

МИКРОЭЛЕМЕНТЫ ПЕРВОГО КЛАССА ОПАСНОСТИ В ПОЧВАХ ЗАСОЛЕННЫХ АГРОЛАНДШАФТОВ СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ БАРАБИНСКОЙ РАВНИНЫ

¹Н.В. Семендяева, доктор сельскохозяйственных наук, профессор РАН

^{1,2}А.А. Морозова, младший научный сотрудник

³Н.И. Добротворская, доктор сельскохозяйственных наук, профессор

²Н.В. Елизаров, кандидат биологических наук, научный сотрудник

¹ Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий РАН

²Институт почвоведения и агрохимии РАН

³Сибирский государственный университет геосистем и технологий

E-mail: valeri_170886@mail.ru

Ключевые слова: засоленные агроландшафты, катена, микроэлементы, цинк, мышьяк, кадмий, свинец.

Реферат. В Барабинской равнине (Барабе), которая занимает 65,5 % (11,7 млн га) Новосибирской области, в почвенном покрове преобладают засоленные агроландшафты. Их формирование обусловлено геологическим прошлым и геоморфологическим расположением территории. Профильное изучение микроэлементного состава почв, засоленных агроландшафтов проведено в северо-восточной части Барабы по катене, в которой были выделены три позиции: элювиальная (верхняя), транзитная (промежуточная) и аккумулятивная (нижняя). На верхней позиции сформировалась лугово-черноземная почва, на промежуточной – черноземно-луговая солончаковая почва, а на аккумулятивной – солонец глубокий солончаковатый. Изучение микроэлементного состава почв первого класса опасности (Zn, As, Cd и Pd) по катене показало, что их распределение и накопление определяются общими физико-химическими свойствами: гранулометрическим составом, величиной pH, содержанием гумуса и поглощательной способностью. Эти показатели тесно связаны между собой и взаимно обуславливают геохимический элементный состав почв. Валовое содержание цинка, кадмия и свинца ниже ПДК как в горизонте А, так и по профилю почв и не представляет опасности для использования данной территории в сельскохозяйственном производстве. Более того, отмечено низкое содержание цинка, которое может быть повышено за счет внесения цинкосодержащих микроудобрений, что, как показали исследования ряда других авторов, способствует повышению урожайности сельскохозяйственных культур и улучшению его качества. Валовое содержание мышьяка в засоленных агроландшафтах приближается к ПДК как в гумусовом горизонте А, так и по всему профилю. Это связано со значительной подвижностью соединений мышьяка и высокой способностью исследуемых почв катены поглощать их. Данную особенность следует учитывать при сельскохозяйственном использовании засоленных агроландшафтов.

THE TRACE ELEMENTS OF THE 1-ST CLASS OF HAZARD IN SOILS OF SALINE AGRO-LANDSCAPES IN THE NORTH-EASTERN PART OF THE BARABA PLAIN

¹N.V. Semendyaeva, Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Russian Academy of Sciences

^{1,2}A.A. Morozova, Junior Researcher

³N.I. Dobrotvorskaya, Doctor of Agricultural Sciences, Professor

²N.V. Elizarov, Ph.D. in Agricultural Sciences, Researcher

¹Siberian Federal Scientific Center for Agrobiotechnologies RAS

²Institute of Soil Science and Agrochemistry RAS

³Siberian State University of Geosystems and Technologies

Key words: saline agricultural landscapes, catena, trace elements, zinc, arsenic, cadmium, lead.

Abstract. In the Baraba plain (Baraba), which occupies 65.5% (11.7 million ha) of the Novosibirsk region, saline agrolandscapes predominate in the soil cover. Their formation is due to the geological past and geomorphological location of the territory. A profile study of the microelement composition of soils, saline agrolandscapes was conducted in the northeastern part of Baraba along the catena, in which three positions were identified: eluvial (upper), transitional (intermediate) and accumulative (lower). Meadow-chernozem soil was formed at the upper position; black soil-meadow solonchak soil was formed at the intermediate position; deep solonchak soil was formed at the accumulative position. Studying of microelement composition of soils of the first class of danger (Zn, As, Cd and Pd) on catenary has shown that their distribution and accumulation are determined by the general physico-chemical properties, such as: granulometric composition, pH value, humus content and absorbing capacity. These indicators are closely related to each other and mutually condition the geochemical elemental composition of soils. The gross contents of zinc, cadmium and lead are below the MPC (maximum permissible concentration) both in the A horizon and along the soil profile and do not pose a risk to the use of this area in agricultural production. Moreover, the authors note a low zinc content, which can be increased by applying zinc-containing micro-fertilizers. Studies by a number of other authors show an increase in crop yields and improved crop quality with the application of zinc-containing micro-fertilizers. The gross arsenic content in saline agrolandscapes is close to MPC both in the humus horizon A and throughout the profile. This is due to the significant mobility of arsenic compounds and the high capacity of the studied soils to absorb them. This feature should be taken into account in the agricultural use of saline agrolandscapes.

