



УМЕРЕННО ОПАСНЫЕ МИКРОЭЛЕМЕНТЫ В ПОЧВАХ ЗАСОЛЕННЫХ АГРОЛАНДШАФТОВ БАРАБИНСКОЙ РАВНИНЫ

✉ ¹Семендяева Н.В., ^{1,2}Морозова А.А., ²Елизаров Н.В.

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

²Институт почвоведения и агрохимии Сибирского отделения Российской академии наук
Новосибирск, Россия

✉ e-mail: semendyeva@ngs.ru

При освоении адаптивно-ландшафтных систем земледелия особое внимание уделяется изучению эколого-токсикологического и санитарно-гигиенического состояния используемой территории. Особенно это важно для засоленных агроландшафтов, которые широко распространены в Барабинской равнине (Бараба). Исследования проведены в северо-восточной части Барабы в пределах Новосибирской области. Изучены почвы элювиальной (лугово-черноземной), транзитной (черноземно-луговой) и аккумулятивной (солонец глубокий) зон катены. Почвы различались по физико-химическим свойствам и микроэлементному составу. В профиле почв от элювиальной к аккумулятивной зоне увеличивалась щелочность, уменьшилось содержание гумуса и изменялся гранулометрический состав. Эти показатели влияют на микроэлементный состав. Определено содержание умеренно опасных микроэлементов (второго класса опасности): хрома, никеля, кобальта и молибдена. Установлено, что максимальное содержание валового хрома приходится на профиль лугово-черноземной почвы в элювиальной позиции. В пахотном горизонте подвижного хрома менее 0,00001 мг/кг, что не попадает в диапазон определения прибора. Отмечено некоторое передвижение подвижных форм хрома с элювиальной позиции в аккумулятивную. Максимальное содержание валового никеля и кобальта обнаружено в профиле лугово-черноземной почвы, но оно находится в количестве значительно ниже ПДК. По профилю почв валовое содержание никеля и кобальта изменяется незначительно, что свидетельствует об их слабой подвижности. Валовое содержание молибдена в почвах находится в пределах кларка и примерно одинаково по всей глубине. Установлено, что в почвах засоленных агроландшафтов Барабы по катене содержание умеренно опасных микроэлементов никеля и кобальта ниже ПДК и не представляет опасности с эколого-токсикологической точки зрения. Содержание валового хрома и молибдена находится на грани ПДК, поэтому в определенных случаях может возникнуть напряженность эколого-токсикологической обстановки территории. На это следует обращать внимание при сельскохозяйственном использовании засоленных агроландшафтов.

Ключевые слова: микроэлементы, хром, никель, кобальт, молибден, катена, засоленная почва

MODERATELY HAZARDOUS MICROELEMENTS IN THE SOILS OF SALINE AGROLANDSCAPES OF THE BARABA PLAIN

✉ ¹Semendyaeva N.V., ^{1,2}Morozova A.A., ²Elizarov N.V.

¹Siberian Federal Scientific Centre of Agro-BioTechnologies of the Russian Academy of Sciences
Krasnoobsk, Novosibirsk region, Russia

²Institute of Soil Science and Agrochemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences
Novosibirsk, Russia

✉ e-mail: semendyeva@ngs.ru

When developing adaptive-landscape farming systems, special attention is paid to the study of the ecological, toxicological and sanitary-hygienic state of the territory used. This is especially important for saline agro-landscapes, which are widespread in the Barabinskaya plain (Baraba). The studies were conducted in the northeastern part of the Baraba within the Novosibirsk Region. The soils of the eluvial (meadow-chnozem), transit (chnozem-meadow), and accumulative (deep solonetz) zones of the

catena were studied. The soils differed in physicochemical properties and microelement composition. In the soil profile from the eluvial to accumulative zone, alkalinity increased, humus content decreased, and the granulometric composition changed. These indicators affect the microelement composition. The content of moderately hazardous trace elements (hazard class 2): chromium (Cr), nickel (Ni), cobalt (Co) and molybdenum (Mo) were determined. It was found that the maximum content of total chromium falls on the profile of meadow-chernozem soil in the eluvial position. In the arable horizon there is less than 0.00001 mg/kg of mobile chromium, which does not fall within the detection range of the device. Some movement of mobile forms of chromium from the eluvial to accumulative position was noted. The maximum content of total nickel and cobalt was found in the profile of meadow-chernozem soil, but it is in amounts well below the LOC. The total content of nickel and cobalt varies insignificantly across the soil profile, indicating their low mobility. The total content of Mo in soils is within the Clarke range and is approximately the same over the entire depth. It was found that the content of moderately hazardous trace elements of nickel and cobalt in the soils of saline agro-landscapes of Baraba by catena is below the LOC and cannot be a hazard from the ecological-toxicological point of view. The content of total chromium and molybdenum is on the verge of the LOC and therefore, in certain cases, tension in the ecological and toxicological situation of the territory may arise. This should be taken into account in the agricultural use of saline agrolandscapes.

Keywords: microelements, chromium, nickel, cobalt, molybdenum, catena, saline soil.

