



## РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ В ПОЧВАХ ЗАСОЛЕННЫХ АГРОЛАНДШАФТОВ БАРАБИНСКОЙ РАВНИНЫ


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

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

<sup>2</sup>Новосибирский государственный аграрный университет  
Новосибирск, Россия

<sup>3</sup>Сибирский государственный университет геосистем и технологий  
Новосибирск, Россия

<sup>4</sup>Институт почвоведения и агрохимии Сибирского отделения Российской академии наук  
Новосибирск, Россия

 e-mail: valeri\_170886@mail.ru

Изучено валовое содержание редкоземельных элементов в профиле почв катены засоленных агроландшафтов Барабинской равнины в пределах Новосибирской области. Определено валовое содержание циркония, иттрия, скандия, галлия, в том числе лантаноидов – церия, лантана и иттербия. Редкоземельные элементы крайне слабо изучены. В настоящее время влияние их на растения, организмы животных и человека активно исследуют, хотя предельно допустимые и ориентировочно допустимые концентрации для них пока не разработаны. Валовое содержание редкоземельных элементов, определяемое в почвах катены, зависит от гранулометрического состава и степени гумусированности почвенных горизонтов. Выявлено, что в изученных почвах они в основном содержатся в количестве кларков земной коры, за исключением лантана в гумусовых горизонтах, где его содержание почти в 1,5 раза (44–48 мг/кг) больше кларка в земной коре (29 мг/кг) и иттербия (в 10 раз больше кларка). По профилю почв отмечено незначительное передвижение редкоземельных элементов как в вертикальном, так и в горизонтальном направлении, что свидетельствует о малой подвижности их соединений. В профиле изучаемых почв из группы редкоземельных элементов преобладает цирконий. Его содержание в гумусовых горизонтах почв элювиальных позиций находится в пределах кларка земной коры, колебания по профилю незначительны. В больших количествах содержится иттербий – от 1,89 до 4,05 мг/кг почвы, что значительно больше кларка земной коры (0,3 мг/кг почвы). Роль лантаноидов в системе почва – растения – животное – человек требует дальнейшего глубокого изучения.

**Ключевые слова:** Барабинская равнина, засоленные агроландшафты, катена, редкоземельные элементы, лантаноиды

## RARE EARTH ELEMENTS IN SOILS OF SALINE AGROLANDSCAPES OF THE BARABA PLAIN

<sup>1</sup>Semendyaeva N.V., <sup>1,2,4</sup>Morozova A.A., <sup>3</sup>Dobrotvorskaya N.I., <sup>4</sup>Elizarov N.V.

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

<sup>2</sup>*Novosibirsk State Agrarian University*

Novosibirsk, Russia

<sup>3</sup>*Siberian State University of Geosystems and Technology*

Novosibirsk, Russia

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

Novosibirsk, Russia

✉ e-mail: valeri\_170886@mail.ru

The total content of rare earth elements in the soil profile of saline agricultural landscapes catena of the Baraba plain within Novosibirsk region was studied. The total content of zirconium, yttrium, scandium, gallium, including lanthanides – cerium, lanthanum and ytterbium was determined. Rare earth elements are extremely poorly analyzed. At present, their influence on plants, organisms of animals and humans is being actively studied, although the maximum permissible and tentatively permissible concentrations for them have not yet been developed. The total content of rare earth elements, determined in the soils of the catena, depends on the granulometric composition and the degree of humus content of the soil horizons. It was revealed that in the studied soils they are mainly contained in the number of clarkes of the earth's crust, with the exception of lanthanum in the humus horizons, where its content is almost 1.5 times (44–48 mg/kg) higher than the clarkes in the earth's crust (29 mg/kg), and ytterbium (10 times higher than the clarkes). Along the soil profile, an insignificant movement of rare earth elements in both vertical and horizontal directions was noted, which indicates a low mobility of their compounds. Zirconium predominates in the profile of the studied soils from the group of rare earth elements. Its content in the humus horizons of soils of eluvial positions is within the clarkes of the earth's crust; variations along the profile are insignificant. Ytterbium is contained in large quantities – from 1.89 to 4.05 mg/kg of soil, which is significantly higher than the clarkes of the earth's crust (0.3 mg/kg of soil). The role of lanthanides in the soil – plant – animal – human system requires further in-depth study.

**Keywords:** Baraba plain, saline agricultural landscapes, catena, rare earth elements, lanthanides.

#### Благодарность

Работа выполнена по государственному заданию СФНЦА РАН и ИПА СО РАН при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации и при поддержке гранта РФФИ № 19-316-90035.

#### Acknowledgments

The work was carried out by the SFSCA RAS and ISSA SB RAS following the state order with financial support from the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation and with the support of RFBR grant № 19-316-90035.