В почвенном покрове Новосибирской области на долю галогенных почв (солончаков, солонцов, солодей и их разновидностей) приходится около 26 % территории. Это почвы крайне низкого качества и на них возможно ведение сельскохозяйственного производства только после проведения мелиоративных работ. Основные массивы их находятся в Барабинской равнине, которая занимает 65,5 % (11,7 млн га) территории Новосибирской области, где сосредоточены засоленные агроландшафты различной степени и типа засоления, оглеения, солонцеватости и солончаковатости.

С экологической точки зрения для сельскохозяйственного использования данной территории важно знать не только физические и физико-химические свойства почв засоленных комплексов, но и микроэлементный состав. Сельскохозяйственная продукция растительного и животного происхождения с избытком или недостатком того или иного микроэлемента, используемая человеком, может нанести серьезный вред его здоровью.

Цель исследований – изучить содержание микроэлементов – цинка, мышьяка, кадмия и свинца (первый класс опасности) в почвах катены засоленного агроландшафта северо-восточной части Барабинской равнины.

Задачи исследований:

1) изучить по катене свойства почв засоленных агроландшафтов (элювиальную, транзитную и аккумулятивную позиции);

2) определить в почвах катены содержание и характер передвижения микроэлементов первого класса опасности;

3) дать санитарно-гигиеническую оценку содержания микроэлементов в отношении здоровья животных и человека.

В изучаемой части территории рельеф представлен чередованием древних междуречий, лощин стока, вытянутых с севера-востока на юго-запад. Междуречья плоские, приподняты над лощинами на 5–15 м. Местами на них встречаются расплывчатые низкие гривы. Микрорельеф западный и мелкобугристый, что способствует перераспределению влаги и легкорастворимых солей с грив в межгривные понижения.

Климат резко-континентальный. Годовое количество осадков составляет от 225 до 400 мм. Гидротермический коэффициент (ГТК) изменяется от 0,6–0,8 до 1,0–1,2. Для климата характерна цикличность. Во время влажных периодов в почвах происходит снижение засоления и окислительно-восстановительных процессов, а в засушливые наблюдаются обратные явления. Почвообразующие породы представлены озерно-аллювиальными и субаэральными лессовидными отложениями преимущественно суглинистого и глинистого гранулометрического состава с разной степенью засоления.

Характерной особенностью растительного покрова Барабы является смена лесной растительности на степную. Березовые колки паркового типа чередуются с остепняющимися лугами. Остепнение территории приводит к усыханию лесных массивов и засолению почвенного покрова.

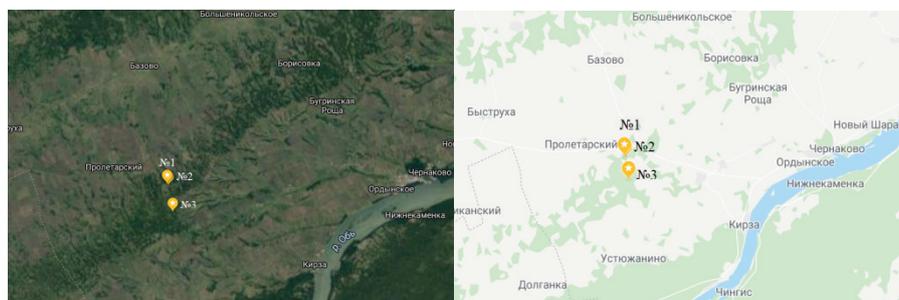
В северо-восточной части Барабы в широкой долине р. Карасук в засоленном агроландшафте были заложены три почвенных разреза.

На мезорельефе (элювиальная позиция) расположен разрез № 1 (рисунок). Его привязка – 54°31'3,0» с.ш. и 80°30'45,6» в.д. Почва – лугово-черноземная обыкновенная выщелоченная среднесуглинистая.