Для цитирования: Семендяева Н.В., Морозова А.А., Елизаров Н.В. Умеренно опасные микроэлементы в почвах засоленных агроландшафтов Барабинской равнины // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2022. Т. 52. № 1. С. 5–15. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2022-1-1>

For citation: Semendyeva N.V., Morozova A.A., Elizarov N.V. Moderately hazardous microelements in the soils of saline agrolandscapes of the Baraba plain. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki = Siberian Herald of Agricultural Science*, 2022, vol. 52, no. 1, pp. 5–15. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2022-1-1>

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Благодарность

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

Авторы выражают благодарность доктору сельскохозяйственных наук Надежде Ивановне Добротворской за помощь в полевых исследованиях.

Acknowledgements

This work was carried out under the state order of SFSCA RAS and ISSA SB RAS with the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation.

The authors are grateful to Nadezhda Ivanovna Dobrotvorskaya, Doctor of Science in Agriculture, for assistance in field studies.

ВВЕДЕНИЕ

Освоение адаптивно-ландшафтных систем земледелия и точного земледелия потребовало разработки новых, более детальных подходов к использованию почвенного покрова территорий. Данные подходы должны включать всестороннее изучение свойств почв конкретного агроландшафта. При этом особое внимание следует уделять микроэлементному составу, так как он определяет и плодородие, и эколого-гигиеническую обстановку агроландшафта.

В настоящее время для лесостепной зоны разработано агроэкологическое районирование агроландшафтов на примере Новосибирской области¹. В частности, установлено, что в Барабинской равнине (Барабе), которая занимает около 65,5%, или 11,7 млн га Новосибирской области, преобладают засоленные агроландшафты, представленные полугидроморфными и гидроморфными аналогами зональных почв (черноземов) – лугово-черноземными, черноземно-луговыми и луговыми почвами различной степени солон-

¹Добротворская Н.И., Семендяева Н.В., Понько В.А., Иванова М.И. Методология и методика оценки эколого-ресурсного потенциала агроландшафтов Западной Сибири: методическое пособие. Новосибирск: СФНЦА РАН, 2018. 99 с.

чаковатости и солонцеватости в комплексе с солончаками, солонцами и солодьями.

В изучении свойств засоленных почв особое место отводится микроэлементам – тяжелым металлам и металлоидам. Они в небольших количествах крайне необходимы растениям, живым организмам, а также человеку, так как входят в состав ферментов, витаминов, липидов и др. Повышенное и пониженное содержание микроэлементов может вызвать различные заболевания.

Цель исследования – изучить содержание умеренно опасных микроэлементов – хрома, никеля, кобальта и молибдена (второй класс опасности)² – в почвах катены засоленного агроландшафта северо-восточной части Барабы в пределах Новосибирской области.

Задачи исследования:

- изучить морфологические и физико-химические свойства почв по катене (элювиальную, транзитную и аккумулятивную позиции);
- определить в почвах содержание и характер передвижения умеренно опасных микроэлементов;
- дать эколого-гигиеническую оценку содержанию умеренно опасных микроэлементов в почвах засоленных агроландшафтов Барабы для животных и человека.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Исследования выполнены на территории АО «Большеникольское» Чулымского района Новосибирской области. Данная территория представляет собой двухступенчатую озерно-аллювиальную равнину. Северо-восточная ее часть, где проводили исследования, относится к высокой структурно-геоморфологической поверхности, юго-западная – к низкой.

Рельеф северо-восточной части данного района представлен чередованием древних междуречий и лощин стока, вытянутых с северо-востока на юго-запад.

Междуречья плоские, приподнятые над лощинами всего на 5–15 м. Местами здесь

встречаются расплывчатые низкие гряды. Небольшие впадины в ложинах могут быть заняты озерами и болотами. Микрорельеф западный и мелкобугристый, что способствует перераспределению влаги и легкорастворимых солей с гряд в межгрядные понижения³.

Годовое количество осадков колеблется от 225 до 350–400 мм. Гидротермический коэффициент изменяется от 0,6–0,8 до 1,0–1,2. Для Барабы характерна цикличность климата, которая оказывает существенное влияние на состав и свойства почв, особенно на перераспределение легкорастворимых солей. Во время влажных периодов происходит некоторое рассоление почвенных профилей и усиление восстановительных процессов, в засушливые – наблюдаются обратные явления.

Характерная особенность растительного покрова Барабы – смена лесной растительности на степную. Березовые колки паркового типа чередуются с остепняющимися лугами. Остепнение территории приводит к усыханию лесных массивов и засолению почвенного покрова. Периодическое переувлажнение и поднятие минерализованных грунтовых вод способствуют развитию дернового процесса почвообразования и формированию лугово-черноземных, черноземно-луговых и луговых почв различной степени оглеения, засоления, а также развитию почв галогенного процесса почвообразования – солончаков, солонцов и солодей.

В северо-восточной части Барабы в широкой долине р. Карасук были заложены почвенные разрезы по катене (элювиальная, транзитная и аккумулятивная позиции). В них по генетическим горизонтам отобраны почвенные образцы, в которых выполнены следующие виды анализов: гранулометрический состав – по Качинскому, гумус – по Тюрину, величина pH – потенциометрически⁴. Определение валовых и подвижных форм микроэлементов проведено методом атомно-эмиссионной спектроскопии на приборе ДАЭП (двухлучевой атомно-эмиссион-

²ГОСТ 17.4.1.02–83. Охрана природы. Почвы. Классификация химических элементов для контроля загрязнения. М., 1983. 12 с.

