

СОДЕРЖАНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ПЕСКАХ СОСНОВОГО БОРА СЕМИПАЛАТИНСКОГО ПРИИРТЫШЬЯ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

А. Р. Сибиркина

Челябинский государственный университет

Поступила в редакцию 01.04.2011 г.

Аннотация. Выявлено, что исследованные пески по содержанию группы ТМ (Zn, Pb, Cd, Cu), по отношению кислоторастворимых форм к их валовому содержанию (Cu — 2,96%, Zn — 3,46%, Pb — 3,42%, Cd — 19,16%), относятся к категории фоновых почв. По степени подвижности изученные ТМ образуют следующие убывающие ряды: в кислоторастворимой и обменной формах: Zn > Pb > Cd > Cu; в водорастворимой форме: Zn > Pb > Cu > Cd. Установлено, что доступность для растений составляет для: Cu — 1,14%, Zn — 1,59%, Pb — 1,42%, Cd — 8,98%.

Ключевые слова: тяжелые металлы, пески, фоновые почвы, низкая доступность для растений.

Abstract. It is revealed that explored sand on contents of the under investigation group HM (Zn, Pb, Cd, Cu), on attitude acid dissolved forms to their gross contents (Cu — 2,96%, Zn — 3,46%, Pb — 3,42%, Cd — 19,16%), fall into category of background ground. On degree of the mobility's studied by HM form following decreasing rows. In acid and fraudulent forms: Zn > Pb > Cd > Cu; in water form: Zn > Pb > Cu > Cd. It is installed that accessibility for plants forms for: Cu — 1,14%, Zn — 1,59%, Pb — 1,42%, Cd — 8,98%.

Keywords: heavy metals, sand, background ground, low accessibility for plants.

ВВЕДЕНИЕ

Важным условием обеспечения охраны окружающей среды является наличие полных и достоверных сведений о природных объектах-ресурсах, в особенности почв, их состоянии и положении. Почва — специфический компонент биосферы, полифазная, многокомпонентная, полидисперсная и полифункциональная открытая система, обладающая в силу совокупности природных свойств значительной буферностью, в том числе по отношению к химическому загрязнению тяжелыми металлами (ТМ). На почвах оседает большая часть загрязнителей из аэральных потоков. При этом почва не только связывают загрязнители, но и выступают как природный буфер, контролирующий перемещение химических элементов и соединений в атмосферу, гидросферу, живое вещество [1]. В то же время, содержание химических элементов в почве зависит от множества факторов: генезиса почв, ее физических и физико-химических свойств, количества гумуса, антропогенных факторов, вызывающих загрязнение тяжелыми металлами, в том числе Cu, Zn, Pb и Cd. И тогда почва становится основным, большей частью единственным источником ТМ для растений. От количества и соотношения химических элементов в почвах во многом

зависят их растительный покров, формирование биогеохимических провинций, природный фон ТМ в почвах и т. п. [2].

Как известно, ТМ играют особую роль в биосфере, одновременно являясь необходимой частью ферментативной системы живых организмов и опасными загрязнителями окружающей среды, в том числе и почв [3]. На сегодняшний день накоплено немало сведений о закономерностях поглощения и накопления ТМ почвами, однако, имеющиеся сведения чаще всего являются противоречивыми, требующими новых исследований. Данная противоречивость в исследованиях связана со множеством причин, в частности, с особенностью поведения ТМ в различных типах почв и т. д. Выяснение глобальных закономерностей массообмена и распределения масс металлов в биосфере представляет весьма актуальную задачу [3].

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Уникальные сосновые боры Семипалатинского Прииртышья (СП) располагаются в ложбинах древнего стока, протягивающихся с юго-запада на северо-восток. Боровые ложбины сложены четвертичными песчаными отложениями и представляют собой бугристо-грядовые и грядово-ложбинные формы рельефа, существенно преобразованные оловой деятельностью [4].

В почвах ленточных боров исключается возможность подзолообразования, а почвообразование протекает в направлении выщелачивания — осолодения. Почвы боровых песков исследуемой территории свободны от легкорастворимых солей на большую глубину [5]. В пределах сосновых боров СП пески боровые, в зависимости от особенностей рельефа подразделяются на равнинные и бугристые.