**Для цитирования:** Семендяева Н.В., Морозова А.А., Доброворская Н.И., Елизаров Н.В. Редкоземельные элементы в почвах засоленных агроландшафтов Барабинской равнины // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2021. Т. 51. № 3. С. 5–14. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2021-3-1>

**For citation:** Semendyaeva N.V., Morozova A.A., Dobrotvorskaya N.I., Elizarov N.V. Rare earth elements in soils of saline agrolandscapes of the Baraba plain. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki* = *Siberian Herald of Agricultural Science*, 2021, vol. 51, no. 3, pp. 5–14. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2021-3-1>

#### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

#### Conflict of interest

The authors declare no conflicts of interest.

## ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в связи со сложной экологической ситуацией как в целом в России, так и в Западной Сибири, особое внимание при изучении свойств агроландшафтов стали уделять их микроэлементному составу. Важно знать не только его среднее со-

держание для той или иной территории, но и более подробное для каждого агроландшафта. Полученные данные необходимы для разработки адаптивно-ландшафтных систем земледелия: научно обоснованных систем обработки, севооборотов, удобрений и др. Главная цель научно обоснованных систем земледелия – получение высоких и стабиль-

ных урожаев сельскохозяйственных культур экологически чистых и высокого качества. Это возможно лишь при глубоком знании элементного химического состава почв и почвообразующих пород. Химический состав почв напрямую определяется составом почвообразующих пород, в которых, в свою очередь, сохраняется состав исходных горных пород, что подробно рассмотрено в работах В.Б. Ильина, А.И. Сысо [1, 2]. Для почвенного покрова Новосибирской области характерна большая пестрота валового содержания микроэлементов (тяжелых металлов), которая унаследована от почвообразующих пород. В процессе почвообразования происходит их некоторое перераспределение по почвенному профилю, элементам рельефа и проявляется биогенная аккумуляция в гумусовых горизонтах. Установлено, что основные носители тяжелых металлов – илистые частицы, гумусовые вещества и гидрооксиды [2].

Как утверждал А.П. Виноградов, «...все химические элементы земной коры, в том числе и почв, могут оказаться необходимыми или полезными для растений и живых организмов. В природе не может быть токсичных элементов, есть их токсичные концентрации»<sup>1</sup>.

В настоящее время определенная часть микроэлементов в почвах достаточно глубоко изучена. Разработаны нормативы их опасности для разных территорий, предельно допустимые концентрации, ориентировочно допустимые и др. Однако появились приборы, позволяющие определить более точно большой ряд микроэлементов. Значение некоторых из них для жизни растений, животных и человека пока не установлено, но само постоянное наличие в растениях свидетельствует об их значимости.

В процессе изучения микроэлементов в почвах засоленных агроландшафтов Барабинской равнины методом атомно-эмиссионной спектроскопии определено содержание 37 макро- и микроэлементов.

В данной статье рассмотрено валовое содержание редкоземельных элементов (РЗЭ), значение которых в настоящее время для растений и живых организмов мало изучено.

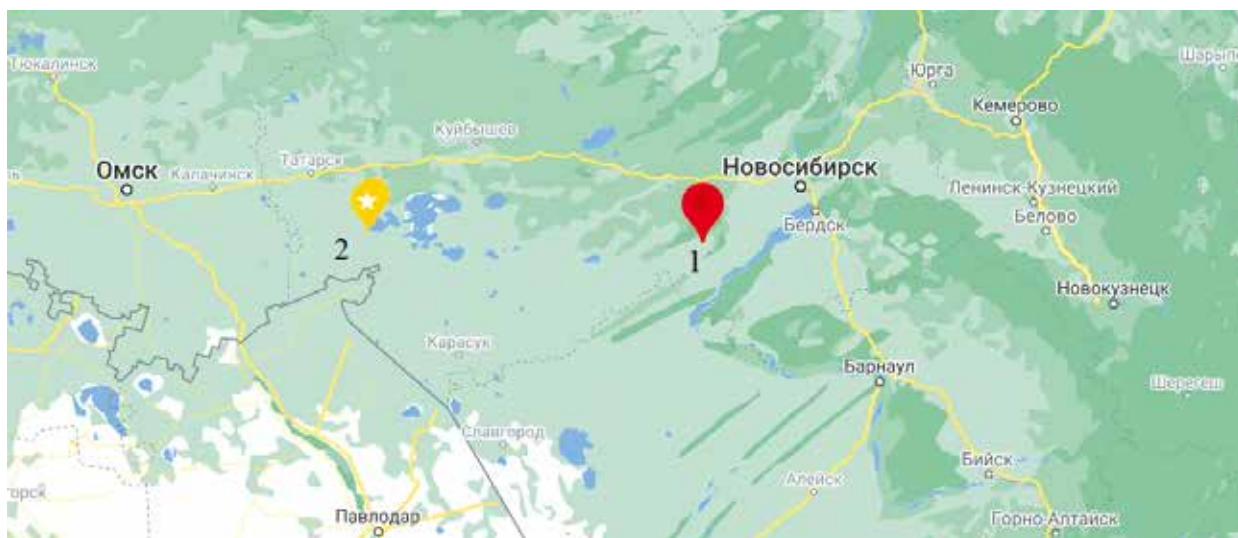
Цель исследования – изучить валовое содержание редкоземельных элементов в профиле почв катены засоленных агроландшафтов Барабинской равнины в пределах Новосибирской области.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Исследования проводили в двух ключевых участках Барабинской равнины: в широкой долине р. Карасук и в бассейне оз. Чаны. Первый участок расположен в Чулымском районе Новосибирской области вблизи с. Большеникольское. В засоленном агроландшафте по катене заложили три почвенных разреза. На элювиальной позиции мезорельефа (пологая грива) расположен разрез № 1. Координаты – 54°31'28,9" с.ш. и 81°29'45,3" в.д., высота над уровнем моря 203,3 м. Почва – лугово-черноземная обыкновенная выщелоченная среднесуглинистая. В транзитной зоне выкопан разрез № 2. Координаты – 54°35'14,5" с.ш. и 81°29'45,3" в.д. Почва – черноземно-луговая солончаковая супесчаная, в которой на глубине 72 см четко выделяется профиль погребенной почвы с горизонтами  $A_{\text{погр}}$  и  $B_{\text{погр}}$ . В аккумулятивной зоне заложили разрез № 3. Координаты – 54°35'37,4" с.ш. и 81°29'11,5" в.д., высота над уровнем моря 229 м. Почва – солонец луговой глубокий солончаковатый тяжелосуглинистый (см. рисунок).