³Семендяева Н.В., Галеева Л.П., Мармулев А.Н. Почвы Новосибирской области и их сельскохозяйственное использование: учебное пособие. Новосибирск, 2010. 187 с.

⁴Практикум по агрохимии: учебное пособие; 2-е изд., перераб. и допол. / под ред. В.Г. Минеева. М.: Изд-во МГУ, 2001. 689 с.

ный плазмотрон) (см. сноску 4). Подвижные формы соединений хрома, никеля и кобальта извлекали из почв ацетатно-аммонийным буферным раствором с pH 4,8. Статистическая обработка полученных данных выполнена с применением пакета программ Excel.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

При изучении экотоксичности микроэлементов в почве необходимо знать величину pH, содержание гумуса и гранулометрический состав, так как эти показатели определяют геохимические свойства элементов и их соединений. Характеристика данных свойств почв катены представлена в табл. 1.

В элювиальной позиции зональная лугово-черноземная почва до глубины 80 см имеет нейтральную pH – 6,6–6,7, далее – щелочную. На транзитной позиции черноземно-луговая почва щелочная по всему профилю, причем с глубиной щелочность возрастает. В аккумулятивной – солонце глубоком – почва сильно щелочная: в горизонте А (0–20 см) – 9,8, далее pH равна 10 и более. Содержание гумуса

высокое в горизонтах А почв элювиальной и транзитной позициях – 9,7 и 10,8% соответственно. В аккумулятивной – в солонце глубоком – содержание гумуса снижается до 5%, с глубиной резко уменьшается. Гранулометрический состав различный: в лугово-черноземной почве элювиальной позиции в горизонте А среднесуглинистый, с глубиной – тяжелосуглинистый. В транзитной позиции гранулометрический состав черноземно-луговой почвы супесчаный в горизонте А, затем он утяжеляется до легкосуглинистого и далее происходит его дальнейшее утяжеление. Следует отметить, что такой разнообразный гранулометрический состав характерен для почв, сформированных в поймах рек. Похожая ситуация отмечена и в аккумулятивной зоне, но здесь гранулометрический состав более тяжелый – от среднесуглинистого до легкосуглинистого.

Валовое содержание умеренно опасных химических микроэлементов представлено в табл. 2.

Хром относится к биогенным элементам, которые постоянно присутствуют в клетках

Табл. 1. Физико-химические свойства почв катены засоленных агроландшафтов Барабинской равнины

Table. 1. Physical and chemical properties of catena soils in saline agricultural landscapes of the Baraba plain

Геоморфологическая позиция, № разреза, почва	Горизонт, глубина взятия образца, см	pH _{H₂O}	Гумус, %	Физическая глина, частицы < 0,01%	Краткое название по гранулометрическому составу
Элювиальная, разрез № 1, лугово-черноземная среднесуглинистая	A _{пах} 0–18	6,62	9,67	36,5	Среднесуглинистый
	A ₁ 25–35	6,57	7,74	31,1	»
	AB 50–60	6,26	1,29	53,5	Тяжелосуглинистый
	B ₁ 70–80	6,71	Не опр.	53,9	»
	B _к 110–120	8,40	» »	56,3	»
Транзитная, разрез № 2, черноземно-луговая солончаковая супесчаная	A _д 0–10	7,90	10,75	14,0	Супесчаный
	A ₁ 10–24	8,20	4,51	8,8	Песчаный
	AB 30–40	8,30	1,00	21,4	Легкосуглинистый
	B _q 50–60	8,44	0,55	22,6	»
	A _{погр} 80–90	8,91	0,88	53,3	Тяжелосуглинистый
Аккумулятивная, разрез № 3, солонец глубокий солончаковатый тяжелосуглинистый	B _{погр} 100–110	9,13	0,59	56,1	»
	A 0–20	9,8	5,16	60,6	Среднесуглинистый
	B ₁ 20–30	10,12	2,58	60,2	»
	B ₂ 30–50	10,16	0,86	41,2	Легкосуглинистый
	B ₃ 50–60	10,00	Не опр.	41,2	»
	B ₄ 70–80	10,04	» »	54,6	Среднесуглинистый

растений и животных. Он участвует в синтезе белка в растениях, повышает содержание хлорофилла в листьях. Однако хром высокотоксичный микроэлемент: в небольших количествах он является стимулятором для растений, в больших – ингибитором. При избыточном содержании хром тормозит развитие растений, при очень высоких концентрациях происходит их гибель. Фитотоксичность хрома зависит от валентности, которая определяет его токсичность в почве и доступность растениям. Для растений наиболее доступен Cr^{6+} . Он нестабилен в нормальных почвенных условиях. Обычно в почвах преобладает Cr^{3+} , соединения которого слабо растворяются в кислой среде [1]. В щелочной среде происходит окисление Cr^{3+} до Cr^{6+} с образованием растворимых хроматов. Трехвалентный хром хорошо по-

глощается почвой, поэтому он обладает малой токсичностью.

