

ХИМИЯ

ПОЧВ

УДК 549.29:550.42:631.41(571.54)

ЦИНК В ПОЧВАХ ЗАБАЙКАЛЬЯ

© 1999 г. В. К. Кашин, Г. М. Иванов

Институт общей и экспериментальной биологии Сибирского отделения РАН, Улан-Удэ

Льстнула в редакцию 20.12.95 г.

Изучены некоторые закономерности и особенности распределения цинка в почвах Забайкалья. Установлена тесная зависимость содержания валового цинка в почвах от его концентрации в почвообразующих породах и от содержания глинистой фракции. Почвы северной части территории (таежные и лесостепные ландшафты) содержат в 2 раза меньше цинка по сравнению с южной (степные и сухостепные ландшафты). Дефицит подвижного цинка в почвах определяет низкий уровень его накопления в растениях и высокую эффективность от применения соединений цинка в агрохимических опытах.

ВВЕДЕНИЕ

Цинк является, с одной стороны, биологически важным микроэлементом при низких содержаниях, с другой - опасным токсикантом для живых организмов при высоких концентрациях. Этим определяется необходимость изучения его содержания в биосфере, в том числе в ее важнейшем компоненте - почвах.

Поведение цинка в педосфере зависит от его физико-химических показателей: размера ионного радиуса, потенциала ионизации, электроотрицательности, строения электронных оболочек и др. В зависимости от щелочно-кислотных условий цинк может проявлять амфотерный характер. Он реагирует с кислотами, образуя легкоподвижные ионы Zn^{2+} . Реагируя с щелочами, он образует малоподвижный анионный комплекс тетрагидроксоцинкат [21].

Особенности геохимии цинка в земной коре проявляются в различиях его распределения в разных типах магматических горных пород. Среднее содержание цинка в основных горных породах (120 мг/кг) значительно выше, чем в кислых (45 мг/кг). Средние породы по количеству цинка занимают промежуточное положение (60 мг/кг) [22]. В связи с этим состав коренных и почвообразующих пород является главным фактором, обуславливающим уровень содержания цинка в формирующихся на них почвах.

Цинк присутствует в породах главным образом в виде простого сульфида (ZnS), а также изоморфно замещает магний в силикатах [9]. При разрушении горных пород и цинковых минералов в процессе выветривания образуется подвижный ион Zn^{2+} , особенно в кислых средах.

Наиболее важными факторами, контролирующими накопление и поведение цинка в почвах, являются водные оксиды железа, глинистые частицы, органическое вещество и значения рН. Благодаря

образованию полимолекулярных пленок гидроксидов железа на поверхности высокодисперсных частиц минеральных компонентов почвы и рыхлых покровных отложений и их огромной суммарной поверхности в разных почвах около 50% всего количества металлов связано с гидроксидами железа [5]. В гумусовом горизонте наиболее богатых гумусом почв - черноземов - содержание цинка в адсорбционных комплексах с нерастворимыми компонентами органического вещества достигает 25% [8]. Часть металла связана непосредственно с глинистыми минералами путем прочных хемосорбционных связей и связей, допускающих катионный обмен. Адсорбция цинка может ослабляться при низких значениях рН (< 7) за счет конкуренции со стороны других ионов, что приводит к его выщелачиванию из кислых почв.

В аридных условиях, где преобладают нейтральная и слабощелочная среды, а типоморфным элементом является кальций, образуются труднорастворимые карбонаты цинка [10].

Обменные формы цинка, связанные как с минеральным, так и в органическим веществом, составляют незначительную часть общей массы металла, находящегося в почве. В связи с этим дефицит подвижного цинка в почвах отмечается на значительных площадях. В США он отмечается в почвах 43 штатов на площади 2.6 млн. га [20], а в России - на 75% площади из обследованных 4.05 млн/га [19]. Недостаток доступного цинка в почвах является причиной заболевания растений, снижения их продуктивности и качества.

Почва служит основным источником большинства химических элементов для растений, а через них - для человека и животных. Она является в то же время мощным барьером на пути промышленных выбросов, содержащих токсичные вещества, в том числе тяжелые металлы. Поэтому почва - высокоинформативный индикатор

ЦИНК В ПОЧВАХ ЗАБАЙКАЛЬЯ



Рис. 1. Район исследований и места отбора проб в ландшафтах Забайкалья: / - район исследований; ландшафты: 2 - сухостепные; 3 - степные; 4 - лесостепные; 5 - таежные; 6 - ключевые площадки мест пробоотбора.

уровня содержания химических элементов в окружающей среде.

Содержание цинка в почвах Забайкалья изучено крайне слабо. Имеются лишь фрагментарные сведения о содержании цинка в некоторых почвах южных районов Бурятии [12, 18]. Важная биологическая роль и слабая изученность цинка в почвах региона послужили основанием для проведения настоящего исследования. В задачу работы входило определение содержания валового и подвижного цинка, а также особенностей его распределения в основных типах почв центральных и южных районов Бурятии (Западное Забайкалье).