Пески боровые равнинные характеризуются по механическому составу как образования рыхлопесчаные, содержащие в поверхностных горизонтах около 5% частиц «физической глины». По гранулометрическому составу они представлены преимущественно фракцией мелкого песка, в глубоких горизонтах местами обнаруживаются более тяжелые по механическому составу прослойки, что свидетельствует о древнеаллювиальном происхождении этих песков. Имеются как морфологические, так и химические признаки осолодения и им наиболее подходит генетическое название — лесостепные осолоделые рыхлопесчаные почвы [5].

Пески боровые бугристые закрепленные отличаются всхолмленным бугристым рельефом с довольно многочисленными замкнутыми депрессиями — котловинами выдувания. Относительные высоты бугров составляют 3—6 м, достигая 8 м. Почвообразующими породами служат также первоначально аллювиальные пески, но с поверхности, перевеянные на большую или меньшую глубину, в результате чего они отличаются лучшей отсортированностью, меньшей пылеватостью и карбонатностью, а также более рыхлым сложением. Грунтовые воды, в основном пресные, залегают в большинстве случаев глубоко (до 6—10 м) на буграх и значительно ближе к поверхности — в котловинах. Почвообразование здесь протекает так же, как и на боровых равнинных песках, но морфологические и химические свойства проявляются в ослабленной степени вследствие более молодого возраста почв. Почвенный профиль отличается более слабой дифференциацией на генетические горизонты, более глубоким вскипанием от соляной кислоты и более рыхлым сложением [5].

Отбор проб проводили в летне-осенний период (август-сентябрь) 2007 года на различных участках Семипалатинского равнинного и бугристого песчаного лесного района: в окрестностях г. Семей с углублением в лес на 500—1500 м к западу и северо-западу от города, в Бескарагайском районе (в районах сел Долонь, Бегень и Сосновка), в Бородулихинском районе (в районе г. Шульбинска).

Было изучено содержание ТМ на разных высотах барханов (вершина, средняя часть и основание), в качестве объекта исследования были выбраны барханы одинаковой высоты, примерно 5—6 м.

При отборе, транспортировке, хранении и подготовке проб почв для анализа были использованы методические указания, инструкции, опубликованные во многих научных работах и утвержденные в стандартах [6—10].

Для определения валовых форм ТМ бралась навеска 10 г, которую озоляли в муфельной печи при t 450—500 °С в течение 5—8 часов. Полученную золу переводили в раствор ускоренным методом с применением концентрированных минеральных кислот и перекиси водорода [11]. Всего было проанализировано 78 почвенных проб.

С целью более полной агрохимической и экотоксикологической оценки почв в задачи эксперимента, наряду с валовым анализом, входило изучение подвижных форм ТМ. Фракционирование осуществлялось из отдельных навесок почвы массой 5 г. Соотношение почва : экстрагент составляло 1 : 10, время экстракции — 1 час. Пробы встряхивались на ротаторе в течение одного часа, после экстрагирования суспензии фильтровали и в фильтрате атомно-абсорбционным методом определяли содержание ТМ. Были определены подвижные формы: кислоторастворимая (1 М раствор HCl), обменная (ацетатно-аммонийный буфер с pH 4,8), водорастворимая (бидистиллированная вода).

Вклад техногенной составляющей в общее содержание химического элемента в почве можно оценить, используя экстракционный критерий, представляющий собой отношение содержания химического элемента в кислых вытяжках к их валовому содержанию, выраженное в процентах. В зависимости от физико-химических свойств и гранулометрического состава для фоновых почв это отношение составляет 5—20%, а для техногеннозагрязненных — более 50% [11—14]. Вытяжка 1М раствором HCl является показательной для сравнительной характеристики уровня загрязнения почв и выявления наиболее загрязненных участков [11—14].

Для оценки уровня накопления ТМ в почвах был рассчитан кларк концентрации (Кк), представляющий отношение содержания элемента в пробе почвы к его кларку в земной коре.