В почве ПДК Cr^{3+} равно 100 мг/кг, Cr^{6+} – 0,05 мг/кг [2]. Кларк хрома в земной коре равен 200 мг/кг [3], однако валовое содержание его в почвах мира варьирует в широких пределах [4]. В процессе детального изучения кларк хрома менялся в основном в сторону уменьшения [5]. Установлено, что в почвах содержание валового хрома возрастает от сельских поселений (50–58 мг/кг) к городам с развитой индустриальной промышленностью (90–100 мг/кг). Избыток хрома резко снижает биологическую активность почв.

В почвах изученной катены в элювиальной позиции валовое содержание хрома в пахотном горизонте лугово-черноземной почвы составляло 79,5 мг/кг, подвижного – менее 0,00001 мг/кг, что ниже диапазона определения прибора. С глубиной содержа-

Табл. 2. Профильное распределение валового содержания умеренно опасных микроэлементов в почвах засоленных агроландшафтов Барабы

Table. 2. Profile distribution of the total content of moderately hazardous microelements in the soils of saline agricultural landscapes of the Baraba plain

Геоморфологическая позиция разреза, почва	Горизонт, глубина взятия образца, см	Микроэлементы, мг/кг почвы					
		Хром		Никель		Кобальт	Молибден
		валовой	подвижный	валовой	подвижный	валовой	валовой
Элювиальная, разрез № 1, лугово-черноземная среднесуглинистая	A _{пах} 0–18	79,5	0,0	50,1	0,02	14,6	1,24
	A ₁ 25–35	109	«0,1	52,1	0,03	17,6	2,32
	AB 50–60	107	0,12	66,7	0,04	16,3	2,5
	B ₁ 70–80	141	0,12	58,3	0,04	13,4	2,03
	B _к 110–120	102	0,15	51,9	0,04	10,9	2,31
Транзитная, разрез № 2, черноземно-луговая солончаковая супесчаная	A 0–10	51,0	0,14	50,5	«0,01	15,4	3,85
	A ₁ 10–24	66,0	0,14	58,7	0,01	13,3	2,77
	AB 30–40	48,2	0,15	36,4	0,01	7,4	1,83
	B 50–60	50,8	0,18	32,9	0,01	7,0	2,22
	A _ч 80–90	92,0	0,13	52,1	0,02	15,6	1,84
	B _{погр} 100–110	59,8	0,13	47,1	0,03	11,8	1,88
Аккумулятивная, разрез № 3, солонец глупобокый солончаковатый тяжелосуглинистый	A 0–20	74,4	0,32	44,2	0,060	9,9	2,25
	B ₁ 20–30	56,7	0,31	47,4	0,040	10,5	1,31
	B ₂ 30–50	77,1	0,13	43,6	0,020	10,5	2,79
	B ₃ 50–60	83,4	0,21	44,4	0,014	10,5	1,85
	B ₄ 70–80	87,4	0,17	40,1	0,014	8,5	2,02
Кларк [3]		200		40		10	2,0
ПДК ⁵		100		50		50	5,0

⁵Перечень предельно допустимых концентраций (ПДК) и ориентировочно допустимых количеств (ОДК) химических веществ в почве. Издание специальное. М.: Изд-во Госкомсанэпиднадзора России. 1991. 18 с.

ние валового хрома возрастало до 141 мг/кг. Заметного передвижения его по катене не установлено, в транзитной зоне количество с глубиной менялось от 51 до 92 мг/кг. В аккумулятивной зоне валового хрома несколько больше, чем в транзитной, но ниже, чем в элювиальной. Отмечена тенденция незначительного передвижения подвижного хрома из элювиальной в аккумулятивную зону, что, по нашему мнению, связано с передвижением илестых частиц и гумуса с поверхностными водными потоками.

Полученные результаты по содержанию валового хрома в почвах засоленных агроландшафтов Барабы свидетельствуют о том, что его передвижение по катене незначительно. Однако подвижность хрома в верхних гумусовых горизонтах возрастает от элювиальной позиции через транзитную к аккумулятивной за счет увеличения величины рН и передвижения илестых частиц с поверхностными водами. В аккумулятивной зоне происходит его накопление. Содержание как валового, так и подвижного хрома в почвах катены находится ниже ПДК и не способствует загрязнению окружающей среды.

Никель в микроколичествах необходим растениям и живым организмам. Он ускоряет выведение растений из состояния покоя, способствует передвижению азота и прорастанию семян, влияет на активность уреазы. Никель стимулирует фотосинтез, способствует образованию спиральной структуры нуклеиновых кислот, влияет на поглощательную способность корней растений. Однако при его повышенном содержании в почвах происходит угнетение роста растений, в листьях снижается количество хлорофилла [6].

Кларк никеля в почвах равен 40 мг/кг. ОДК (ориентировочно допустимое количество) его валового содержания в песчаных и супесчаных почвах составляет 20 мг/кг, в суглинистых и глинистых (кислых) – 40, суглинистых и глинистых (нейтральных) – 80 мг/кг. ОДК обменной формы (ацетатно-аммонийный буфер, рН – 4,8) – 4 мг/кг почвы [7]. В почвах никель сосредоточен в илестой фракции, как правило, обогащенной монтмориллонитом. С органическим веществом

никель образует растворимые хелатные соединения. Установлено, что по почвенному профилю никель хотя и слабо, но мигрирует в катионной форме в виде истинных растворов, соединений в коллоидной форме и в виде механических взвесей [7]. По данным С.В. Лукина [1], валовое содержание никеля в черноземах Белгородской области равно около 25 мг/кг и с глубиной достоверно не меняется. В Новосибирской области валового никеля в зональных почвах больше – от 32 мг/кг почвы в гумусовых горизонтах до 43–45 мг/кг и более в засоленных ландшафтах [7].

