



УДК 631.416.9
DOI <https://doi.org/10.26516/2073-3372.2018.23.68>

Содержание микроэлементов в чернозёмовидных почвах Зейско-Буреинской равнины

А. В. Кондратова¹, В. Ф. Прокопчук²

¹Институт геологии и природопользования ДВО РАН, Благовещенск

²Дальневосточный государственный аграрный университет, Благовещенск
E-mail: kondratova.ava@gmail.com

Аннотация. Концентрации микроэлементов в агрозёмах Амурской области в условиях длительного применения минеральных удобрений остаются слабо изученными. Чернозёмовидные почвы распространены только на равнинах юга Дальнего Востока, особенно широко на Зейско-Буреинской, и являются самыми плодородными в регионе. Они полностью вовлечены в систему земледелия с начала XX в. и в структуре почвенного покрова пашни составляют более 35 %. Ввиду большого хозяйственного значения, изучению химических и физико-химических свойств чернозёмовидных почв Амурской области уделяется большое внимание. Однако их микроэлементный состав описан крайне ограниченно. Впервые в Амурской области с использованием современной аналитической методики ICP-MS охарактеризован широкий спектр микроэлементов. Концентрации валовых форм микроэлементов в чернозёмовидных почвах Амурской области убывают в ряду: Ba > Sr > Rb > Cr > V > Zr > Cu > Ni > Li > Pb > Co > Ga > Y > Th > Sc > Nb > Cs > Be > Sn > U > Hf > W > Mo > Ta. Установлено, что содержание Co, Be, Rb, Li, Ni превышает уровень накопления в почвах мира, тогда как концентрация Hf, Ta, W, U, Y, Nb значительно ниже среднемировых значений. Представленные данные могут быть использованы при определении регионального фона микроэлементов, проведении оценки степени антропогенного воздействия, в комплексном экологическом мониторинге.

Ключевые слова: чернозёмовидные почвы, микроэлементы, минеральные удобрения.

Для цитирования: Кондратова А. В., Прокопчук В. Ф. Содержание микроэлементов в чернозёмовидных почвах Зейско-Буреинской равнины // Известия Иркутского государственного университета. Серия Биология. Экология. 2018. Т. 23. С. 68–77. <https://doi.org/10.26516/2073-3372.2018.23.68>

Введение

Обеспеченность почв микроэлементами обусловлена факторами почвообразования, гранулометрическим составом почвообразующих пород и самой почвы, содержанием органического вещества, а в промышленных регионах – воздействием техногенной нагрузки. Некоторое количество микроэлементов поступает в почву с удобрениями (в основном фосфорными) и мелиорантами [Войтович, Полев, Останина, 2002]. Содержание микроэлементов в почвах отличается высоким природным варьированием. Фоновые концентрации, даже в пределах одного региона, могут различаться в несколько раз [Волошин, 2008].

В настоящее время в Амурской области проведена оценка фонового содержания 24 микроэлементов в различных типах аллювиальных почв пойм

крупных рек Зейско-Селемджинской равнины, не подверженных антропогенной нагрузке [Мартынов, 2015; Сорокина, Зарубина, 2013]. При этом самыми используемыми в Амурской области являются чернозёмовидные почвы. Для них установление фоновых значений невозможно ввиду их полного вовлечения в хозяйственную деятельность. Поэтому в данной работе сравнение ведётся с региональными почвами других типов, близкими по свойствам почвами других регионов и общемировыми стандартами [Kabata-Pendias, Szteke, 2015].

Чернозёмовидные почвы в структуре почвенного покрова пашни Амурской области составляют более 35 % и полностью вовлечены в систему земледелия с начала XX в. Они сформировались под лугово-степной растительностью с куртинами кустарников и распространены только на равнинах юга Дальнего Востока, особенно широко на Зейско-Буреинской равнине. Почвообразующие породы – древние озёрно-аллювиальные глины, реже – тяжёлые суглинки. От чернозёмов степной и лесостепной зон Европы и Сибири отличаются отсутствием карбонатов в пределах и за пределами почвенного профиля, повсеместным развитием признаков оглеения в виде ржавых и сизых пятен, наличием железисто-марганцевых образований по всему профилю и белёсой кремнезёмистой присыпки в нижних горизонтах [Система земледелия..., 2016].