Полученные экспериментальные данные были обработаны вариационно-статистическими методами с использованием программы Microsoft Excel [15].

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Как и большинство почв, сформированных под лесной растительностью, почвы соснового бора Семипалатинского Прииртышья Восточно-Казахстанской области (ВКО) Республики Казахстан (РК) содержат небольшое количество гумуса (табл. 1), причем основная его масса сосредоточена в поверхностном слое. Карбонаты присутствуют в небольшом количестве и на значительной глубине. Реакция почвенных растворов слабокислая в верхней части профиля и слабощелочная в нижней. Емкость катионного обмена (ЕКО) менее 4, т. е. буферность почвы — низкая [16].

Почвы лесных ландшафтов при всем их разнообразии имеют некоторые общие черты, обусловленные близким характером происходящих в них биогеохимических процессов. Наиболее характерные для лесной зоны миграционные формы металлов связаны с растворимым органическим веществом [3]. Исследуемые боровые пески являются обедненными органическим веществом, слабогумусированными почвами, неспособными к активному накоплению в них ТМ. При проведении эколого-геохимических исследований содержания ТМ в почве представляет большой интерес изучение их валового содержания. Пределы колебаний и среднее валовое содержание ТМ в боровых бугристых и равнинных песках соснового бора представлены в таблице 2. Известно, что органическое вещество в почвенных процессах выступает в роли аккумулирующего агента, обеспечивая биогенное накопление ТМ, и в то же время, способствует миграции и перераспределению их по почвенному профилю. ТМ попадают в органическое вещество почвы как в процессе его синтеза из растительных остатков, так и после завершения этого процесса [1]. В то же время, отмечается, что прямой корреляции между содержанием металлов в почвах и содержанием органического вещества, как правило, не наблюдается. Это связано с тем, что качественный состав гумуса разных почв неодинаков [17, 18].

Сорбция ТМ существенно зависит и от карбонатов, содержащихся в почвах. Металлы могут осаждаться с карбонатами, входя в их структуру, или сорбироваться на оксидах железа и марганца, которые оседают на поверхности карбонатов. Большое сродство ТМ к карбонатам определяется их малой растворимостью [20]. Как уже отмечалось, исследованные боровые пески отличаются низким содержанием органических веществ и небольшим количеством карбонатов, очевидно, именно это препятствует активному накоплению в них ТМ. Накопление изученных ТМ в равнинных и бугристых боровых песках варьируется в широких пределах: содержание ТМ в боровых равнинных песках значительно выше, чем в бугристых (от 1,1 раза по меди до 58,2 раза по кадмию). Очевидно, что причинами их различной сорбционной способности является разный физико-химический и морфологический состав. Пески равнинных ленточных боров Прииртышья являются более древними, для них характерны морфологические и химические признаки осолодения, в отличие от бугристых песков, отличающихся более слабой дифференциацией на генетические горизонты, более глубоким вскипанием от соляной кислоты (еще более глубокое залегание карбонатов) и более рыхлым сложением.

В работах В. Б. Ильина и А. И. Сысо [16,21] не раз отмечалось, что валовое количество микроэлементов в почвах — наследуемое свойство. Боровые пески сформированы на древнеаллювиальных песках, имеющих самое низкое содержание ТМ из всех почвообразующих пород региона [1], и как видно из табл. 2, отличаются минимальной концентрацией ТМ. Вместе с тем, выявлено несколько повышенное содержание Zn и Pb, превышающие их кларковые значения для средней полосы Восточного Казахстана, в пределах которого располагается Семипалатинское Прииртышье [1], в 1,4 (1,1—1,55) и в 1,5 (1,0—1,7) раза соответственно. Концентрации выше ПДК выявлены только для Zn от 2,7 (2,1—3,0 раза), валовое содержание других ТМ ниже ПДК. В своей работе В. В. Добровольский

Таблица 1

Средний механический состав и химические свойства боровых песков соснового бора Семипалатинского Прииртышья, A_{max} (глубина 1—20 см)