В частности, в профиле почв изучаемой катены в элювиальной позиции содержится наибольшее количество валового никеля: в гумусовом слое – 50,1–52,1 мг/кг почвы; в горизонтах АВ и В возрастает до 66,7–58,3, на глубине 110 см снова снижается до 52 мг/кг (см. табл. 2). В транзитной зоне его содержание в гумусовом слое почвы примерно такое же, как и в элювиальной, и с глубиной понижается. В аккумулятивной зоне наблюдается тенденция к увеличению валового содержания никеля по сравнению с транзитной зоной. Содержание валового никеля в почвах засоленного агроландшафта несколько выше кларка, но значительно ниже ПДК.

Содержание подвижных форм никеля наибольшее в лугово-черноземной почве. По всему профилю оно примерно одинаково, лишь в горизонте А его несколько меньше. В аккумулятивной позиции в верхних гумусовых горизонтах обнаружено большее количество подвижного никеля, что свидетельствует об его передвижении из элювиальной зоны через транзитную, а также некоторое накопление в аккумулятивной.

Таким образом, в изучаемом засоленном агроландшафте Барабы не обнаружено недостатка или избытка никеля. Однако в аккумулятивной позиции возможно его накопление за счет передвижения соединений никеля с поверхностными водами, на что указывают исследования В.Б. Ильина и А.И. Сысо [7]. Никель геохимически связан с кобальтом, так как их атомные массы близки [1].

Кобальт принимает активное участие в физиологических процессах раститель-

ных и живых организмов. Он значительно усиливает азотфиксирующую способность микроорганизмов, синтез хлорофилла, белков и углеводов. Способствует образованию витамина B_{12} , крайне необходимого для живых организмов⁶ [8]. Кларк кобальта равен 10 мг/кг [3, 8, 9]. В почвенном покрове его распределение зависит от состава материнской породы, в почвенном профиле – от содержания физической глины, илистой фракции, оксидов железа и органического вещества, так как эти показатели способны фиксировать и накапливать кобальт. Установлено, что доля веществ, способных фиксировать кобальт в почвах в неподвижные и малоподвижные соединения, составляет 95% от его валового содержания. В природных средах кобальт может находиться в двух состояниях окисленности – Co^{2+} и Co^{3+} , а также в виде комплексного соединения $Co(OH)^{3-}$. Ионы Co^{2+} и Co^{3+} практически полностью фиксируются почвенным поглощающим комплексом, в почвенном профиле более подвижными являются комплексные соединения $Co(OH)^7$ (см. сноски 2–6).

Среднее содержание кобальта в растениях составляет 0,01–0,6 мг/кг сухого вещества. В бобовых растениях его больше, чем в злаковых [10]. При содержании кобальта в почвах менее 5 мг/кг отмечен его недостаток в травянистой растительности. У животных при этом начинают проявляться признаки авитаминоза, замедляется образование гемоглобина, нуклеиновых кислот, белков, появляется эндемический зоб. Критический уровень содержания кобальта в растениях для нормального развития животных равен 0,08–0,1 мг/кг сухой массы растений [3, 11]. Внешний недостаток кобальта в растениях проявляется аналогично нехватке азота – хлорозе листьев, замедлении роста растений и коротком цикле развития.

В природных условиях избыток кобальта в почвах встречается редко. Обычно он накапливается в краях и кончиках листьев,

они белеют и отмирают. Избыток кобальта отрицательно сказывается на животных. Максимально допустимая его концентрация в травах не должна превышать 60 мг/кг сухого вещества.

Токсичность кобальта проявляется в снижении содержания витамина B_{12} и отсутствии плодоношения.

По данным В.Б. Ильина и А.И. Сысо, для почв Новосибирской области в Барабе и в Приобье характерно высокое валовое содержание микроэлементов, что связано с их тяжелым гранулометрическим составом и высоким содержанием гумуса, особенно в лугово-черноземных почвах, а также в засоленных (солонцах и солончаках). В частности, ими установлено, что для почв Барабы характерно повышенное и высокое содержание кобальта [7].