Ввиду большого хозяйственного значения, изучению химических и физико-химических свойств чернозёмовидных почв Амурской области уделяется большое внимание. Однако их микроэлементный состав описан крайне ограниченно. К настоящему моменту большая часть исследований микроэлементного состава чернозёмовидных почв Амурской области посвящена биофильным элементам [Экогеохимия Западной Сибири ... , 1996]. Валовые содержания Mo, B, V, Ni, Co достаточно широко охарактеризованы в публикациях В. И. Голова [2004], Г. В. Голова [2001]. Данные о содержании Mo, Co, Zn и В приведены Д. Н. Костиковым [1971]. В работе Я. О. Тимофеевой [2011] представлена информация о содержании Zn, Ni, Mo, Co, Cr, Cu.

Мало изучено содержание ряда биофобных микроэлементов, незначительное повышение концентраций которых вызывает острую негативную реакцию живых организмов [Экогеохимия Западной Сибири ... , 1996]. Данные по отдельным тяжёлым металлам – биофобам (Pb, Cd, Hg) представлены в работах Я. О. Тимофеевой [2011], Ж. А. Димиденок [2005]. Исследования по определению в чернозёмовидной почве содержания таких биофобных элементов, как Ga, Ge, Rb, Sn, Pb, Th, U, ранее не проводились.

Практически не исследованы микроэлементы, условно отнесённые к биотолерантам. Их содержание в живых организмах менее токсично, чем биофобов, но и любой их дефицит не вызывает патологической реакции у организмов [Экогеохимия Западной Сибири ... , 1996]. Это такие элементы, как Sc, Sr, Y, Zr, Nb, Cs, Ba, Hf, Ta, W. Не определено содержание фитофилов – микроэлементов, накапливающихся в растениях и почвах (Li, Be).

Несмотря на значительный объём исследований микроэлементного состава чернозёмовидных почв Амурской области, имеющиеся материалы ограничены узким перечнем элементов, данные об их содержании получены разными аналитическими методами и не в полной мере освещают геохимию данного типа почв. В связи с этим целью настоящих исследований стала оценка содержания широкого спектра микроэлементов в чернозёмовидных почвах Амурской области с помощью современных методов исследования.

Материалы и методы

Для исследований на территории распространения чернозёмовидных почв в Амурской области был выбран ключевой участок (производственные площади ВНИИ сои в с. Садовое, городской округ г. Благовещенска) (рис. 1). Название почвы приведено в соответствии с классификацией и диагностикой почв России от 2004 г. [Классификация и диагностика ... , 2004].



Рис. 1. Карта-схема территории исследований

В выборку включены объединённые почвенные образцы (из трёх проб) с пяти участков, подверженных различной многолетней нагрузке удобрений на 1 га севооборотной площади. Почвенные образцы отбирали на глубину пахотного слоя 0–20 см. Валовые формы 23 микроэлементов определяли с помощью масс-спектрометра с индуктивно связанной плазмой ICP-MS Elan

DRC II (Perkin-Elmer, США) в соответствии с методикой анализа ПНД Ф 16.1:2.3:3.11-98 Методика выполнения измерений содержания металлов в твёрдых объектах методом ИСП-МС.

Вычисление описательной статистики выполнено в программной среде R (R Studio v. 1.1.383) [R Core Team, 2017]. Среднее содержание микроэлементов в почвах мира приведено по А. Кабата-Пендиас [Kabata-Pendias, Szteke, 2015].

Для оценки процессов накопления или истощения элементов для каждого из них рассчитывали коэффициент K как отношение содержания валовой формы элемента в исследуемой чернозёмовидной почве к его средней концентрации в почвах мира по [Kabata-Pendias, Szteke 2015].

Результаты и обсуждение

В анализируемой выборке почвенных образцов вариабельность содержания валовых форм таких микроэлементов, как Li, Be, Sc, Cu, Rb, Sr, Y, Sn, Cs, Ba, Hf, Pb, Th, U, незначительна, коэффициент вариации не превышает 10 % (табл. 1). Наибольший коэффициент вариации (20–40 %) отмечен для Cr, Ni, Ga, Ta, W.