Гумус, %	СО ₂ карбонатов, %	рН водной суспензии	Илистая фракция <0,001 (% к абс. сухой почве)	Физическая глина <0,01 (% к абс. сухой почве)	Физический песок >0,01 (% к абс. сухой почве)	Гигроскопическая влага, %	ЕКО, мг-экв. на 100 г почвы
0,7	—	6,7	3,3	1,1	5,0	0,6	<4

[3] неоднократно указывал на то, что к природным массам свинца и цинка добавляются растворимые формы антропогенного происхождения. По-видимому, в процессе тропосферной миграции происходит существенная трансформация состояния свинца и цинка, и часть форм, связанных с твердым веществом, переходит в растворимое состояние. По этой причине на поверхность педосферы и растительный покров поступает значительно больше растворимых форм свинца и цинка, чем их вовлекается в массообмен с атмосферой. Кроме того, следует отметить, что ВКО РК в силу исторически сложившегося экономического развития, связанного с преобладанием цветной металлургии и горнодобывающей промышленности, является

одним из наиболее неблагоприятных регионов в Казахстане. Наиболее серьезную опасность для окружающей среды и здоровья населения представляют: АО «Иртышский полиметаллический комбинат», АО «Лениногорский полиметаллический комбинат», АО «Усть-Каменогорский свинцово-цинковый комбинат».

Исследования содержания ТМ на разных высотах бархана показали, что существует определенная закономерность в распределении их концентраций, которая увеличивается с понижением, т. е. от вершины к основанию бархана (табл. 3).

Вероятно, данное явление связано с тем, что, во-первых, осуществляется непрерывный механический перенос частиц почвы с возвышенностей в

Таблица 2

Валовое содержание Cu, Zn, Pb и Cd в боровых песках (A_{max} , глубина 1–20 см), мг/кг

ТМ	В совокупности боровых бугристых и равнинных песков, $n=78$	В боровых бугристых песках, $n=48$	В боровых равнинных песках, $n=30$	Средняя полоса Восточного Казахстана, (A_{max}) [1, 22]	ПДК [19]
Cu	$\frac{11,04 \pm 0,45}{3,09-29,60}$	$\frac{10,43 \pm 0,53}{7,08-12,49}$	$\frac{11,40 \pm 0,44}{3,09-29,60}$	21,1	33
Zn	$\frac{61,78 \pm 3,43}{29,67-147,44}$	$\frac{48,60 \pm 2,49}{42,60-53,82}$	$\frac{69,46 \pm 4,51}{29,67-147,44}$	44,9	23
Pb	$\frac{23,11 \pm 1,44}{10,53-61,86}$	$\frac{16,26 \pm 0,76}{12,78-19,73}$	$\frac{27,11 \pm 1,35}{10,53-61,86}$	15,8	32
Cd	$\frac{0,167 \pm 0,008}{0,002-1,82}$	$\frac{0,0045 \pm 0,0003}{0,003-0,005}$	$\frac{0,262 \pm 0,011}{0,002-1,82}$	0,2	0,5

Примечание: В таблицах 2, 3, 5 в числителе — $\bar{x} \pm t \bar{x}$, в знаменателе — min—max.

Таблица 3

Среднее валовое содержание цинка, свинца, меди и кадмия в бугристых боровых песках на разной высоте бархана (A_{max} , глубина 1–20 см), $n=48$

Зоны бархана	Содержание ТМ, мг/кг			
	Zn	Cd	Pb	Cu
Вершина бархана, $h=5-6$ м	$\frac{44,21 \pm 2,36}{42,60-50,78}$	$\frac{0,0038 \pm 0,0002}{0,003-0,0047}$	$\frac{12,96 \pm 0,61}{12,78-15,62}$	$\frac{7,95 \pm 0,41}{7,08-9,98}$
Середина бархана, $h=2-3$ м	$\frac{48,67 \pm 2,10}{43,73-52,05}$	$\frac{0,0047 \pm 0,0003}{0,0037-0,0049}$	$\frac{16,23 \pm 0,73}{14,31-18,66}$	$\frac{8,30 \pm 0,53}{7,78-10,08}$
Основание бархана, $h=0$ м	$\frac{52,93 \pm 3,01}{48,31-53,82}$	$\frac{0,0049 \pm 0,0005}{0,0044-0,005}$	$\frac{19,59 \pm 0,95}{17,58-19,73}$	$\frac{15,04 \pm 0,65}{8,36-12,49}$
Среднее по всему бархану	$\frac{48,60 \pm 2,49}{42,60-53,82}$	$\frac{0,0045 \pm 0,0003}{0,003-0,005}$	$\frac{16,26 \pm 0,76}{12,78-19,73}$	$\frac{10,43 \pm 0,53}{7,08-12,49}$