В изученных почвах катены наибольшее содержание валового кобальта сосредоточено в лугово-черноземной почве элювиальной позиции. Его максимум приходится на горизонты А и АВ и соответственно составляет 17,6–16,3 мг/кг почвы (см. табл. 2). В горизонте $A_{\text{пах}}$ содержание валового кобальта несколько ниже, чем в горизонте A_1 , что, вероятно, связано с его передвижением в транзитную зону с водными потоками, содержащими илстые частицы и гумус. Согласно нормативам (см. сноску 5), данное содержание кобальта в почве является высоким и очень высоким (10–15 и 15–22 мг/кг). В нижних горизонтах оно снижается до 13–10 мг/кг. В транзитной зоне черноземно-луговой почвы в верхних гумусовых горизонтах содержание кобальта, несмотря на легкий гранулометрический состав, высокое – 15,4–13,3 мг/кг. Это связано с его передвижением из верхних позиций в нижние, где значительная часть кобальта поглощается, по всей вероятности, органическим веществом почвы. В горизонтах АВ и B_q количество валового кобальта резко снижается до 7 мг/кг сухой почвы. В погребенной

⁶Протопопова Л.Г. Поведение кобальта в системе почва – растения и эффективность кобальтовых удобрений в условиях алтайских равнин и предгорий: дис. ... канд. с.-х. наук. 2002, 232 с.

⁷Битюцкий Н.П. Микроэлементы и растение: учебное пособие. СПб.: Изд-во СПбГУ, 1999. 232 с.

почве его содержание снова возрастает и приближается к содержанию в верхних горизонтах. Данное явление свидетельствует о слабом передвижении кобальта по катене. Он практически весь закрепляется в верхних горизонтах почвы транзитной зоны. В аккумулятивной зоне по всему профилю солонца глубокого валовое содержание кобальта распределено примерно одинаково. Его накопления на какой-либо глубине не обнаружено, хотя валовое количество кобальта согласно градации высокое. Как отмечалось ранее, в щелочной среде подвижность кобальта резко падает, о чем наглядно свидетельствуют полученные нами данные. Подвижного кобальта в исследуемых почвах менее 0,00001 мг/кг, за исключением горизонта А солонца глубокого (0,0118 мг/кг).

Таким образом, все почвы катены засоленных агроландшафтов Барабинской равнины содержат повышенное и высокое содержание валового кобальта. Несмотря на его высокое содержание, он не является загрязнителем окружающей среды (ПДК = 50 мг/кг) и не усугубляет в настоящее время санитарно-гигиеническую ситуацию в засоленных агроландшафтах.

В почвах содержание валового молибдена находится в пределах 0,013–17 мг/кг, среднее значение (кларк) составляет 2 мг/кг [3, 12]. С.Ф. Спицина и др. [13] установили, что для почв Алтайского края характерно низкое содержание валового молибдена (0,1–1,2 мг/кг), что связано с его низким валовым содержанием в почвообразующих породах (0,2–1,4 мг/кг почвы). В верхних гумусовых горизонтах валового молибдена больше за счет биогенного накопления [13]. По данным В.Б. Ильина и др. [14], концентрация молибдена на юге Западной Сибири значительно выше и составляет в среднем около 4,3 мг/кг. Следовательно, почвы здесь характеризуются высоким содержанием данного элемента, тогда как почвы Алтайского края нуждаются во внесении молибденсодержащих микроудобрений.

Среднее содержание молибдена в растениях колеблется в пределах 0,0005–0,002%. Молибден является важным и необходимым

химическим элементом для растений и живых организмов, входит в состав ферментов, отвечающих за азотный обмен, улучшает поглощение растениями фосфора, входит в состав нитрогеназы, которая обеспечивает рост и развитие бобовых и овощных культур. Во время вегетации молибден накапливается в молодых органах растений, в конце вегетации сосредотачивается в семенах. Доступность молибдена для растений зависит от величины рН. В кислых почвах его соединения нерастворимы, в щелочных – доступны растениям. Установлено, что значительная часть молибдена в почве связана с органическим веществом и водными оксидами железа [7].

Как свидетельствуют полученные нами данные (см. табл. 2), в почвах изучаемой катены во всех геоморфологических позициях содержание молибдена находится в пределах кларка – около 2 мг/кг сухой почвы. Отмечено лишь небольшое его накопление в верхнем гумусовом слое за счет повышенного содержания в нем органического вещества [13]. Наши данные несколько отличаются от данных В.Б. Ильина и др. [14, 15], что объясняется высокой щелочностью почв засоленных агроландшафтов (до 10 и более), при которой соединения молибдена становятся подвижными.

Ю.А. Азаренко [16] при изучении подвижных форм микроэлементов в почвах Омского Прииртышья установлено, что наибольшее количество подвижного молибдена находится в солонцах. Далее следуют черноземы, наименьшее количество данного элемента приходится на дерново-подзолистые почвы. Как отмечает автор, в профиле черноземов и лугово-черноземных почв происходит накопление данного элемента в верхних гумусовых горизонтах, уменьшение в горизонтах В и В_к, затем его содержание снова возрастает за счет растворимости данного элемента в щелочной среде.

Таким образом, в почвах засоленных агроландшафтов северо-восточной части Барабы в пределах Новосибирской области валовое содержание молибдена находится в пределах кларка Земли. Наибольшее его

количество приходится на гумусовый слой, в котором молибден закрепляется органическим веществом почвы. Согласно утвержденным санитарно-гигиеническим нормам, его содержание в почвах катены не является опасным для здоровья животных и человека.