Таблица 1

Средние концентрации ($n = 5$) и пределы варьирования валовых форм микроэлементов в пахотном слое чернозёмовидной почвы (мг/кг)

Элемент	Среднее	Стандартное отклонение	Медиана	Минимальное	Максимальное	Коэффициент вариации
Li	34,2	3,41	32,7	30,2	38,2	10
Be	2,54	0,252	2,68	2,13	2,73	10
Sc	10,1	0,650	10,3	9,18	10,8	6
V	63,0	7,35	62,0	55,7	70,7	12
Cr	65,6	17,2	69,2	46,3	85,0	26
Co	21,9	3,61	20,4	17,7	26,0	16
Ni	41,5	11,2	38,8	30,7	56,3	27
Cu	43,9	4,01	45,6	37,3	47,6	9
Ga	16,5	2,22	16,1	14,2	19,6	13
Rb	113	7,83	115	101	119	7
Sr	177	8,61	178	162	183	5
Y	15,8	1,05	15,9	14,6	17,4	7
Nb	8,25	1,38	8,59	6,13	9,73	17
Mo	0,70	0,111	0,65	0,59	0,87	16
Sn	2,16	0,177	2,13	2,02	2,45	8
Cs	6,94	0,533	6,84	6,22	7,68	8
Ba	609	42,7	595	564	675	7
Hf	1,64	0,157	1,68	1,41	1,78	9
Ta	0,41	0,107	0,47	0,26	0,51	26
W	0,89	0,359	1,03	0,44	1,32	40
Pb	26,3	1,67	26,9	23,8	27,9	6
Th	10,2	0,312	10,2	9,83	10,6	3
U	2,05	0,162	2,0	1,89	2,32	8

Анализ содержания биофильных микроэлементов показал накопление Co, Ni и Rb по сравнению со средним содержанием в почвах мира [Kabata-Pendias, Szteke, 2015]. Коэффициент K составил 1,94; 1,43 и 1,66 соответственно (рис. 2). Чернозёмовидные почвы Амурской области характеризуются пониженным содержанием V и Mo ($K = 0,49$; 0,64). Валовое содержание биофильных элементов Cr и Cu находится в пределах среднемировых значений. Чернозёмовидные почвы Амурской области близки по накоплению Co и Cu к лугово-бурым чернозёмовидным почвам Приморского края, но отличаются повышенным содержанием данных элементов по сравнению с чернозёмами Западной Сибири и Центральной России (табл. 2).

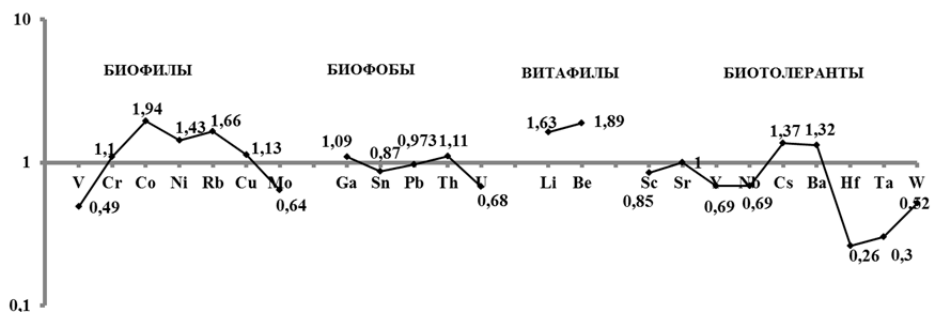


Рис. 2. Отношение содержания валовых форм микроэлементов в чернозёмовидной почве Амурской области к их среднему содержанию в почвах мира (K)

К настоящему моменту большая часть исследований геохимии микроэлементов-биофобов в агрозёмах посвящена выявлению накопления в почвах таких тяжёлых металлов, как Pb, Cd, Hg. Как высокотоксичный элемент, свинец получил достаточное внимание исследователей. В наших исследованиях среднее содержание Pb в почвах составило 26,3 мг/кг, что соответствует среднему содержанию элемента в почвах мира ($K = 0,97$). Результаты согласуются с ранее проведёнными в регионе исследованиями Я. О. Тимофеевой [2011] и Ж. А. Димиденко [2005], по данным которых содержание Pb в чернозёмовидных почвах варьирует в пределах от 11,4 до 29,5 мг/кг. По сравнению с чернозёмами Западной Сибири и Центральной России в чернозёмовидных почвах Амурской области наблюдается более интенсивное накопление данного элемента.