Второй участок расположен на обсыхающем Юдинском плесе оз. Чаны. По катене заложили два разреза. В элювиальной позиции разрез № 40 выкопан на вершинной части гривы на высоте 120 м над уровнем моря. Координаты – 54°74'58,98" с.ш. и 76°06'94,00" в.д. Почва – лугово-черноземная обыкновенная слабоосолодевшая среднесуглинистая. В аккумулятивной зоне в геохимическом подчинении заложили разрез № 20. Координаты – 54°78'11,33" с.ш. и 76°83'95,28" в.д., абсо-

<sup>1</sup>Виноградов А.П. Основные закономерности в распределении микроэлементов между растениями и средой // Микроэлементы в жизни растений и животных. М.: Издательство АН СССР, 1952. С. 7–20.



Географическое расположение объектов исследования  
Geographic location of research objects

лютная отметка над уровнем моря 103 м. Грива резким уступом переходит к полого-наклонной поверхности высохшего дна Юдинского плеса. Грунтовая вода обнаружена на глубине 60 см. Почва – лугово-болотная солончаковая тяжелосуглинистая (см. рисунок).

Выполнено морфологическое описание профилей почв и взяты почвенные образцы по генетическим горизонтам. В них проведены анализы по общепринятым методикам: гранулометрический состав по Качинскому, поглощенные основания – по Шоллербергеру, гумус – по Тюрину, pH – потенциметрически<sup>2</sup>. Микроэлементы определяли на двух-струйном атомно-эмиссионном плазмотроне (ДАЭП) методом атомной спектроскопии в лаборатории биогеохимии почв Института почвоведения и агрохимии СО РАН.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В почвах катен засоленных агроландшафтов изучено валовое содержание семи редко определяемых микроэлементов – циркония (Zr), иттрия (Y), скандия (Sc) и галлия (Ga), в том числе лантаноидов – церия (Ce), лантана (La) и иттербия (Yb). Поскольку они проявляют схожие свойства,

их объединили в одну группу редкоземельных элементов. Такое название связано с тем, что эти элементы, как считают, редко встречаются и сильно разбросаны их концентрации как внутри земной коры, так и в почвах. Однако глубокие исследования последних лет показали, что РЗЭ не являются редкими. По суммарной распространенности они превосходят свинец в 10 раз, молибден в 50 раз [5].

В последнем десятилетии редкоземельные элементы стали использовать в различных отраслях производства, соответственно увеличилось их поступление в окружающую среду. Влияние РЗЭ на растения и организмы животных и человека в настоящее время активно изучается.

Как показали наши исследования, в почвах обеих катен из группы РЗЭ преобладает цирконий (см. табл. 1, 2). Его содержание в гумусовых горизонтах почв элювиальных позиций катен составляет 179–200 мг/кг сухой почвы. Вниз по профилю колебания незначительны, но его количество несколько меньше – около 170 мг/кг почвы, что соответствует кларку данного элемента в земной коре<sup>3</sup>.