Статистическая обработка материала. При использовании корреляционного анализа микроэлементного состава и физико-химических свойств почв выявлена прямая связь между концентрацией гумуса и валовым содержанием кобальта. В элювиальной и транзитной позициях коэффициент корреляции составил 0,55, в аккумулятивной корреляционная связь слабее ($r = 0,18$). По катене между концентрацией гумуса и валовым содержанием хрома зафиксирована обратная корреляционная связь. В элювиальной зоне коэффициент корреляции равен 0,65, транзитной – 0,25, аккумулятивной – 0,53. Кроме того, между содержанием физической глины (частицы $< 0,01\%$) и подвижным никелем выявлена тесная корреляция во всех позициях. Коэффициент корреляции менялся от 0,83 в элювиальной зоне до 0,92 в транзитной и 0,74 в аккумулятивной.

ВЫВОДЫ

1. Изучаемый участок северо-восточной части Барабинской равнины в пределах Новосибирской области является типичным для данной геоморфологической позиции, что позволяет полученные результаты исследований переносить с большой вероятностью на сопредельные территории. Характерная особенность исследуемой территории – наличие в элювиальной зоне катены лугово-черноземных почв, в транзитной – черноземно-луговых различной степени солонцеватости и солончаковатости. В аккумулятивной зоне могут сформироваться солонцы, лугово-болотные и даже болотные почвы различной степени солончаковатости и солонцеватости.

2. Физико-химические свойства почв катены меняются от элювиальной зоны к аккумулятивной следующим образом: pH в профиле почв возрастает от элювиальной позиции к аккумулятивной. Если в лугово-

черноземной почве она нейтральная (в материнской породе щелочная), то в солонце глубоком – сильно щелочная (pH 10 и более). Содержание гумуса в горизонтах А высокое, в горизонтах В оно резко снижается.

3. Гранулометрический состав почв по генетическим горизонтам меняется существенно, что характерно для почв, сформированных на аллювиальных отложениях. Он в значительной степени определяет элементный состав почв.

4. В элювиальной позиции катены в профиле лугово-черноземной почвы минимальное содержание валового хрома приходится на горизонт $A_{\text{пах}}$ – 79,5 мг/кг сухой почвы. Глубже по профилю оно возрастает до 102–141 мг/кг и находится в пределах выше ПДК. Некоторое передвижение хрома по профилю имеет место.

5. Максимальное количество валового никеля и кобальта приходится также на профиль лугово-черноземной почвы, но оно находится в пределах значительно ниже ПДК. От элювиальной к аккумулятивной позиции валовое содержание этих элементов уменьшается. Их количество по профилю почв изменяется слабо, что свидетельствует об их слабой подвижности. Валовое содержание молибдена в изучаемых почвах находится в пределах кларка и примерно одинаково по всей глубине.

6. В изученных засоленных агроландшафтах в почвах по катене содержание никеля и кобальта ниже ПДК и не представляет опасности с эколого-токсикологической точки зрения. Валовое содержание хрома и молибдена находится в пределах ПДК и в определенных случаях может вызвать напряженность эколого-токсикологической обстановки территории. Это следует учитывать при сельскохозяйственном использовании засоленных агроландшафтов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лукин С.В. Хром и никель в почвах Белгородской области // Агрохимический вестник. 2012. № 6. С. 5–6.
2. Лукин С.В. Мониторинг содержания хрома в сельскохозяйственных культурах и почвах //