Содержание биофобных радиоактивных U и Th в чернозёмовидной почве Амурской области соответствует содержанию в кларке верхней континентальной коры и среднему содержанию в почвах мира. Соотношение Th/U составляет 8,6, что характерно для данных элементов [Экогеохимия Западной Сибири ... , 1996]. Среднее содержание Ga, Sn в исследуемых почвах сопоставимо со средним содержанием в почвах мира. В пахотном слое исследуемых почв по сравнению с почвами мира и чернозёмами России наблюдается аккумуляция фитофильных элементов Li и Be ($K = 1,63$ и 1,89 соответственно элементам).

Таблица 2

Содержание валовых форм микроэлементов в чернозёмовидных почвах
Амурской области

Биогеохимические группы*	Элемент	Содержание, мг/кг					
		1*	2*	3*	4*	5*	6*
Биофилы	V	63,0	–	67,6	108	129	97
	Cr	65,6	107,2	80,1	106	59,5	92
	Co	21,9	29,0	9,3	14	11,3	17,3
	Ni	41,5	48,5	33,3	43	29	47
	Cu	43,9	55,2	24,8	23	38,9	28
	Mo	0,704	–*	–	2,2	1,1	1,1
	Rb	113	–	–	–	68	82
Биофобы	Ga	16,5	–	–	–	15,2	17,5
	Sn	2,16	–	–	–	2,5	2,1
	Pb	26,3	–	18,8	18,4	27	17
	Th	10,2	–	11,2	–	9,2	10,5
	U	2,05	–	1,3	–	3	2,7
Фитофилы	Li	34,2	–	26,1	–	21	24
	Be	2,54	–	–	1,3	1,34	2,1
Биотолеранты	Sc	10,0	–	–	–	11,7	14
	Sr	176	–	178	96	175	320
	Y	15,8	–	–	–	23	21
	Nb	8,25	–	–	–	12	12
	Cs	6,93	–	3,7	–	5,06	4,9
	Ba	609	–	412	465	460	628
	Hf	1,64	–	–	–	6,4	5,3
	Ta	0,41	–	–	–	1,39	0,9
W	0,89	–	–	–	1,7	1,9	

Примечания: 1 – среднее содержание в исследуемых почвах; 2 – лугово-бурые чернозёмовидные почвы Приморского края [Пургова, Бурдуковский, 2016]; 3 – чернозёмы Западной Сибири [Экогеохимия Западной Сибири ... , 1996]; 4 – чернозёмы Воронежской области [Протасова, Горбунова, Беляев, 2015]; 5 – среднее содержание в почвах мира [Kabata-Pendias, Szteke, 2015]; 6 – содержание в верхней континентальной коре [Holland, Turekian, 2004]; – нет данных. * – классификация элементов [Экогеохимия Западной Сибири ... , 1996]

Малоизученными в чернозёмовидных почвах Амурской области являются микроэлементы, отнесённые авторами биогеохимической классификации [Экогеохимия Западной Сибири ... , 1996] к биотолерантам (Sc, Sr, Y, Zr, Nb, Cs, Ba, Hf, Ta, W). Среди них самое высокое содержание в исследуемых почвах наблюдается у Ba (609 мг/кг) и Sr (176 мг/кг). Большое количество стронция поступает в почвы с удобрениями и мелиорантами: фосфорные удобрения содержат 25–500 мг/кг [Иванов, 1997]. Тем не менее, содержание Sr в изучаемом типе почв соответствует среднемировому значению ($K = 1$) и близко к чернозёмам (см. табл. 2). В светло-серых лесных почвах Русской равнины среднее содержание Sr составляет 53–61 мг/кг, в тёмно-серых лесных – 97, в чернозёмах больше (83–147) [Протасова, Щербаков, 2003].