В транзитной зоне выкопан разрез № 2. Привязка – 54°35'14,5" с.ш. и 18°29'45,3" в.д. Почва – черноземно-луговая солончаковая супесчаная, в которой на глубине 80 см четко выражен профиль погребенной почвы. В ней выделяются погребенные горизонты $A_{\text{погр}}$ (80–90 см) и $B_{\text{погр}}$ (100–110 см).

В аккумулятивной зоне заложен разрез № 3. Его привязка – 54°35' 37,4" с.ш. и 81°29'11,5" в.д. Почва – солонец луговой глубокий солончаковатый легкоглинистый.

Выполнено морфологическое описание разрезов, взяты почвенные образцы по генетическим горизонтам, включая почвообразующую породу, в которых сделаны следующие виды анализов по общепринятым методикам: гранулометрический состав – по Качинскому, поглощенные основания – по Шолленбергеру, гумус – по Тюрину, величина pH – потенциметрически. Микроэлементы определены на двухлучевом атомно-эмиссионном плазматроне (ДАЭП) методом атомной спектроскопии [1]. В данной статье рассмотрены результаты анализов валового содержания микроэлементов первого класса опасности: цинка (Zn), мышьяка (As), кадмия (Cd) и свинца (Pb) [2, 3].



Местоположение почвенных разрезов в засоленном агроландшафте северо-восточной части Барабинской равнины

При изучении содержания и экотоксичности микроэлементов в почвах необходимо знать их гранулометрический состав и физико-химические свойства. Эти показатели определяют геохимические свойства почв. Результаты полевых исследований свидетельствуют, что от местоположения почв по рельефу в засоленных агроландшафтах Барабы зависят тип, свойства почв и их гидроморфность (табл. 1).

Таблица 1

Физико-химические свойства почв катены засоленного агроландшафта северо-восточной части Барабинской равнины

Геохимическая позиция, номер разреза, почва	Горизонт, глубина взятия образца, см	Физическая глина (частицы < 0,01 мм)	Гумус, %	pH _{H₂O}	Обменные катионы ммоль-экв/100 г почвы		
					Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺
Элювиальная, разрез №1, лугово-черноземная среднесуглинистая	A _{пах} 0-18	36,5	9,67	6,62	19,0	4,95	0,23
	A ₁ 25-35	31,1	7,74	6,57	12,7	10,80	0,21
	AB 50-60	53,5	1,29	6,26	10,5	8,05	0,24
	B ₁ 70-80	53,9	Не опр.	6,71	13,1	6,95	0,41
	B _к 110-120	56,3	Не опр.	8,40	9,75	9,05	0,76
Транзитная, разрез №2, черноземно-луговая солончаковатая супесчаная	A 0-10	14,0	10,75	7,90	11,6	21,4	0,86
	A ₁ 10-24	8,8	4,51	8,20	13,4	23,2	3,39
	AB _г 30-40	21,4	1,00	8,30	9,2	21,1	4,20
	B _г 50-60	22,6	0,55	8,44	9,0	19,0	3,61
	A _{пог} 80-90	53,3	0,86	8,91	9,9	11,30	7,91
B _к 100-110	56,1	0,59	9,13	6,0	8,90	6,61	
Аккумулятивная, разрез №3, солонец луговой глубокий солончаковатый тяжелосуглинистый	A 0-20	60,6	5,16	9,8	2,25	18,25	5,45
	B ₁ 20-30	60,2	2,58	10,12	1,55	11,15	7,36
	B ₂ 30-50	41,2	0,86	10,16	1,75	8,05	5,07
	B ₃ 50-60	41,2	Не опр.	10,00	1,75	8,90	5,52
B ₄ 70-80	54,6	Не опр.	10,04	2,50	9,65	6,53	

Из данных табл. 1 видно, что почвы катены имеют различный гранулометрический состав не только в горизонте А, но и по всему профилю. На элювиальной позиции в горизонте А_{пах} он среднесуглинистый, к низу увеличивается до тяжелосуглинистого, в транзитной зоне в погребенной почве облегчается до супесчаного на глубину 60 см, а затем возрастает до тяжелосуглинистого. В почве аккумулятивной позиции гранулометрический состав в верхних горизонтах легкоглинистый и среднеглинистый, затем облегчается до легкоглинистого.

Почвы изучаемой катены относятся к высоко- и среднеобеспеченным гумусом, содержание которого с глубиной резко снижается. Величина pH в метровом слое почвы элювиальной позиции нейтральная, а ниже – щелочная. В транзитной и аккумулятивной зонах по всему профилю величина pH – щелочная, а к низу – сильнощелочная. Гранулометрический состав, содержание гумуса и другие свойства почв катены взаимосвязаны и взаимообуславливают их геохимический элементный состав.