низины, где они скапливаются в большом количестве, что сильно влияет на распределение и содержание ТМ в песках; во-вторых, в результате выпадения осадков происходит миграционный смыв химических элементов; в-третьих, на содержание ТМ в песках огромное влияние оказывают растения, численность которых также увеличивается сверху в низ.

Об уровне содержания ТМ в почвах можно судить по кларку их концентраций (Кк). Кларки концентрации ТМ в борových песках СП представлены в таблице 4, из которой видно, что содержание Cu и Zn ниже кларковых величин (табл. 4), а содержание Cd и Pb в исследованных почвах в 1,3—1,7 раза превышает кларк.

В геохимических рядах накопления ТМ отмечена свинцово-кадмиевая специализация, вероятнее всего антропогенного происхождения. Ряд авторов указывает, что антропогенная эмиссия кадмия в 5 раз превышает природную [23]. Общая формула геохимической специализации для изученных элементов выглядит так: $Pb_{1,4}Cd_{1,3}Zn_{0,7}Cu_{0,2}$.

Для выявления обеспеченности почв химическими элементами для нормального роста и развития растений изучение валового их содержания в почвах является недостаточным и малоэффективным. Более важным и перспективным является исследование химических форм соединений элементов, главным образом «подвижных» [21, 24]. Концентрация подвижных соединений очень мала, но как раз за их счет обеспечивается потоки микроэлементов в биологический круговорот, в водном и в воздушном (метеоритном) миграционных процессах, создаются природные и техногенные очаги с дефицитом или избытком химических элементов в объектах окружающей природной среды

Таблица 4

Уровень содержания Cu, Zn, Pb и Cd в борových песках, Кк

Показатель	Cu	Zn	Pb	Cd
Кларк в земной коре, мг/кг [22]	47	83	16	0,13
Среднее валовое содержание, мг/кг	11,04	61,78	23,11	0,167
Кк	0,2	0,7	1,4	1,3

[25]. В табл. 5 отражена информация о содержании подвижных форм соединений ТМ.

По степени подвижности ТМ образуют следующие убывающие ряды:

— в кислоторастворимой и обменной формах: $Zn > Pb > Cd > Cu$;

— в водорастворимой форме: $Zn > Pb > Cu > Cd$.

Информацию о содержании в почве подвижных форм соединений химических элементов можно использовать для оценки степени техногенного загрязнения почв. Соотношение подвижных форм соединений исследуемой группы ТМ к их валовому содержанию, а, следовательно, и доступность для растений невелика и составляет для: Cu — 1,14%, Zn — 1,59%, Pb — 1,42%, Cd — 8,98%.

Для оценки устойчивости и стабильности экосистем на региональном уровне необходимы сбор и обобщение данных о естественном фоне содержания ТМ в природных средах. В частности нами выявлено, что по отношению кислоторастворимых форм к их валовому содержанию изученные почвы для исследуемой группы ТМ, относятся к категории фоновых почв (Cu — 2,96%, Zn — 3,46%, Pb — 3,42%, Cd — 19,16%).