<sup>2</sup>Практикум по агрохимии / под ред. В.Г. Минеева. М.: Издательство МГУ. 2001. 687 с.

<sup>3</sup>Алексеев В.А. Экологическая геохимия: учебник. М.: Логос, 2000. 627 с.

**Табл. 1.** Содержание редкоземельных микроэлементов в почвах засоленных агроландшафтов первой катены**Table 1.** The content of rare earth trace elements in the soils of saline agricultural landscapes of the first catena

Геоморфологическая позиция, № разреза, почва	Горизонт, см	Микроэлемент (тяжелый металл), мг/кг сухой почвы						
		Zr	Y	Sc	Ga	Ce	La	Yb
Элювиальная, Р, № 1, лугово-черноземная средне- мощная среднесуглинистая	A <sub>пах</sub> 0–18	200	29,9	14,9	10,6	68,7	31,4	3,01
	A <sub>1</sub> 18–45	270	41,6	18,4	10,3	92,5	44,9	4,05
	AB 45–65	198	32,4	17,8	15,7	94,7	41,4	3,38
	B 65–85	254	42,9	20,8	12,4	87,5	48,6	4,29
	B <sub>к</sub> 85–135	215	36,1	18,0	10,5	77,7	42,4	3,52
Транзитная, Р, № 2, черноземно-луговая слабо- солончаковая тяжелосуглини- стая	A <sub>д</sub> 0–10	208	20,7	10,3	11,7	43,8	28,2	1,94
	A <sub>1</sub> 10–24	129	15,1	10,8	8,75	80,4	33,5	2,08
	AB <sub>q</sub> 24–43	174	13,5	9,09	7,25	14,0	22,6	1,59
	B <sub>q</sub> 43–72	113	15,5	9,38	5,67	54,2	24,7	1,83
	A <sub>пог</sub> 72–90	222	28,6	14,6	11,1	61,0	37,5	2,98
	B <sub>к</sub> 90–130	135	15,2	11,2	8,85	66,3	32,5	1,91
Аккумулятивная, Р, № 3, солонец глубокий луговой солончаковатый тяжелосу- глинистый	A <sub>пах</sub> 0–20	276	19,4	12,2	8,39	69,3	29,7	2,18
	B <sub>1</sub> 25–35	126	19,3	10,6	9,11	51,3	22,8	1,89
	B <sub>2q</sub> 35–50	149	24,6	11,7	9,8	60,8	26,7	2,36
	B <sub>3q</sub> 50–68	168	31,2	13,2	10,1	84,7	35,6	3,25
	B <sub>4q</sub> 68–80	195	28,9	14,9	8,17	71,0	32,3	2,82
Кларк элемента в земной коре [5]		170	20	10	19	70	29	0,3

**Табл. 2.** Содержание редко определяемых микроэлементов в почвах засоленных агроландшафтов второй катены**Table 2.** The content of rarely detected trace elements in the soils of saline agricultural landscapes of the second catena

Геоморфологическая позиция, № разреза, почва	Горизонт, см	Микроэлемент (тяжелый металл), мг/кг сухой почвы						
		Zr	Y	Sc	Ga	Ce	La	Yb
Элювиальная, Р, 40, лугово-черноземная осолодевшая супесчаная	A <sub>1</sub> 3–18	193,0	26,2	12,1	8,87	50,2	30,4	2,62
	A <sub>1</sub> 18–30	224,0	26,9	11,4	9,93	39,7	24,8	2,72
	AB 35–45	177,0	19,1	8,4	8,41	38,7	23,3	1,86
	B <sub>ca</sub> 61–93	178,0	24,5	16,9	8,65	58,2	34,1	2,28
	C <sub>ca</sub> 90–100	178,0	25,5	11,9	8,62	52,5	29,5	2,41
Аккумулятивная, Р, № 20 лугово-болотная солончаковая тяжелосуглинистая	A <sub>q</sub> 0–7	179,0	21,3	24,1	14,9	69,6	49,0	3,57
	A <sub>1q</sub> 10–20	171,0	30,7	21,0	13,0	59,4	39,3	3,37
	B <sub>q</sub> 40–50	136,0	24,9	17,4	12,3	46,6	25,5	2,68
	G 65–75	174,0	31,5	22,8	12,0	55,6	39,4	3,34
Кларк элемента в земной коре [5]		170	20	10	19	70	29	0,3

В транзитной позиции первой катены в профиле черноземно-луговой почвы на глубине 72–90 см четко выделяется горизонт А погребенной почвы, в котором содержание циркония высокое – 222 мг/кг. В аккумулятивной позиции наибольшее количество циркония обнаружено в гумусовом горизонте солонца глубокого – 276 мг/кг, вниз по профилю оно снижается. Известно, что цирконий относится к малоподвижным элементам, в пределах ландшафта не образует водорастворимых соединений, слабо мигрирует с органическими комплексами [3, 4]. По нашему мнению, некоторое его накопление в гумусовом горизонте почв в аккумулятивной зоне связано с эрозионными процессами передвижения глинистых фракций с верхних позиций катены в нижние водными потоками. Во второй катене в профилях изу-

чаемых почв обнаружено примерно такое же содержание циркония.