Таблица 2

Профильное распределение валового содержания цинка, мышьяка, кадмия и свинца в почвах засоленного агроландшафта северо-восточной части Барабинской равнины

Геохимическая позиция, номер разреза, почва	Горизонт, глубина взятия образца см	Микроэлементы, мг/кг сухой почвы			
		Zn	As	Cd	Pb
Элювиальная, разрез № 1, лугово-черноземная среднетощая среднесуглинистая	A _{пах} 0-18	78,7	9,3	0,208	13,2
	A ₁ 25-35	95,0	15,8	0,322	12,6
	AB 50-60	99,8	33,0	0,482	22,3
	B ₁ 70-80	95,5	21,2	0,464	17,4
	B _к 110-120	88,8	16,6	0,352	13,2
Транзитная, разрез № 2, черноземно-луговая солончаковая супесчаная	A 0-18	77,6	14,6	0,207	11,2
	A ₁ 10-24	92,4	6,0	0,658	11,6
	AB _q 30-40	55,1	22,8	0,414	4,4
	B _q 50-60	57,0	0,005	0,313	4,8
	A _{погр} 80-90	77,1	21,7	0,318	11,4
B ₁ 100-110	85,9	35,1	1,100	15,8	
Аккумулятивная, разрез № 3, солонец луговой средний солончаковый тяжелосуглинистый	A 0-20	84,0	10,9	0,222	11,5
	B ₁ 20-30	54,1	8,8	0,156	7,1
	B ₂ 30-50	58,6	6,3	0,110	11,0
	B ₃ 50-60	59,5	12,3	0,150	14,6
	B ₄ 70-80	67,0	10,3	0,217	11,9
Кларк		70	5	0,13	16
ПДК		220	20	2,0	130

Цинк (Zn) участвует во многих биохимических процессах живых организмов. Он входит в состав разнообразных ферментов. Принимает участие в процессе размножения. В высших растениях накапливается в зародышах семян, поэтому его недостаток ослабляет процесс формирования генеративных органов и плодоношения. При крайне низком содержании в почве цинка в растениях может наблюдаться полное отсутствие семян.

Дефицит цинка в почве вызывает у растений нарушение углеводородного, фосфатного и белкового обмена, снижает их устойчивость к неблагоприятным факторам окружающей среды [4]. Среднее валовое содержание цинка в почвах мира составляет 70 мг/кг [5], в Новосибирской области – 73, в почвах Приобья и Барабе – от 53 до 75 мг/кг [6]. Наименьшая растворимость соединений цинка в почвах отмечается в интервале pH 5,5–7,5. При увеличении величины pH его растворимость снова возрастает вследствие образования цинкатов, так как отрицательный заряд способствует уменьшению поглощения их почвой [7].

Установлено, что в Новосибирской области практически повсеместно ощущается дефицит данного элемента в почвах, а следовательно, и в растениях, рационах животных и человека [5]. Критически низким содержанием цинка в растениях и кормах считается 20–30 мг/кг сухого вещества [8]. Природного избытка цинка в почвах Новосибирской области не обнаружено [6].

Содержание цинка в почвах катены приведено в табл. 2, из данных которой видно, что его содержание в почвах ниже ПДК (предельно допустимой концентрации) в 2 раза и более. В лугово-черноземной почве элювиальной позиции наименьшее содержание цинка обнаружено в горизонте A_{пах} – 78,7 мг/кг почвы. До глубины 110 см его количество несколько возрастает и по профилю слабо изменяется (99,8–99,5 мг/кг). Ниже 110 см отмечается его дальнейшее уменьшение. В транзитной позиции, где сформировалась погребенная почва, содержание цинка определяется глубиной погребения почвенных горизонтов. Так, в горизонте A (0–10 см) его содержание незначительно, в горизонте A₁ возрастает и приближается к показателю зональной почвы в элювиальной позиции, а затем резко снижается до 55,1–57,0 мг/кг почвы. В погреб-

бенном горизонте $A_{\text{погр}}$ сохраняется примерно такое же количество цинка, как и в верхнем современном горизонте А (77,1 и 78,7 мг/кг почвы соответственно). Затем снова его содержание увеличивается. На наш взгляд, данное распределение чрезвычайно интересно, т.к. оно свидетельствует о том, что в гумусовом горизонте цинка содержится меньше, чем в нижележащих горизонтах, за счет выноса его растениями, поверхностными водами и дефляцией, а передвижение по профилю незначительно.