Таблица 5

Вариационно-статистические показатели содержания подвижных форм тяжелых металлов в борových песках (A_{max} глубина 1—20 см) Семипалатинского Прииртышья

Подвижные формы	Cu	Zn	Pb	Cd
Кислоторастворимая	$0,327 \pm 0,026$ 0,085—0,895	$2,14 \pm 0,163$ 0,28—7,80	$0,79 \pm 0,054$ 0,22—1,60	$0,032 \pm 0,0017$ 0,0015—0,115
Обменная	$0,047 \pm 0,003$ сл.—0,084	$0,73 \pm 0,041$ 0,10—3,40	$0,14 \pm 0,008$ 0,045—0,480	$0,006 \pm 0,0018$ 0,003—0,028
Водорастворимая	$0,005 \pm 0,0002$ 0,003—0,0065	$0,075 \pm 0,0003$ 0,038—0,190	$0,054 \pm 0,0002$ 0,025—0,067	$0,006 \pm 0,0002$ 0,002—0,059
Среднее для подвижных форм, мг/кг	0,126	0,982	0,328	0,015

Регрессионные уравнения прямолинейной функции, отражающие корреляционную зависимость между валовым содержанием и подвижными формами ТМ в почве

Подвижные формы тяжелых металлов		
Кислоторастворимая	Обменная	Водорастворимая
$y=0,0347x - 0,0111$ $R^2=0,9987$	$y=0,0123x - 0,0654$ $R^2=0,9625$	$y=0,0012x + 0,0064$ $R^2=0,8272$

Выведенные регрессионные уравнения прямолинейной функции, отражающие корреляционную зависимость между валовым содержанием и подвижными формами ТМ в почве, показали, что между исследованными параметрами обнаружена достоверно высокая прямая корреляционная зависимость (табл. 6). Данный результат подтверждается рассчитанными коэффициентами корреляции ($r=0,91—0,99$).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выявлено, что исследуемые боровые пески сосновых боров Семипалатинского Прииртышья ВКО РК характеризуются несколько повышенным содержанием Zn и Pb относительно ПДК и регионального кларка.

Существует определенная закономерность в распределении концентраций ТМ по высоте барханов: их содержание увеличивается с понижением, т.е. от вершины к основанию бархана.

В геохимических рядах накопления ТМ отмечена свинцово-кадмиевая специализация. Общая формула геохимической специализации для изученных элементов: $Pb_{1,4}Cd_{1,3}Zn_{0,7}Cu_{0,2}$.

По степени подвижности ТМ образуют следующие убывающие ряды: в кислоторастворимой и обменной формах: $Zn > Pb > Cd > Cu$; в водорастворимой форме: $Zn > Pb > Cu > Cd$. Соотношение подвижных форм изученных соединений ТМ к их валовому содержанию, а, следовательно, и доступность для растений, невелики и составляет для: Cu — 1,14%, Zn — 1,59%, Pb — 1,42%, Cd — 8,98%. Между содержанием валовой и подвижными формами ТМ в почве обнаружена достоверно высокая прямая корреляционная зависимость. Полученные данные можно использовать для оценки степени техногенного загрязнения изученных почв.

Изученные почвы по соотношению в них кислоторастворимой формы исследуемой группы ТМ к их валовой относятся к категории фоновых почв (Cu — 2,96%, Zn — 3,46%, Pb — 3,42%, Cd — 19,16%).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Панин М. С. Формы соединений тяжелых металлов в почвах средней полосы Восточного Казахстана (фоновый уровень) / М. С. Панин. — Семипалатинск: ГУ «Семей», 1999. — 329 с.
2. Сысо А. И. Общие закономерности распределения микроэлементов в покровных отложениях и почвах Западной Сибири / А. И. Сысо // Сиб. экол. журн. — 2004. — № 3. — С. 273—287.
3. Добровольский В. В. Основы биогеохимии: Учеб. пособие для геогр., биол., геолог., с.-х. спец. вузов. / В. В. Добровольский. — М.: Высш. шк., 1998. — 413 с.
4. Почвы Алтайского края / Под ред. В. И. Базилевич и А. Н. Розанова. — М.: Изд-во АН СС СР, 1959. — 381 с.
5. Соколов А. А. Природные зоны Казахстана / А. А. Соколов // Агрохимическая характеристика почв СС СР. Казахстан и Челябинская область. — М.: Наука, 1968. — Т. 8. — С. 9—24.
6. Саэт Ю. Е. Геохимия окружающей среды / Ю. Е. Саэт. — М.: Недра, 1990. — 335 с.
7. Добровольский В. В. География почв с основами почвоведения / В. В. Добровольский. — М.: Изд-во Владес, 1999. — С. 171—178.
8. Жидеева В. А. Особенности распределения различных форм агротехногенной меди в почвах яблоневых садов Курской области / В. А. Жидеева, И. И. Васнев, А. П. Щербаков // Агрохимия. — 1999. — №9. — С. 68—69.
9. Ринькис Г. Я. Методы анализа почв и растений / Г. Я. Ринькис, Х. К. Рамане, Т. А. Куницкая — Рига: Зинатне, 1987. — 210 с.
10. Фурсов М. Р. Глобальные проблемы окружающей среды / М. Р. Фурсов. — М.: МГУ, 1995. — С. 458—562.
11. Ладонин Д. В. Влияние техногенного загрязнения на фракционный состав меди и цинка в почвах / Д. В. Ладонин // Почвоведение. — 1995. — № 10. — С. 1299—1305.
12. Ладонин Д. В. Соединения тяжелых металлов в почвах — проблемы и методы изучения / Д. В. Ладонин // Почвоведение. — 2002. — № 6. — С. 682—692.
13. Решетников С. И. Формы соединений меди в дерново-подзолистых почвах / С. И. Решетников // Биологические науки. — 1990. — № 4. — С. 114—123.
14. Садовникова Л. К. Физические и химические методы исследования почв / Л. К. Садовникова, Д. В. Ла-