Концентрация Ва в пахотном горизонте чернозёмовидных почв Амурской области несколько превышает среднее содержание в почвах мира ($K = 1,32$). В почвах России содержание элемента колеблется в широких пределах: в торфянистых почвах его содержится мало – в среднем 85 мг/кг, в подзолах и песчаных почвах – 220 мг/кг, в чернозёмах 525 мг/кг [Водяницкий, 2009]. В чернозёмовидных почвах Амурской области содержание Ва выше по сравнению с чернозёмами Западной Сибири и Центральной России.

Чернозёмовидные почвы Амурской области характеризуются низким по сравнению со средними значениями в почвах мира содержанием Hf ($K = 0,26$), Ta ($K = 0,3$), W ($K = 0,52$). Содержание Cs составило 6,93 мг/кг, что выше средних концентраций в чернозёмах Западной Сибири и среднего содержания в почвах мира.

Концентрации валовых форм микроэлементов в чернозёмовидных почвах Амурской области убывают в ряду: Ba > Sr > Rb > Cr > V > Zr > Cu > Ni > Li > Pb > Co > Ga > Y > Th > Sc > Nb > Cs > Be > Sn > U > Hf > W > Mo > Ta.

Заключение

Использование метода масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ICP MS) позволяет определять содержание элементов с крайне низкими концентрациями, которые ранее были не изучены. При сравнении концентраций микроэлементов в чернозёмовидных почвах Амурской области со средним содержанием в почвах мира повышенное содержание выявлено для Co ($K = 1,94$), Be ($K = 1,89$), Rb ($K = 1,66$), Li ($K = 1,63$), Ni ($K = 1,43$); пониженное – для Hf ($K = 0,26$), Ta ($K = 0,30$), W ($K = 0,52$), U ($K = 0,68$), Y ($K = 0,69$), Nb ($K = 0,69$). Содержание прочих микроэлементов в изученных почвах соответствует среднему значению в почвах мира. По сравнению с почвами Сибири и Центральной России микроэлементный состав чернозёмовидных почв Амурской области отличается пониженным содержанием Cr и Mo и повышенным содержанием Li, Be, Co, Cu, Pb, Ba, Cs.

Проведённые исследования вполне характеризуют закономерности содержания элементов в типичных пахотных чернозёмовидных почвах Амурской области. Представленные данные могут служить точкой отсчёта при определении регионального фона микроэлементов, оценке степени антропогенного воздействия в комплексном экологическом мониторинге. Экологическая роль таких элементов не только в почвах, но и в растениях агроландшафтов до конца не выяснена и требует дальнейшего изучения. В наших исследованиях выявлен ряд элементов с повышенными и с пониженными концентрациями по отношению к другим почвам. Учитывая отрицательное влияние не только избытка, но и дефицита микроэлементов на жизнедеятельность растений, важно продолжить исследования для установления экологической роли микроэлементов в биогеохимических циклах агроландшафтов Амурской области.

Список литературы

Водяницкий Ю. Н. Тяжелые и сверхтяжелые металлы и металлоиды в загрязненных почвах. М. : ГНУ Почв. ин-т им. В. В. Докучаева Россельхозакадемии, 2009. 95 с.

Войтович Н. В., Полев Н. А., Останина А. В. Оценка загрязнения почв сельскохозяйственного использования в результате агрогенного воздействия // Почвы Московской области и их использование. М. : Почв. ин-т им. В. В. Докучаева, 2002. Т. 1. С. 372–384.

Волошин Е. И. Содержание и распределение микроэлементов в почвах Средней Сибири // Вестн. КрасГАУ, 2008. № 4. С. 28–37.

Голов В. И. Круговорот серы и микроэлементов в основных агроэкосистемах Дальнего Востока. Владивосток : Дальнаука, 2004. 316 с.

Голов Г. В. Почвы и экология агрофитоценозов Зейско-Буреинской равнины. Владивосток : Дальнаука, 2001. 162 с.

Димиденко Ж. А. Оценка содержания тяжелых металлов в агроэкосистемах южной зоны Среднего Приамурья : автореф. дис ... канд. биол. наук. Благовещенск, 2005. 24 с.