В аккумулятивной позиции накопления цинка не происходит за счет его слабого передвижения не только по профилю, но и по катене. Здесь содержание цинка практически в 2 раза меньше, чем в почве элювиальной позиции. Наши данные согласуются с данными других исследователей [9–12], которые свидетельствуют о том, что внесение цинковых удобрений не только способствует повышению урожайности сельскохозяйственных культур, но и существенно улучшает качество урожая. При этом улучшается и экологическая обстановка агроландшафтов.

Мышьяк (As) издавна рассматривался как смертельно опасный яд. Однако современными глубокими многочисленными исследованиями установлено, что данный микроэлемент в малых количествах необходим живым организмам и растениям и крайне опасен в увеличенных дозах, впрочем, как и другие микроэлементы. Мышьяк по своим химическим свойствам близок к фосфору. Он принимает участие в процессах брожения, распаде углеводов, гликолизе.

Жизненная необходимость мышьяка в настоящее время, как отмечают В.Б. Ильин и А.И. Сысо [6], доказана только для животных, а для человека и растений его биологическая роль практически не изучена. Однако установлен фитотоксичный уровень валового содержания мышьяка в почвах, который зависит в основном от ее свойств, гранулометрического состава, количества гумуса и поглотительной способности. На легких малогумусных почвах с низкой поглотительной способностью фитотоксичный уровень равен 10–20 мг/кг почвы, на тяжелых высокогумусных он может достигать до 100 мг/кг [13].

ПДК мышьяка в России в песчаных и супесчаных малогумусных кислых почвах находится в пределах 2, а на тяжелосуглинистых и глинистых нейтральных и щелочных – 10 мг/кг почвы. В почвах Новосибирской области среднее валовое содержание мышьяка не превышает ПДК [6]. Однако в засоленных агроландшафтах возможно повышенное его содержание. Как свидетельствуют полученные нами данные, в почвах изученной катены (см. табл. 2) в горизонтах А валовое содержание мышьяка приближается к величине ПДК, а в транзитной позиции оно довольно высокое (14,6 мг/кг). По профилю лугово-черноземной почвы с глубиной количество мышьяка существенно возрастает, достигая максимума в горизонте АВ (33,0 мг/кг), затем снова снижаясь в карбонатном горизонте V_k до 16,6 мг/кг. В транзитной зоне в погребенной черноземно-луговой почве содержание мышьяка в значительной степени определяется гранулометрическим составом и глубиной погребенных генетических горизонтов. Так, в горизонте В погребенной почвы на глубине 100–110 см валовое содержание мышьяка в 1,5 раза превышает ПДК. Это свидетельствует о значительной подвижности данного микроэлемента и его соединений, высокой водной растворимости и большой поглотительной способности гидроморфных аналогов чернозема – лугово-черноземной и черноземно-луговой почв. В аккумулятивной зоне в профиле солонца глубокого содержание мышьяка в верхнем и нижнем горизонтах в пределах ПДК или немного выше, а в горизонтах V_1 и V_2 – несколько ниже ПДК.

Полученные нами данные вполне согласуются с данными В.Б. Ильина и А.И. Сысо [6], которые тоже отмечали в засоленных тяжелосуглинистых почвах повышенное содержание мышьяка. Они связывали данное явление с биогенной аккумуляцией, особенно в горизонтах A_1 и $A_{\text{пах}}$. Кроме того, авторы отмечают, что в пахотных горизонтах аккумуляция химических элементов затушевывается или вообще не проявляется вследствие эрозионных процессов, приводящих к выносу илистой фракции из пахотного слоя.

Таким образом, в почвах засоленных агроландшафтов возможно природное повышенное валовое содержание мышьяка по профилю или его накопление за счет биогенной аккумуляции в верхних гумусовых горизонтах. Это необходимо учитывать при сельскохозяйственном использовании засоленных агроландшафтов.

Кадмий (Cd) включен в международные и отечественные списки загрязняющих веществ, подлежащих контролю. Как и другие микроэлементы, кадмий в микродозах необходим живым организмам, в том числе и человеку, но при повышенных концентрациях он чрезвычайно токсичен. Повышенное содержание кадмия подавляет ферментативную активность и ингибирует микробиологическую деятельность. В растениях избыток кадмия проявляется в задержке роста, повреждении корневой системы и хлорозе листьев. Токсичность кадмия для человека практически в 10 раз выше, чем свинца. Его избыток способствует разрушению эритроцитов крови, нарушению работы почек, кишечника, размягчению костной ткани [6].