Валовое содержание иттрия в профилях почв изучаемых катен также близко кларку данного химического элемента в земной коре. В первой катене на элювиальной позиции в лугово-черноземной почве количество иттрия несколько больше, чем во второй, за счет более тяжелого гранулометрического состава (см. табл. 3). В.В. Иванов отмечал, что надежных почвенных кларков иттрия нет, поскольку «почвы редко анализируются на иттрий». Он считает, что иттрий находится в глинистой фракции почв, где его среднее содержание составляет 33 мг/кг, в песчаных и карбонатных почвах – соответственно 18 и 8 мг/кг сухой почвы [5]. Данный вывод соответствует выводам других исследователей [1, 2], в том числе и нашим.

**Табл. 3.** Физико-химические свойства почв катены

**Table 3.** Physical and chemical properties of catena soils

Геоморфологическая позиция, № разреза, почва	Горизонт, см	Физико-химические свойства		
		pH	Гумус, %	Физическая глина, частицы < 0,01 мм, %
Элювиальная, Р, № 1, лугово-черноземная среднемогущая среднесуглинистая	A <sub>пах</sub> 0–18	6,6	9,7	36,5
	A <sub>1</sub> 18–45	6,6	7,7	31,1
	AB 45–65	6,3	1,3	53,5
	B 65–85	6,7	Не опр.	53,9
	B <sub>к</sub> 85–135	8,4	» »	56,3
Транзитная, Р, № 2, черноземно-луговая слабосолодевая тяжелосуглинистая	A <sub>d</sub> 0–10	7,9	10,8	14,0
	A <sub>1</sub> 10–24	8,2	4,5	8,8
	AB <sub>q</sub> 24–43	8,3	1,0	21,4
	B <sub>q</sub> 43–72	8,4	0,6	22,6
	A <sub>пог</sub> 72–90	8,9	0,9	53,3
	B <sub>к</sub> 90–130	9,1	0,6	56,1
	A <sub>пах</sub> 0–20	9,8	5,2	60,6
Аккумулятивная, Р, № 3, солонец глубокий луговой солончаковатый тяжелосуглинистый	B <sub>1</sub> 25–35	10,1	2,6	60,2
	B <sub>2q</sub> 35–50	10,2	0,9	41,2
	B <sub>3q</sub> 50–68	10,0	Не опр.	41,2
	B <sub>4q</sub> 68–80	10,0	» »	54,6
	A <sub>1</sub> 3–18	6,8	5,7	14,8
Элювиальная, Р, № 40, лугово-черноземная осолодевая супесчаная	A <sub>1</sub> 18–30	7,1	4,5	14,1
	AB 35–45	7,3	1,1	36,1
	B <sub>са</sub> 61–93	8,9	0,5	29,4
	C <sub>Са</sub> 90–100	9,0	0,2	26,9
	A <sub>q</sub> 0–7	8,9	5,9	72,2
Аккумулятивная, Р, № 20, лугово-болотная солончаковая тяжелосуглинистая	A <sub>1q</sub> 10–20	9,0	2,8	88,1
	B <sub>q</sub> 40–50	8,6	2,8	66,1
	G 65–75	8,9	2,5	51,1

Скандий – типичный рассеянный литофильный элемент. Ввиду очень слабой концентрации в земной коре его геохимия слабо изучена, хотя он имеет довольно высокий кларк – 10 мг/кг. Это выше, чем у олова, и почти такой же, как у свинца. В последнем десятилетии установлено, что содержание скандия в почвах зависит от его содержания в материнской породе. Наименьшая его концентрация характерна для песчаников и легких почв, в тяжелых и глинистых почвах содержание скандия значительно выше [6].

Следует отметить, что в почвах обеих катен содержание скандия равно кларку или несколько выше. В первой катене его больше в профиле лугово-черноземной среднесуглинистой почвы элювиальной позиции, во второй – в лугово-болотной солончаковой тяжелосуглинистой аккумулятивной позиции. По профилю колебания содержания скандия не столь существенны, что свидетельствует о слабом передвижении его соединений.

Среднее содержание данного элемента в растениях суши составляет 0,008 мг/кг сухой массы<sup>4</sup>, в овощах – 0,005 мг/кг, в траве – 0,07, тогда как в корнях ячменя – 0,63 мг/кг. Содержание скандия в старых листьях выше, чем в молодых [7]. Биологическая роль скандия и его миграция по биологическим цепям изучена очень слабо. В настоящее время установлено, что скандий, как и другие РЗЭ, не является необходимым химическим элементом для жизни растений, животных и человека, тем более он не является «минералом смерти» – сильнодействующим ядом [8, 9].