- Достижения науки и техники АПК. 2011. № 6. С. 54–55.
3. *Водяницкий Ю.Н.* Тяжелые металлы и металлоиды в почвах: монография. М.: Издательство Почвенного института им. В.В. Докучаева, 2008. 85 с.
 4. *Протасова Н.А., Щербakov А.П.* Микроэлементы (Cr, V, Ni, Mn, Zn) в черноземах и серых лесных почвах Центрального Черноземья: монография. Воронеж: Издательство Воронежского государственного университета, 2003. 368 с.
 5. *Bowen H.J.M.* Environmental chemistry of elements. N. J.: Acad. Press, 1979, 333 p.
 6. *Обущенко С.В., Гнеденко В.В.* Мониторинг содержания микроэлементов и тяжелых металлов в почвах Самарской области // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2014. № 7. С. 30–34.
 7. *Ильин В.Б., Сысо А.И.* Микроэлементы и тяжелые металлы в почвах и растениях Новосибирской области: монография. Новосибирск: Издательство СО РАН, 2001. 229 с.
 8. *Елисеева Н.В., Зубкова Т.А., Чехович Э.Е.* Содержание и групповой состав соединений кобальта в почвах рисовых полей Кубани и в других почвах России // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2013. № 2. С. 32–36.
 9. *Алексеев В.В.* Геохимия ландшафта и окружающая среда: монография. М.: Наука, 1990, 142 с.
 10. *Каталымов М.В.* Микроэлементы и микроудобрения: монография. М.: Химия, 1965. 332 с.
 11. *Кабата-Пендиас А., Пендиас Х.* Микроэлементы в почвах и растениях: монография; перевод с английского. М.: Мир, 1989. 439 с.
 12. *Виноградов А.П.* Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почвах: монография. М.: Изд-во АН СССР, 1957. 235 с.
 13. *Спицина С.Ф., Томаровская А.А., Освальд Г.В.* Поведение молибдена в системе почва – растения на территории Алтайского края // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2014. № 2. С. 53–57.
 14. *Ильин В.Б., Сысо А.И., Конарбаева Г.А., Байдина Н.Л., Черевко А.С.* Содержание тяжелых металлов в почвообразующих породах юга Западной Сибири // Почвоведение. 2000. № 9. С. 1086–1090.
 15. *Ильин В.Б., Сысо А.И.* Почвенно-геохимические провинции в Обь-Иртышском междуречье: причины и следствия // Сибирский экологический журнал. 2001. Т. 13. № 2. С. 111–118.
 16. *Азаренко Ю.А.* Закономерности содержания, распределения, взаимосвязей микроэлементов в системе почва – растения в условиях юга Западной Сибири: монография. Омск: Вариант – Омск, 2013. 232 с.
- ## REFERENCES
1. Lukin S.V. Chrome and nickel in soils in Belgorod region. *Agrokhimicheskii vestnik = Agrochemical Herald*, 2012, no. 6, pp. 5–6. (In Russian).
 2. Lukin S.V. Monitoring of the chromium content in crops and lands. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK = Achievements of Science and Technology of AIC*, 2011, no. 6, pp. 54–55. (In Russian).
 3. Vodyanitsky Yu.N. *Heavy metals and metalloids in soils*. Moscow, V.V. Dokuchaev Soil Science Institute Publishing, 2008, 85 p. (In Russian).
 4. Protasova N.A., Shcherbakov A.P. *Trace elements (Cr, V, Ni, Mn, Zn) in chernozems and gray forest soils of the Central Chernozem Region*. Voronezh, Voronezh State University Publishing House, 2003, 368 p. (In Russian).
 5. Bowen H.J.M. Environmental chemistry of elements, N, J. Acad. Press, 1979, 333 p.
 6. Obushchenko S.V., Gnedenko V.V. Monitoring of micronutrient and heavy metal content in soil of Samara region. *Mezhdunarodnyi zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy = International Journal of Applied and Fundamental Research*, 2014, no. 7, pp. 30–34. (In Russian).
 7. Ilyin V.B., Syso A.I. *Trace elements and heavy metals in soils and plants of the Novosibirsk region*. Novosibirsk, Publishing House of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 2001, 229 p. (In Russian).
 8. Eliseeva N.V., Zubkova T.A., Chekhovich E.E. Content and group composition of cobalt compounds in soils of rice fields of Kuban and other soils of Russia. *Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Bulletin of Altai State Agricultural University*, 2013, no. 2, pp. 32–36. (In Russian).

9. Alekseenko V.V. *Geochemistry of landscape and environment*. Moscow, Nauka Publ., 1990, 142 p. (In Russian).
10. Katalymov M.V. *Microelements and micro-fertilizers*. Moscow, Chemistry Publ., 1965, 332 p. (In Russian).
11. Kabata-Pendias A., Pendias H. *Trace elements in soils and plants*: translated from English. Moscow, Mir Publ., 1989, 439 p. (In Russian).
12. Vinogradov A.P. *Geochemistry of rare and trace elements in soils*. Moscow, Publishing house of the Academy of Sciences of the USSR, 1957, 235 p. (In Russian).
13. Spitsina S.F., Tomarovskaya A.A., Oswald G.V. Behavior of molybdenum in soil – plant system in the Altai Region. *Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Bulletin of Altai State Agricultural University*, 2014, no. 2, pp. 53–57. (In Russian).
14. Il'in V.B., Syso A.I., Konarbaeva G.A., Baidina N.L., Cherevko A.S. Heavy metal contents of soil-forming rocks in the south of Western Siberia. *Pochvovedenie = Eurasian Soil Science*, 2000, no. 9, pp. 1086–1090. (In Russian).
15. Ilyin V.B., Syso A.I. Soil-geochemical provinces in the Ob-Irtysh interfluvium: causes and consequences. *Sibirskii ekologicheskii zhurnal = Sibirskiy Ekologicheskii Zhurnal*, 2001, vol. 13, no. 2, pp. 111–118. (In Russian).
16. Azarenka Yu.A. *Patterns of content, distribution, relationships of microelements in the soil-plant system in the conditions of the south of Western Siberia*. Omsk, Omsk Publ., 2013. 232 p. (In Russian).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

✉ **Семендяева Н.В.**, доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник, профессор; **адрес для переписки:** Россия, 630501, Новосибирская область, р.п. Краснообск, а/я 463; e-mail: semendyeva@ngs.ru

Морозова А.А., инженер, младший научный сотрудник; e-mail: valeri_170886@mail.ru

Елизаров Н.В., кандидат биологических наук, старший научный сотрудник; e-mail: elizarov_89@mail.ru

AUTHOR INFORMATION

✉ **Nina V. Semendyaeva**, Doctor of Science in Agriculture, Head Researcher, Professor; **address:** PO Box 463, Krasnoobsk, Novosibirsk Region, 630501, Russia; e-mail: semendyeva@ngs.ru

Anna A. Morozova, Engineer, Junior Researcher; e-mail: valeri_170886@mail.ru

Nikolay V. Elizarov, Candidate of Science in Biology, Senior Researcher; e-mail: elizarov_89@mail.ru

Дата поступления статьи / Received by the editors 30.11.2021
Дата принятия к публикации / Accepted for publication 14.02.2022
Дата публикации / Published 25.03.2022