По химическим свойствам кадмий близок к цинку, но отличается от него большей подвижностью в кислой среде и меньшей – в щелочной, какими являются засоленные почвы. Кларк кадмия в литосфере – 0,13 мг/кг [5, 14]. В глинах и глинистых породах он равен 0,15, в песках и супесях – 0,03 мг/кг. Его подвижность зависит от реакции среды и окислительно-восстановительного потенциала. В основных типах почв Западной Сибири валовое содержание кадмия составляет 0,07, а в засоленных почвах – выше [16, 17].

Мониторинг содержания кадмия в почвах Барабинской равнины показал, что его концентрации не превышают ПДК, не представляют опасности для окружающей среды и ведения экологически безопасного сельскохозяйственного производства [18]. В.П. Фещенко, изучая валовое содержание кадмия в почвах Барабы в течение 2002–2011 г. в пахотном слое 0–20 см, установила, что с 2002 по 2006 г. оно колебалось от 0,10 до 0,17 мг/кг, а начиная с 2007 по 2011 г. возросло до 0,24–0,41 мг/кг почвы. К сожалению, исследователь не дал этому явлению объяснений [18].

Определение содержания валового кадмия в почвах катены (см. табл. 2) показало, что в гумусовых горизонтах изучаемых почв его содержание примерно одинаково с небольшим увеличением в горизонте А солонца. С глубиной на элювиальной позиции его содержание существенно возрастает. Следует отметить, что на этой позиции обнаружено наибольшее содержание кадмия в профиле почвы по сравнению с другими изучаемыми профилями. Накопления этого элемента в аккумулятивной зоне не обнаружено. В транзитной зоне в погребенном горизонте А (80–90 см) содержание кадмия несколько больше, чем в современном. Заметно передвижение соединений кадмия вниз по профилю и накопление его в горизонте В – погребенном. Однако ни в одном горизонте изученных почв не обнаружено валового содержания кадмия выше ПДК, за исключением оглеенного горизонта В погребенной почвы.

Таким образом, валовое содержание кадмия в почвах засоленных агроландшафтов Барабы не превышает величины ПДК и не представляет опасности для окружающей среды с санитарно-гигиенических позиций.

Свинец (Pb) отрицательно влияет на биологическую активность в почве, ингибирует активность ферментов, снижает интенсивность выделения углерода и численность микроорганизмов [16]. Кларк свинца в земной коре составляет 16,0 мг/кг [5, 14]. В Западной Сибири, по данным В.Б. Ильина [19], фоновое содержание данного элемента около 16,4 мг/кг. По сравнению с другими тяжелыми металлами свинец наименее подвижен. В кислых почвах его подвижность увеличивается, а при их известковании – резко снижается. При высоких значениях рН свинец закрепляется в виде гидрооксида фосфата, карбоната и свинцово-органических комплексов [19].

Высокая концентрация свинца в почвах может быть связана как с природными геохимическими аномалиями, так и с антропогенным воздействием.

Изучение валового содержания свинца в почвах катены в засоленном агроландшафте северо-восточной части Барабы (см. табл. 2) показало, что наибольшее его количество находится на элювиальной позиции в лугово-черноземной среднесуглинистой почве. В горизонте $A_{\text{пах}}$ количество свинца около 13,2 мг/кг почвы, в горизонте АВ – резко возрастает, а затем в карбонатном горизонте B_k снова снижается до 13,2 мг/кг. Такое распределение можно объяснить геохимическими особенностями данной территории и большим засолением в толще почвы 50–80 см. В транзитной зоне, где сформировалась погребенная черноземно-луговая солончаковая почва, по содержанию свинца четко выделяются погребенные горизонты А и В. В горизонтах А и $A_{\text{погр}}$ содержание данного элемента практически одинаково – 11,2–11,4 мг/кг соответственно. Это свидетельствует о большом сходстве данных горизонтов. В верхней наносной части профиля его содержание резко падает до 4,4–4,8 мг/кг, что связано с изменением гранулометрического состава и с резким снижением содержания гумуса. В горизонте В погребенной почвы, наоборот, содержание валового свинца возрастает до 15,8 мг/кг, главным образом за счет его предыдущего накопления и малой подвижности. В аккумулятивной зоне в профиле солонца лугового свинец распределен более или менее равномерно, за исключением горизонта В, где его содержание резко снижается.