Валовое содержание галлия в профиле почв катены практически в 2,0–2,5 раза ниже, чем его величина кларка в земной коре – 19 мг/кг. По профилю колебания его незначительны. В почвах первой катены количество галлия больше в лугово-черноземной среднесуглинистой почве элювиальной позиции, чем в лугово-черноземной осолоделой супесчаной второй катены (см. табл. 1). В ак-

кумулятивной позиции обнаружена обратная зависимость содержания галлия в почвах, что связано как с гранулометрическим составом, так и с местоположением разрезов по рельефу. Содержание галлия, вероятно, зависит от содержания гумуса: с уменьшением гумуса в горизонтах А почв его количество снижается. В погребенном горизонте А почвы оно примерно такое же, как и в верхнем горизонте А (см. табл. 1).

Валовое содержание церия, кларк которого равен 70 мг/кг (см. сноску 3), в профиле почв второй катены значительно меньше, чем в профиле почв первой, что, вероятно, связано с их более легким гранулометрическим составом по генетическим горизонтам и содержанием церия в материнской породе.

В гумусовом горизонте черноземно-луговой почвы транзитной зоны его несколько меньше, чем в элювиальной и аккумулятивной. О роли церия в жизни растений, животных и человека мало данных, но в последнее время появились исследования по изучению его влияния на элементный состав и развитие растений<sup>5</sup>.

Валовое содержание лантана примерно одинаковое в почвах обеих катен и оно находится в пределах кларка земной коры – 29 мг/кг почвы (см. табл. 1, 2). Выделяется лишь профиль лугово-черноземной почвы элювиальной позиции в первой катене, где валовое содержание лантана по профилю находится в количестве выше кларка – от 41,4 до 48,6 мг/кг, тогда как в профиле почв транзитной и аккумулятивной позиции его несколько меньше – от 22,6 до 37,5 мг/кг. Большое внимание данному элементу уделено Ю.Н. Водяницким [10]. Установлено, что лантан в микродозах оказывает стимулирующие действие на растения, в высоких – депрессивное [11, 12].

Установлено, что валовое содержание иттербия в профиле почв катен в засоленных агроландшафтах Барабы значительно превышает кларк в земной коре. Кларк иттербия –

<sup>4</sup>Scandium. it's Occurrence, Chemistry, Physics, Metallurgy and Technology. London, New York, Krancisco: Acad. Press, 1975. 598 p.

<sup>5</sup>Котельникова А.Д., Волков Д.С., Фастовец И.А., Рогова О.Б. Влияние церия на элементный состав растений ячменя при внесении в дерново-подзолистую почву // Почвоведение: Горизонты будущего: материалы III Междунар. конф. (Почвенный институт им. Докучаева). М., 2019.

0,3 мг/кг, а в почвах катены его содержится от 1,6 до 4,3 мг/кг почвы. Наибольшее его количество в лугово-черноземной почве первой катены, наименьшее – здесь же в транзитной зоне, что напрямую связано с гранулометрическим составом. Следует отметить, что растения способны сопротивляться аккумуляции РЗЭ. Они блокируют их перенос в организм человека и не накапливаются в нем.

*Статистическая обработка материала.* Для выполнения статистической обработки рассмотрим физико-химические свойства почв катен, представленные в табл. 3. Гранулометрический состав почв в первой катене меняется по профилю в элювиальной позиции от среднесуглинистого до тяжелосуглинистого, в транзитной – от супесчаного в горизонте А до тяжелосуглинистого в нижних горизонтах. Содержание гумуса в изучаемых почвах довольно высокое в верхних горизонтах (9,7–10,8%). Вниз по профи-

лю оно резко падает. Величина рН в почвах нарастает от элювиальной позиции к аккумулятивной.

В почвах второй катены в элювиальной позиции гранулометрический состав почв в горизонте А супесчаный, книзу утяжеляется до легкосуглинистого. В аккумулятивной позиции он сильно утяжеляется до тяжелосуглинистого. Почвы второй катены менее гумусированы, чем первой. Величина рН в почвах элювиальной позиции в верхних горизонтах нейтральная, с глубиной становится щелочной. В аккумулятивной – во всем профиле сохраняется щелочная среда.

Статистическую обработку результатов исследований выполняли в пакете прикладной статистики стандартных программ Excel. В частности, выполнен корреляционный анализ между содержанием редкоземельных элементов в почвах с гранулометрическим составом, гумусом и рН (см. табл. 4).