Иванов В. В. Экологическая геохимия элементов: кн. 6. М. : Экология, 1997. 606 с.

Классификация и диагностика почв России / Л. Л. Шишов, В. Д. Тонконогов, И. И. Лебедева, М. И. Герасимова. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.

Костиков Д. Н. Микроэлементы в почвах Зейско-Буреинской равнины // Тр. Благовещ. с.-х. ин-та, 1971. Т. 6. С. 106–109.

Мартынов А. В. Содержание и распределение микроэлементов в аллювиальных почвах пойм крупных рек Зейско-Селемджинской равнины // География и природные ресурсы. 2015. № 3. С. 138–145.

Протасова Н. А., Горбунова Н. С., Беляев А. Б. Биогеохимия микроэлементов в обыкновенных черноземах Воронежской области // Вестн. ВГУ, Сер. Химия. Биология. Фармация. 2015. № 4. С. 100–106.

Протасова Н. А., Щербаков А. П. Микроэлементы (Cr, V, Ni, Mn, Zn, Cu, Co, Ti, Zr, Ga, Be, Ba, Sr, B, I, Mo) в черноземах и серых лесных почвах Центрального Черноземья. Воронеж : Изд-во Воронеж. гос. ун-та, 2003. 367 с.

Пуртова Л. Н. Бурдуковский М. Л. К оценке экологического состояния лугово-бурых почв Приморья // Вестн. КрасГАУ. 2016. № 7. С. 12–18.

Система земледелия Амурской области : производственно-практический справочник / ред. П. В. Тихончук. Благовещенск : Изд-во Дальневост. ГАУ, 2016. 570 с.

Сорокина О. А., Зарубина Н. В. Содержание химических элементов в аллювиальных почвах и донных отложениях реки Уркан (бассейн реки Амур) // Почвоведение. 2013. № 6. С. 681–690. DOI: 10.7868/S0032180X13060105.

Тимофеева Я. О. Микроэлементы в различных типах почв агрохимических стационаров // Вестн. КрасГАУ. 2011. № 2. С. 37–41.

Экогеохимия Западной Сибири. Тяжелые металлы и радионуклиды / ред. Г. В. Поляков. Новосибирск : Изд-во СО РАН, НИЦ ОИГТМ, 1996. 248 с.

R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, 2017. URL <https://www.R-project.org/>.

Kabata-Pendias A., Szeke B. Trace Elements in Abiotic and Biotic Environments. CRC Press, 2015. 425 p.

Treatise on geochemistry. Vol 3 / eds. H. D. Holland, K. K. Turekian. Amsterdam : Elsevier, 2004. 683 p.

Trace Elements Composition of Chernozem-like Soils on Zeya-Byreya Plain

A. V. Kondratova¹, V. F. Procopchuk²

¹*Institute of Geology and Nature Management FEB RAS, Blagoveshchensk*

²*Far East State Agricultural University, Blagoveshchensk*

Abstract. Concentration of trace elements in acrogenic soils of Amur region in conditions of long-term mineral fertilization is still poorly investigated. Chernozem-like soils, as a most fertility and widespread soils of Russian Far East's plains, occupy huge territory on Zeya-Byreya plain. This soil has been totally involved to tillage since the beginning of 20 century and account for 35 % of tillage

area. Due to high economic importance this soils attract many attentions to investigate physical-chemical characteristics and other soil properties but little is known about their trace elements composition. In our study for the first time we characterize wide spectra of total concentration of trace elements by using ICP-MS method. Concentration of trace elements are decreases in order: Ba > Sr > Rb > Cr > V > Zr > Cu > Ni > Li > Pb > Co > Ga > Y > Th > Sc > Nb > Cs > Be > Sn > U > Hf > W > Mo > Ta. The results show that concentration of Co, Be, Rb, Li, Ni are exceeding values of average concentrations in world soils. From the other hand, concentrations of Hf, Ta, W, U, Y, Nb are significantly lower than mean average values in soils of the world. Our data could be used to establishing of regional background trace elements concentration or evaluation of anthropogenic impact degree as well as in a complex ecological monitoring.