Таким образом, в почвах засоленного агроландшафта северо-восточной части Барабинской равнины валовое количество свинца находится значительно ниже ПДК, даже ниже среднего содержания его в почвах Западной Сибири [5] и не представляет опасности для изучаемой территории при сельскохозяйственном использовании.

Статистическая обработка результатов анализов выполнялась в пакете прикладной статистики стандартных программ Excel. В частности, был выполнен корреляционный анализ для оценки корреляции содержания элементов в почвах с гранулометрическим составом и гумусом.

Выявлена корреляционная связь между гранулометрическим составом (содержанием физической глины) и содержанием кадмия в профиле почв в элювиальной и аккумулятивной позициях ($r = 0,7$). В транзитной позиции напротив, между распределением кадмия и физической глиной по профилю наблюдалась отрицательная корреляция ($r = -0,49$). Кроме того, в элювиальной позиции зафиксирована связь между содержанием физической глины и количеством свинца и мышьяка ($r = 0,54-0,58$), в транзитной позиции корреляция содержания свинца и физической глины сохранилась, а мышьяка и физической глины даже усилилась ($r = 0,48$ и $0,75$ соответственно). В аккумулятивной позиции иная ситуация – корреляция мышьяка с физической глиной стала слабее ($r = 0,15$), а со свинцом – обратной ($r = -0,60$). Связь количества цинка по профилю почв с содержанием физической глины в элювиальной и транзитной позициях слабая ($r = 0,35$ и $0,15$), в аккумулятивной позиции – сильнее ($r = 0,45$).

Проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы.

1. В Барабинской равнине, которая занимает 65,5 % (11,7 млн га) территории Новосибирской области, преобладают засоленные агроландшафты. Их почвенный покров представлен почвами различной степени и типа засоления, оглеения и осолодения.

2. Валовое содержание тяжелых металлов первого класса опасности – цинка, мышьяка, кадмия и свинца – в почвах катены северо-восточной части Барабы в пределах Новосибирской области тесно связано с их физико-химическими свойствами: гранулометрическим составом, содержанием гумуса, поглотительной способностью, величиной рН и местоположением по катене.

3. Валовое содержание цинка в почвах засоленного агроландшафта значительно ниже ПДК. Его накопления в профиле почв аккумулятивной позиции не обнаружено. Максимальное содержание отмечено в профиле лугово-черноземной почвы. Кадмий и свинец также находятся в количестве ниже ПДК и не вызывают на исследуемой территории санитарно-гигиенической

напряженности. Низкое содержание цинка можно устранить внесением цинковых удобрений, которые будут способствовать не только повышению плодородия почв, но и улучшат качество сельскохозяйственной продукции.

4. Валовое содержание мышьяка может усугубить санитарно-гигиеническую ситуацию, так как оно равно ПДК, а с глубиной – значительно выше. Это обстоятельство необходимо учитывать при сельскохозяйственном использовании данной территории с санитарно-гигиенической точки зрения.

Работа выполнена по государственному заданию СФНЦА РАН и ИПА СО РАН при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Практикум по агрохимии* / под ред. В.Г. Минеева – М.: Изд-во МГУ, 2001. – 687 с.
2. *ГН 2.1.7.2041–06* Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве. – М., 2009. – 22 с.
3. *СанПиН 2.17.1287-03* Санитарно-эпидемиологические требования к «качеству почвы» (с изменениями от 25 апреля 2007 года). – М., 2007. – 34 с.
4. *Влияние* применения азота, молибдена и цинка на засухоустойчивость яровой пшеницы / И. Захурил, И.В. Верниченко, Л.В. Обуховская, Л.В. Осина // Доклады РАСХН. – 1999. – № 2. – С. 17–19.
5. *Kabata-Pendias A.* Trace elements in soils and plants // 4th Edition – Boca Raton, Fl: CRC Press, 2011. – 548 p.
6. *Ильин В.Б., Сысо А.И.* Микроэлементы тяжелые металлы в почвах и растениях Новосибирской области. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2001. – 229 с.
7. *Пейве Я.В.* Агрохимия и биохимия микроэлементов. – М.: Наука, 1980. – 430 с.
8. *Биологические основы экологического нормирования* / В.И. Башкин, Е.В. Евстафьева, В.В. Снакин [и др.]. – М.: Наука, 1993. – 304 с.
9. *Красницкий В.М., Шмидт А.Г., Цырк А.Ф.* Содержание цинка в почвах Омской области // Плодородие. – 2014. – № 4. – С. 36–37.
10. *Красницкий В.М., Азаренко Ю.А.* Содержание микроэлементов в системе почва – растение в агроценозах Омского Прииртышья // Плодородие. – 2017. – № 5. – С. 28–31.
11. *Noulas C., Tzionvalekas M., Karyotis T.* Zinc in soils, water and food crops // Journal of trace elements in medicine and biology. – 2018. – Vol. 49. – P. 252–260.
12. *Sadeghzaden B.* A review of zinc nutrition and plant breeding // Journal of soil science and plant nutrition. – 2013. – N 13 (4). – P. 905–927.
13. *Кабата-Пендиас А., Пендиас Х.* Микроэлементы в почвах и растениях: пер. с англ. – М.: Мир, 1989. – 439 с.
14. *Виноградов А.П.* Среднее содержание химических элементов в главных типах изверженных горных пород земной коры // Геохимия. – 1962. – № 7. – С. 555–571.
15. *Сысо А.И.* Закономерности распространения химических элементов в почвообразующих горных породах и почвах Западной Сибири. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2007. – 277 с.
16. *Гаевая Е.В., Захарова Е.В., Скипин Л.Н.* Тяжелые металлы в продуктах питания Тюменской области: монография. – Тюмень, 2013. – 146 с.