**Табл. 4** Коэффициенты корреляции между распределением редкоземельных элементов по профилю и физико-химическими свойствами почв

**Table 4.** Coefficients of correlation between distribution of rare earth elements along the profile and the physical and chemical properties of soils

Геоморфологическая позиция, № разреза, почва	Физико-химические свойства	Микроэлемент						
		Zr	Y	Sc	Ga	Ce	La	Yb
Элювиальная, Р, № 1, лугово-черноземная среднемощная среднесуглинистая	Физическая глина	-0,34	0,01	0,45	0,51	0,12	0,37	0,08
	Гумус	0,32	0,10	-0,55	-0,96	-0,73	-0,47	-0,06
	рН	-0,10	0,05	0,05	-0,48	-0,42	0,08	-0,06
Транзитная, Р, № 2, черноземно-луговая слабоосолодевая тяжелосуглинистая	Физическая глина	0,20	0,43	0,66	0,20	0,18	0,52	0,51
	Гумус	0,37	0,14	-0,15	0,61	-0,01	-0,03	-0,10
	рН	-0,09	0,22	0,56	-0,05	0,32	0,50	0,41
Аккумулятивная, Р, № 3, солонец глубокий луговой солончаковатый тяжелосуглинистый	Физическая глина	0,39	-0,70	-0,17	-0,81	-0,46	-0,42	-0,64
	Гумус	0,85	-0,79	0,41	-0,99	0,57	0,53	-0,27
	рН	-0,93	0,19	-0,22	0,46	-0,46	-0,42	-0,06
Элювиальная, Р, № 40, лугово-черноземная осолодевая супесчаная	Физическая глина	-0,78	-0,85	-0,11	-0,78	0,05	-0,06	-0,95
	Гумус	0,68	0,49	-0,17	0,57	-0,32	-0,17	0,68
	рН	-0,49	0,04	0,58	-0,34	0,70	0,58	-0,21
Аккумулятивная, Р, № 20, лугово-болотная солончаковая тяжелосуглинистая	Физическая глина	0,09	-0,10	0,32	0,43	0,32	0,16	-0,09
	Гумус	0,43	-0,82	0,81	0,96	0,81	0,70	0,58
	рН	0,61	0,82	0,22	-0,21	0,22	0,34	0,37

Определенные закономерности между содержанием редкоземельных элементов, гранулометрическим составом, гумусом и рН проявляются слабо, хотя можно отметить, что в почвах элювиальных позиций эта взаимосвязь отсутствует. Лишь между цирконием и иттербием, гранулометрическим составом и гумусом установлена тесная обратная связь. В аккумулятивной позиции между церием, лантаном, иттрием, иттербием, скандием и гумусом также установлена тесная обратная связь.

## ВЫВОДЫ

1. Редкоземельные элементы цирконий, иттрий, скандий, галлий, в том числе лантаноиды – церий, лантан, иттербий в настоящее время мало изучены, не установлено их значение в жизни растений, животных и человека. Однако постоянное нахождение редкоземельных элементов в химическом составе растений свидетельствует об их необходимости.

2. Редкоземельные элементы обнаружены во всех почвах изучаемых засоленных агроландшафтов. Их содержание определяется содержанием в материнской породе, зависит от гранулометрического состава и количества органического вещества в гумусовых горизонтах.

3. В почвах засоленных агроландшафтов Барабинской равнины редкоземельные элементы, в том числе и лантаноиды, в основном находятся в количествах кларков земной коры, за исключением лантана в гумусовом горизонте (1,5 раза больше величины кларка) и иттербия (до 10 раз выше кларка). По профилю почв наблюдается некоторое изменение в содержании редкоземельных элементов. Однако эти изменения незначительны, что свидетельствует о слабом передвижении соединений РЗЭ как в вертикальном, так и в горизонтальном направлении.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ильин В.Б., Сысо А.И. Микроэлементы и тяжелые металлы в почвах и растениях. Но-

восибирской области: монография. Новосибирск: Издательство СО РАН, 2001. 229 с.

