причановской депрессии характеризуется их накоплением в лугово-болотной солончаковой почве аккумулятивной позиции в результате водной миграции и последующего закрепления в виде малоподвижных соединений. Содержание элементов в аккумулятивной позиции в среднем в 2–3 раза выше, чем в элювиальной.

2. Геохимическим фактором аккумуляции макроэлементов является их осаждение на гумусовом (Р), глинистом (Fe, Al), карбонатном (Ca, Mg) барьерах.

3. Распределение микроэлементов в ландшафте определяется их отношением к окислительной обстановке и щелочной среде, характерной для исследуемых почв. Цинк, медь, кадмий и свинец осаждаются на

щелочном барьере лугово-болотной солончаковой почвы, молибден концентрируется в верхних горизонтах почвенного профиля на испарительном барьере, марганец – на гумусовом, никель и кобальт – на гумусовом и глинистом, хром – в солевых аккумуляциях.

4. В почвах как элювиальной, так и аккумулятивной позиции наблюдается дисбаланс меди и молибдена, железа и марганца, кальция и стронция, что свидетельствует о дефиците молибдена и марганца и избытке стронция в почвах ландшафта в целом.

5. Имеет место превышение допустимых санитарно-гигиенических норм содержания стронция и бария в аккумулятивных позициях, бора и мышьяка в ландшафте в целом.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Глазовская М.А. Типы почвенно-геохимических сопряжений // Вестник МГУ. Сер. геогр., 1969. № 5. С. 3–12.
2. Перельман А.И. Геохимия ландшафтов: монография. М.: Высшая школа, 1975. 341 с.
3. Мирошниченко Н.В. Влияние изменения общей увлажненности территории на процесс почвообразования в Чановской депрессии // Пульсирующее озеро Чаны. Л.: Наука, 1982. С. 169–185.
4. Казанцев В.А., Магаева Л.А., Устинов М.Т., Якутин М.В. Формирование и эволюция почв обсыхающих территорий соленых озер (на примере озера Чаны) // Сибирский экологический журнал. 2005. № 2. С. 321–339.
5. Пятницкий И.В. Аналитическая химия кобальта: монография. М.: Наука, 1965. 261 с.
6. Перельман А.И. Геохимия: учебник для вузов. М.: Высшая школа, 1989. 528 с.
7. Базилевич Н.И. Миграция веществ с поверхностными и тальми водами в почвах, геохимически сопряженных ландшафтов Барабы // Почвоведение. 1972. № 11. С. 3–17.
8. Школьник М.Я. Микроэлементы в жизни растений: монография. Л.: Наука, 1974. 324 с.
9. Ильин В.Б., Сысо А.И. Микроэлементы и тяжелые металлы в почвах и растениях Новосибирской области: монография. Новосибирск: Издательство СО РАН, 2001. 229 с.
10. Сысо А.И. Закономерности распределения химических элементов в почвообразую-