REFERENCES

1. Mineeva V.G. *Praktikum po agrohimii* (Workshop on agricultural chemistry), Moscow, Izd-vo MGU, 2001, 687 p.
2. GN 2.1.7.2041–06 *Predel'no dopustimye koncentracii (PDK) himicheskikh veshchestv v pochve* (Maximum Permissible Concentrations (MACs) of Chemical Substances in Soil), Moscow, 2009, 22 p.
3. SanPiN 2.17.1287-03 *Sanitarno-epidemiologicheskie trebovaniya k «kachestvu pochvy» (s izmeneniyami ot 25 aprelya 2007 goda)* (Sanitary and epidemiological requirements for “soil quality”), Moscow, 2007, 34 p.
4. Zahuril I., Vernichenko I.V., Obuhovskaya L.V., Osinova L.V., *Doklady RASKHN*, 1999, No. 2, pp. 17–19.
5. Kabata-Pendias A. *Trace elements in soils and plants, 4th Edition – Boca Reton, Fl: CRc Press, 2011, 548 p.*
6. Il'in V.B., Syso A.I. *Mikroelementy tyazhelye metally v pochvah i rasteniyah Novosibirskoj oblasti* (Trace elements heavy metals in soils and plants of the Novosibirsk region), Novosibirsk: Izd-vo SO RAN, 2001, 229 p.
7. Pejve Ya.V. *Agrohimiya i biohimiya mikroelementov* (Agrochemistry and biochemistry of trace elements), Moscow, Nauka, 1980, 430 p.
8. *Biologicheskie osnovy ekologicheskogo normirovaniya* (Biological basis of environmental regulation), V.I. Bashkin, E.V. Evstaf'eva, V.V. Snakin [et al.], Moscow, Nauka, 1993, 304 p.
9. Krasnickij V.M., Shmidt A.G., Cyrk A.F., *Plodorodie*, 2014, No. 4, pp. 36–37. (In Russ.)
10. Krasnickij V.M., Azarenko Yu.A., *Plodorodie*, 2017, No. 5, pp. 28–31. (In Russ.)
11. Noulas C., Tzionvalekas M., Karyotis T., Zinc in soils, water and food crops, *Journal of trace elements in medicine and biology*, 2018, Vol. 49, pp. 252–260.
12. Sadeghzaden B. A review of zinc nutrition and plant breeding, *Journal of soil science and plant nutrition*, 2013, No. 13 (4), pp. 905–927.
13. Kabata-Pendias A., Pendias H., *Mikroelementy v pochvah i rasteniyah* (Trace elements in soils and plants), Moscow, Mir, 1989, 439 p.
14. Vinogradov A.P. *Geohimiya*, 1962, No. 7, pp. 555–571. (In Russ.)
15. Syso A.I. *Zakonomernosti rasprostraneniya himicheskikh elementov v pochvoobrazuyushchih gornyh porodah i pochvah Zapadnoj Sibiri* (Patterns of distribution of chemical elements in soil-forming rocks and soils of Western Siberia), Novosibirsk: Izd-vo SO RAN, 2007, 277 p.
16. Gaevaya E.V., Zaharova E.V., Skipin L.N. *Tyazhelye metally v produktah pitaniya Tyumenskoj oblasti* (Heavy metals in foodstuffs in the Tyumen region), Tyumen', 2013, 146 p.