2. Ильин В.Б. Тяжелые металлы и неметаллы в системе почва – растение: монография. Новосибирск: Издательство СО РАН, 2012. 220 с.
3. Жукова Л.А., Гуламова Н.В., Глебова И.В. Основные закономерности кинетики сорбции ионов циркония серыми лесными почвами Центрального Черноземья // Известия ТСХА. 2008. Вып. 2. С. 25–31.
4. Жукова Л.А. Распределение тяжелых металлов в природных гетерогенных системах // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2008. № 4. С. 14–17.
5. Иванов В.В. Экологическая геохимия элементов: монография. М.: Экология, 1997. Кн. 6. 606 с.
6. Янин Е.В. Скандий в окружающей среде (распространенность, техногенные источники, вторичные ресурсы) // Проблемы окружающей среды и природных ресурсов. 2007. № 8. С. 70–80.
7. Золин В.Ф., Корнеева Л.Г. Редкометалльный зонд в химии и биологии: монография. М.: Наука, 1980. 350 с.
8. Некоторые вопросы токсичности ионов металлов: монография; пер. с англ. / Ф.Т. Бингам, М. Коста, Э. Эйхенбергер и др. М.: Мир, 1993. 368 с.
9. Эмили Дж. Элементы: монография; пер. с англ. М.: Мир, 1993. 256 с.
10. Водяницкий Ю.Н. Тяжелые и сверхтяжелые металлы и металлоиды в загрязненных почвах: монография. М.: Почвенный институт им. В.В. Докучаева. 2009. 95 с.
11. Tyler Y. Rare earth elements in soil and plant systems – A review // Plant and Soil. 2004 a. Vol. 267. P. 191–206.
12. Tyler Y. Vertical distribution of minor, minor and rare elements in Haplic Podzol // Ceoderma. 2004 b. Vol. 119. P. 277–290.

## REFERENCES

1. Ilyin V.B., Syso A.I. *Trace elements and heavy metals in soils and plants of the Novosibirsk region*. Novosibirsk, CO RAN Publ., 2001, 229 p. (In Russian).
2. Ilyin V.B. *Heavy metals and non-metals in the soil – plant system*. Novosibirsk, CO RAN Publ., 2012, 220 p. (In Russian).

3. Zhukova L.A., Gulamova N.V., Glebova I.V. Main laws of zirconium ions kinetics sorption in gray forest soils. *Izvestiya TSKhA = Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*, 2008, issue 2, p. 25–31. (In Russian).
4. Zhukova L.A. Distribution of heavy metals in natural heterogeneous systems. *Vestnik Kurskoi gosudarstvennoi sel'skokhozyaistvennoi akademii = Vestnik of Kursk State Agricultural Academy*, 2008, no. 4, pp. 14–17. (In Russian).
5. Ivanov V.V. *Ecological geochemistry of elements*. Moscow, Ecology, 1997, book 6, 606 p. (In Russian).
6. Yanin E.V. Scandium in the environment (prevalence, technogenic sources, secondary resources). *Problemy okruzhayushchei sredy i prirodnikh resursov = Problems of the Environment and Natural Resources*, 2007, no. 8, pp. 70–80. (In Russian).
7. Zolin V.F., Korneeva L.G. *Rare metal probe in chemistry and biology*. Moscow, Nauka Publ., 1980, 350 p. (In Russian).
8. *Some questions of the toxicity of metal ions*. Trans. from English. Moscow, Mir Publ., 1993, 368 p. (In Russian).
9. Emily J. *Elements*. Trans. from English. Moscow, Mir Publ., 1993, 256 p. (In Russian).
10. Vodyanitskiy Yu.N. *Heavy and superheavy metals and metalloids in contaminated soils*. Moscow, Pochvennyi institut im. V.V. Dokuchaeva = V.V. Dokuchaev Soil Science Institute, 2009, 95 p.
11. Tyler Y. Rare earth elements in soil and plant systems – A review. *Plant and Soil*, 2004 a, vol. 267, pp. 191–206.
12. Tyler Y. Vertical distribution of minor, minor and rare elements in Haplic Podzol. *Ceoderm*, 2004 b, vol. 119, pp. 277–290.

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

**Семендяева Н.В.**, главный научный сотрудник, доктор сельскохозяйственных наук, профессор; e-mail: semendyaeva@ngs.ru

✉ **Морозова А.А.**, аспирантка, инженер-аналитик; **адрес для переписки:** Россия, 630501, Новосибирская область, р.п. Краснообск, а/я 463; e-mail: valeri\_170886@mail.ru

**Добровотворская Н.И.**, доктор сельскохозяйственных наук, профессор; e-mail: dobrotvorskaya@mail.ru

**Елизаров Н.В.**, кандидат биологических наук, научный сотрудник; e-mail: elizarov\_89@mail.ru

#### AUTHOR INFORMATION

**Nina V. Semendyaeva**, Head Researcher, Doctor of Science in Agriculture, Professor; e-mail: semendyaeva@ngs.ru

✉ **Anna A. Morozova**, postgraduate student, analytical engineer; address: PO Box 463, SFSCA RAS, Krasnoobsk, Novosibirsk Region, 630501, Russia; e-mail: valeri\_170886@mail.ru

**Nadezhda I. Dobrotvorskaya**, Doctor of Science in Agriculture, Professor; e-mail: dobrotvorskaya@mail.ru

**Nikolay V. Elizarov**, Candidate of Science in Biology, Researcher; e-mail: elizarov\_89@mail.ru

Дата поступления статьи / Received by the editors 05.02.2021  
Дата принятия к публикации / Accepted for publication 26.05.2021  
Дата публикации / Published 26.07.2021