- щих породах и почвах Западной Сибири: монография. Новосибирск: Издательство СО РАН, 2007. 277 с.
11. Minkina T.M., Fedorov Y.A., Nevidomskaya D.G., Mandzhieva S.S., Chaplygin V.A., Pol'shina T.N. Heavy metals in soils and plants of the don river estuary and the Taganrog Bay coast // *Eurasian Soil Science*. 2017. T. 50. N 9. С. 1033–1047.
  12. Кальницкий Б.Д. Минеральные вещества в кормлении животных: монография. Л.: Агропромиздат, 1985. 207с.
  13. Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях / пер. с англ. М.: Мир, 1989. 439 с.
  14. Vodyanitskii Y.N., Plekhanova I.O. Biogeochemistry of heavy metals in contaminated excessively moistened soils (Analytical review) // *Eurasian Soil Science*. 2014. T. 47. N 3. С. 153–161.
  15. Shcheglov D.I., Gorbunova N.S., Semenova L.A., Khatuntseva O.A. Microelements in soils of conjugated landscapes with different degrees of hydromorphism in the Kamennaya Steppe // *Eurasian Soil Science*. 2013. T. 46. N 3. С. 254–261.
  16. Kloke A. Richtwerte 80. Orientierungsdaten für tolerierbare Gesamtgehalte einiger Elemente in Kulturböden // *Mitteilungen VDLUFA*, 1980. H.1-3. S. 9–11 (цит. по [9]).
  17. Ильин В.Б., Аникина А.П. Область борного засоления в Сибири // *Этюды по биогеохимии и агрохимии микроэлементов*. Новосибирск: Наука, 1977. С. 38–47.
  18. Burton E.D., Bush R.T., Sullivan L.A., Johnston S.G., Hocking R.K. Mobility of arsenic and selected metals during re-flooding of iron and organic-rich acid-sulfate soil // *Chem. Geol.* 2008. Vol. 253. P. 64–73.
- ## REFERENCES
1. Glazovskaya M.A. Typy pochvenno-geokhimicheskikh sopryazhenii [Types of soil geochemical conjugations]. *Vestnik MGU* [Vestnik Moscow State University], Ser. geogr., 1969, no. 5, pp. 3–12. (In Russian).
  2. Perel'man A.I. *Geokhimiya landshaftov* [Geochemistry of landscapes]. M.: Vysshaya shkola Publ., 1975, 341 p. (In Russian).
  3. Miroshnichenko N.V. Vliyanie izmeneniya obshchei uvlazhnennosti territorii na protsess pochvoobrazovaniya v Chanovskoi depressii [Influence of changes in the total moisture content of the territory on the soil formation process in the Chanovsky depression]. *Pul'siruyushchee ozero Chany* [Pulsating Lake Chany]. L.: Nauka Publ., 1982, pp. 169–185. (In Russian).
  4. Kazantsev V.A., Magaeva L.A., Ustinov M.T., Yakutin M.V. Formirovanie i evolyutsiya pochvy obshchayushchikh territorii solenykh ozer (na primere ozera Chany) [Formation and evolution of the soils of the drying areas of salt lakes (using the example of Lake Chany)]. *Sibirskii ekologicheskii zhurnal* [Siberian Journal of Ecology], 2005, no. 2, pp. 321–339. (In Russian).
  5. Pyatnitskii I.V. *Analiticheskaya khimiya kobal'ta* [Cobalt analytical chemistry]. M.: Nauka Publ., 1965, 261 p. (In Russian).
  6. Perel'man A.I. *Geokhimiya: uchebnyk dlya vuzov* [Geochemistry: Textbook for universities]. M.: Vysshaya shkola Publ., 1989. 528 p. (In Russian).
  7. Bazilevich N.I. Migratsiya veshchestv s poverkhnostnymi i talymi vodami v pochvakh, geokhimicheski sopryazhennykh landshaftov Baraby [Migration of substances with surface and thawed waters in soils of geochemically conjugate landscapes of Baraba]. *Pochvovedenie* [Soil Science], 1972, no. 11, pp. 3–17. (In Russian).
  8. Shkol'nik M.Ya. *Mikroelementy v zhizni rastenii* [Trace elements in plant life]. L.: Nauka Publ., 1974, 324 p. (In Russian).
  9. Il'in V.B., Syso A.I. *Mikroelementy i tyazhelye metally v pochvakh i rasteniyakh Novosibirskoi oblasti* [Trace elements and heavy metals in soils and plants of the Novosibirsk region]. Novosibirsk: Izdatel'stvo SO RAN, 2001. 229 p. (In Russian).
  10. Syso A.I. *Zakonomernosti raspredeleniya khimicheskikh elementov v pochvoobrazuyushchikh porodakh i pochvakh Zapadnoi Sibiri* [Patterns of distribution of chemical elements in soil-forming rocks and soils of Western Siberia]. Novosibirsk: Izdatel'stvo SO RAN, 2007. 277 p. (In Russian).
  11. Minkina T.M., Fedorov Y.A., Nevidomskaya D.G., Mandzhieva S.S., Chaplygin V.A., Pol'shina T.N. Heavy metals in soils and plants of the Don river estuary and the Taganrog Bay coast. *Eurasian Soil Science*. 2017. vol. 50, no. 9, pp. 1033–1047.
  12. Kal'nitskii B.D. *Mineral'nye veshchestva v kormlenii zhivotnykh* [Mineral substances in ani-

- mal feeding]. L.: Agropromizdat Publ., 1985, 207 p. (In Russian).
13. Kabata-Pendias A., Pendias Kh. *Mikroelementy v pochvakh i rasteniyakh* [Trace Elements in Soils and Plants] / per. s ang. M.: Mir Publ., 1989. 439 p. (In Russian).
14. Vodyanitskii Y.N., Plekhanova I.O. Biogeochemistry of heavy metals in contaminated excessively moistened soils (Analytical review). *Eurasian Soil Science*, 2014, vol. 47, no. 3, pp. 153–161.
15. Shcheglov D.I., Gorbunova N.S., Semenova L.A., Khatuntseva O.A. Microelements in soils of conjugated landscapes with different degrees of hydromorphism in the Kamennaya Steppe. *Eurasian Soil Science*, 2013, vol. 46, no. 3, pp. 254–261.
16. Kloke A. Richtwerte 80. Orientierungsdaten für tolerierbare Gesamtgehalte einiger Elemente in Kulturböden. *Mitteilungen VDLUFA*, 1980, H.1-3, pp. 9–11.
17. И́ин В.В., Анкина А.П. Область борного засоления в Сибири. *И́туды по биогеохимии и агрохимии микроэлементов* [Studies on the biogeochemistry and agrochemistry of microelements]. Novosibirsk: Nauka Publ., 1977, pp. 38–47. (In Russian).
18. Burton E.D., Bush R.T., Sullivan L.A., Johnston S.G., Hocking R.K. Mobility of arsenic and selected metals during re-flooding of iron- and organic-rich acid-sulfate soil. *Chemical Geology*, 2008, vol. 253, pp. 64–73.

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

✉ **Добротворская Н.И.**, доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник; **адрес для переписки:** Россия, 630501, Новосибирская область, р.п. Краснообск, СФНЦА РАН, а/я 463; e-mail: dobrotvorskaya@mail.ru

**Семендяева Н.В.**, доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник

**Морозова А.А.**, аспирант

#### AUTHOR INFORMATION

✉ **Dobrotvorskaya N.I.**, Doctor of Science in Agriculture, Head Researcher, **address:** PO Box 463, SFSCA RAS, Krasnoobsk, Novosibirsk Region, 630501, Russia; e-mail: dobrotvorskaya@mail.ru

**Semendyaeva N.V.**, Doctor of Science in Agriculture, Head Researcher

**Morozova A.A.**, post-graduate student

*Дата поступления статьи 11.09.2018*  
*Received by the editors 11.09.2018*