Keywords: chernozem-like soils, trace elements, mineral fertilization.

For citation: Kondratova A.V., Procopchuk V.F. Trace Elements Composition of Chernozem-like Soils on Zeya-Byreya Plain. *The Bulletin of Irkutsk State University. Series Biology. Ecology*, 2018, vol. 23, pp. 68-77. DOI: <https://doi.org/10.26516/2073-3372.2018.23.68> (in Russian)

References

- Vodyanitskij Yu.N. *Tyazhelye i sverkhtyazhelye metally i metalloidy v zagryaznennykh pochvakh* [Heavy and Superheavy Metals and Metalloids in Contaminated Soils]. Moscow, V.V. Dokuchaev Soil Science Inst. Publ., 2009, 95 p. (in Russian).
- Voitovich N.V., Polev N.A., Ostanina A.V. Otsenka zagryazneniya pochv sel'skokhozyaistvennogo ispol'zovaniya v rezultate agrogennogo vozdeistviya [Assessment of Soil Contamination in Agricultural Use as a Result of Agrogenic Effects]. *Pochvy Moskovskoi oblasti i ikh ispol'zovanie* [Soil of the Moscow Region and their Use]. Moscow, V.V. Dokuchaev Soil Science Inst. Publ., 2002, vol. 1, pp. 372-384 (in Russian).
- Voloshin E.I. Soderzhanie i raspredelenie mikroelementov v pochvakh Srednei Sibiri [Content and Distribution of Trace Elements in Soils of the Central Siberia]. *Bull. Krasnoyarsk St. Agricult. Univ.*, 2008, vol. 4, pp. 28-37. (in Russian).
- Golov V.I. *Krugovorot sery i mikroelementov v osnovnykh agroekosistemakh Dal'nego Vostoka* [Cycling of Sulfur and Trace Elements in Major Agro-Ecosystems of the Far East]. Vladivostok, Dal'nauka Publ., 2004. 316 p. (in Russian).
- Golov G.V. *Pochvy i ekologiya agrofytotsenozov Zeisko-Bureinskoi ravniny* [Soils and Ecology of Agrophytocenoses of the Zeya-Bureya Plain]. Vladivostok, Dalnauka Publ., 2004, 316 p. (in Russian).
- Dimidenok Zh.A. *Otsenka soderzhaniya tyazhelykh metallov v agroekosistemakh yuzhnoi zony Srednego Priamur'ya* [Assessment of Heavy Metals Content in Agroecosystems in Southern Zone of the Middle Amur Region: Candidate in Biology dissertation abstract]. Blagoveshchensk, 2005, 24 p. (in Russian).
- Ivanov V.V. *Ekologicheskaya geokhimiya elementov: kn. 6* [Ecological Geochemistry of Elements. Book 6]. Moscow, Ecology Publ., 1997, 606 p. (in Russian).
- Shishov L.L., Tonkonogov V.D., Lebedeva I.I., Gerasimova M.I. *Klassifikatsiya i diagnostika pochv Rossii* [Classification and Diagnostics of Soil of Russia]. Smolensk, Oikumena Publ., 2004, 342 p. (in Russian).
- Kostikov D.N. *Mikroelementy v pochvakh Zeisko-Bureinskoi ravniny* [Trace Elements in the Soils of the Zeya-Bureya Plain]. Proc. Blagoveshchensk Agricult. Inst., 1971, vol. 6, pp. 106-109. (in Russian).
- Martynov A.V. Soderzhanie i raspredelenie mikroelementov v allyuvial'nykh pochvakh poim krupnykh rek Zeisko-Selemdzhinskoi ravniny [Content and Distribution of Trace Elements in Alluvial Soils in Floodplains of Large Rivers of the Zeya-Selemdzha Plain]. *Geography and Natural Resources*, 2015, vol. 3, pp. 138-145. (in Russian).
- Protasova N.A., Gorbunova N.S., Belyaev A.B. Biogeokhimiya mikroelementov v obyknovennykh chernozemakh Voronezhskoi oblasti [Biogeochemistry of Microelements in Common Chernozems of Voronezh Region]. *Bull. Voronezh St. Univ. Ser. Chem. Ecol. Pharm.*, 2015, vol. 4, pp. 100-106. (in Russian).