- донин / Под. ред. Д. С. Орлова, А. Д. Воронина. — М.: Изд-во МГУ, 1994. — С. 130—141.
15. *Плохинский Н. А.* Биометрия. / Н. А. Плохинский. — М.: Изд-во Моск. Университет, 1975. — 367 с.
16. *Ильин В. Б.* Микроэлементы и тяжелые металлы в почвах и растениях Новосибирской области / В. Б. Ильин, А. И. Сысо. — Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2001. — 145 с.
17. *Пинский Д. Л.* Формы соединения цинка и кадмия в естественных и загрязненных почвах. Цинк и кадмий в окружающей среде / Д. Л. Пинский. — М.: Наука, 1992. — С. 74—83.
18. *Плеханова И. О.* Экстракционные методы изучения состояния тяжелых металлов в почвах и их сравнительная оценка / И. О. Плеханова, В. А. Бамбушева // Почвоведение. — 2010. — №9. — С. 1081—1088.
19. Совместный приказ Министерства здравоохранения (№ 99 от 30.01.2004) и Министерства охраны окружающей среды (№ 21-п от 27.01.2004).
20. *Кабата-Пендиас А.* Микроэлементы в почвах и растениях / А. Кабата-Пендиас, Х. Пендиас. — М.: Мир, 1989. — 243 с.
21. *Ильин В. Б.* Биогеохимия и агрохимия микроэлементов марганца, меди, молибдена, бора в южной части Западной Сибири / В. Б. Ильин. — Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1973. — 392 с.
22. *Панин М. С.* Эколого-биогеохимическая оценка техногенных ландшафтов Восточного Казахстана / М. С. Панин. — Алматы: Изд-во «Эверо», 2000. — 338 с.
23. Грибное сообщество как объекты регионального мониторинга и биоиндикации загрязнений тяжелыми металлами / Г. П. Островерхова [и др.] // Сиб. экол. журн. — 2002. — № 1. — С. 35—40.
24. *Сиромля Т. И.* К вопросу о подвижных формах соединений химических элементов в почвах / Т. И. Сиромля // Сиб. экол. журн. — 2009. — № 2. — С. 307—318.
25. *Ильин В. Б.* Особенности микроэлементного состава почв Западной Сибири и их отражение в региональной биогеохимии, экологии, почвоведения / В. Б. Ильин, А. И. Сысо // Сиб. экол. журн. — 2004. — № 3. — С. 259—271.

Сибиркина Альфира Равильевна — к.х.н., доцент кафедры геоэкологии Челябинского государственного университета; тел.: (908) 060-1187, e-mail: sibirkina_alfira@mail.ru

Sibirkina Alfira R. — PhD, assistant professor, Chelyabinsk State University; tel.: (908) 060-1187, e-mail: sibirkina_alfira@mail.ru