Protasova N.A., Shcherbakov A.P. *Mikroelementy (Cr, V, Ni, Mn, Zn, Cu, Co, Ti, Zr, Ga, Be, Ba, Sr, B, I, Mo) v chernozemakh i serykh lesnykh pochvakh Tsentral'nogo Chernozem'ya* [Minerals (Cr, V, Ni, Mn, Zn, Cu, Ti, Zr, Ga, Be, Ba, B, I, Mo) in Chernozems and Gray Forest Soils of the Central Black Earth Region]. Voronezh, Voronezh St. Univ. Publ., 2003. 367 p. (in Russian). (in Russian).

Purtova L.N., Burdukovskii M.L. K otsenke ekologicheskogo sostoyaniya lugovo-burykh pochv Primor'ya [To the Assessment of Ecological Condition of Meadow-Brown Soils of Primorye]. *Bull. Krasnoyarsk St. Agricult. Univ.*, 2016, vol. 7, pp. 12-18. (in Russian).

Tikhonchuk P.V. (ed.). *Sistema zemledeliya Amurskoi oblasti: proizvodstvenno-prakticheskii spravochnik* [Amur Region Agriculture System: Industrial and Practical Guide]. Blagoveshchensk, Far East. St. Agricult. Univ. Publ., 2016, 570 p. (in Russian).

Sorokina O.A., Zarubina N.V. Soderzhanie khimicheskikh elementov v allyuvial'nykh pochvakh i donnykh otlozheniyakh reki Urkan (bassein reki Amur) [Content of Chemical Elements in Alluvial Soils and Bottom Sediments of the Urkan River (Amur River Basin)]. *Eurasian Soil Sci.*, 2013, vol. 6, pp. 681-690. DOI: 10.7868/S0032180X13060105. (in Russian).

Timofeeva Ya.O. Mikroelementy v razlichnykh tipakh pochv agrokhimicheskikh statsionarov [Microelements in Various Soil Types at Agrochemical Stations] *Bull. Krasnoyarsk St. Agricult. Univ.*, 2011, vol 2, pp. 37-41. (in Russian).

Ekogeokhimiya Zapadnoi Sibiri. Tyazhelye metally i radionuklidy [Ecogeochemistry of West Siberia. Heavy Metals and Radionuclear Substances] / G. V. Polyakov (ed.). Novosibirsk, SB RAS Publ., 1996, 246 p. (in Russian).

R Core Team. *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, 2017. URL <https://www.R-project.org/>.

Kabata-Pendias A., Szeke B. *Trace Elements in Abiotic and Biotic Environments*. CRC Press, 2015, 425 p.

Treatise on geochemistry. Vol. 3 / H. D. Holland, K. K. Turekian (eds.). Amsterdam: Elsevier, 2004, 683 p.

Кондратова Анжелика Викторовна
кандидат сельскохозяйственных наук
научный сотрудник
Институт геологии и природопользования
ДВО РАН
Россия, 675000, Амурская область,
г. Благовещенск, пер. Рёлочный, 1
тел.: (4162)22–53–27
e-mail:kondratova.ava@gmail.com

Kondratova Anzhelika Viktorovna
Candidate of Science (Agriculture),
Research Scientist
Institute of Geology and Nature Management
FEB RAS
1, Relochny lane, Blagoveshchensk, 675000,
Russian Federation
tel.: (4162)22–53–27
e-mail:kondratova.ava@gmail.com

Прокопчук Валентина Федоровна
кандидат сельскохозяйственных наук,
доцент
Дальневосточный государственный
аграрный университет
Россия, 675000, Амурская область, г. Благо-
вещенск, ул. Политехническая 8
тел.: (4162)99–51–83
e-mail: vfp200@mail.ru

Procopchuk Valentina Fedorovna
Candidate of Science (Agriculture),
Associate Professor
Far East State Agricultural University
86, Polytechnicheskaya st., Blagoveshchensk,
675000, Russian Federation
tel.: (4162)99–51–83
e-mail: vfp200@mail.ru