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Ключевые площадки размером 100 x 100 м размещались на типичных участках степей, лугов и посевов культурных растений. На каждой площадке закладывали основной почвенный разрез с полным описанием почвенного профиля и 3-5 дополнительных разрезов. В каждой точке наблюдения проводили одновременное сопряженное опробование почвенных горизонтов и почвообразующих пород, а также отдельных видов расте-

ний и общих укосов фитомассы с площади 1 м². Пробы почвообразующих пород и почв отбирали общепринятыми методами в полиэтиленовые пакеты во избежание загрязнения. Количество повторностей без смешивания проб от 4 до 8. На карте района отмечены места отбора проб - ключевые площадки (рис. 1). Валовое количество цинка определяли атомно-абсорбционным методом после серии предварительных операций по разрушению органической и минеральной частей почвы, удаления кремнезема и последующего растворения остатка в соляной кислоте [16]. Содержание подвижного цинка определяли в свежих пробах путем извлечения ацетатно-аммонийным буферным раствором с рН 4.8 [14]. Аналитическая погрешность 3-кратная. Математическая обработка данных приводилась по [17].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Содержание цинка в почвообразующих породах региона изменяется от 30 до 150 мг/кг (табл. 1,2) при средней степени вариации ($V = 41\%$). Наиболее часто встречающиеся концентрации цинка - 45-100 мг/кг (70% от всего количества определений). Среднее содержание цинка во всей совокупности

Таблица 1. Содержание цинка в почвообразующих породах северной части Забайкалья

Разрез	Почвообразующая порода	Цинк, мг/кг
<i>Прибайкальский район (таежные ландшафты)</i>		
103-ПБ-89	Делювиальные отложения (супеси)	46 ± 5
102-ПБ-89	Аллювиальные отложения (супеси)	40 ± 3
<i>Кабанский район</i>		
101-КБ-89	Песчаные отложения	38 ± 3
<i>Хоринский район (лесостепные ландшафты)</i>		
61-Х-88	Делювиальные отложения (суглинки)	40 ± 5
64-Х-88	То же (супеси)	35 ± 4
62-Х-88	Аллювиальные отложения (супеси)	30 ± 3
<i>Кижингинский район</i>		
54-КЖ-88	Делювиальные отложения (суглинки)	60 ± 9
53-КЖ-88	То же (супеси)	41 ± 6
52-КЖ-88	Аллювиальные отложения (супеси)	30 ± 4
<i>Заиграевский район</i>		
51-З-88	Делювиальные отложения (суглинки)	48 ± 8
55-З-88	То же (супеси)	35 ± 5
57-З-88	Аллювиальные отложения (супеси)	40 ± 4
	Среднее	40 ± 5

почвообразующих пород ($n = 44$) равно 71 мг/кг, что близко к кларку литосферы (83 мг/кг) [2].

Анализ пространственного распределения цинка в почвообразующих породах и почвах позволил выявить обшую закономерность: содержание цинка заметно увеличивается с северо-востока на юго-запад. Содержание его в почвообразующих породах северной части (таежные и лесостепные ландшафты) в среднем равно 40 мг/кг (колебания 30-60 мг/кг), а в южной (степные и сухостепные ландшафты) - 89 мг/кг (колебания 55-140 мг/кг).

Различное содержание цинка в почвообразующих породах обусловлено прежде всего характером коренных горных пород (табл. 3): на севере доминируют кислые и средние породы с содержанием цинка 23-55 мг/кг (среднее 38 мг/кг), а в южной - средние и основные, в которых его количество составляет 64-136 мг/кг (среднее 85 мг/кг), т.е. в 2.2 раза больше. Это соответствует показателям, отмеченным нами для почвообразующих пород.

Содержание цинка в значительной степени зависит от гранулометрического состава почвообразующих пород. Оно ниже в породах легкого гранулометрического состава — супесях и песках — и существенно выше в суглинистых отложениях. Причина заключается в том, что с утяжелением гранулометрического состава и увеличением суммарной удельной поверхности частиц усиливаются

сорбция рассеянных элементов за счет электростатических сил и их включение в межпакетное пространство [4]. Содержание глинистой фракции (< 0.01 мм) в почвообразующих породах региона изменяется от 5 до 45% [15].

Мы определяли содержание цинка в различных типах почв, занимающих разные уровни почвенно-геохимических катен: в серых лесных, черноземах малогумусных мучнисто-карбонатных (трансэлювиальные ландшафты северных склонов), каштановых (трансэлювиальные ландшафты южных склонов и плакоры) и пойменных луговых (супераккумулятивные ландшафты) почвах.

Для региона характерна географическая неоднородность распределения цинка в почвах, обусловленная его содержанием в почвообразующих породах. На рис. 2 видна четкая близкая к линейной зависимость содержания цинка в почвах от его количества в почвообразующих породах. Тесную сопряженность этих параметров отражает коэффициент линейной корреляции: $r = 0.84$ при $n = 44$, $t_{\text{факт}} = 10.2$, $t_{\text{теор}} = 2.0$.

Содержание цинка в почвах, так же как и в породах, существенно зависит от количества глинистых частиц (рис. 3).

Дифференциация микроэлементов в почвенном профиле контролируется содержанием органического вещества, илстой фракции, наличием сорбционных геохимических барьеров, значениями pH, увлажненностью [7, 9, 13, 23]. В аридных условиях Забайкалья следует выделить два наиболее характерных типа радиального распределения цинка. В маломощных каштановых и мучнисто-карбонатных черноземах при наличии щелочного сорбционного барьера в карбонатном горизонте наблюдается повышенное накопление цинка. $K_{\text{за}}$ в нем достигает 1.3-2.5. В почвах с относительно высоким содержанием гумуса (лугово-черноземная мерзлотная) происходит аккумуляция цинка в верхнем гумусовом горизонте, где $K_{\text{за}}$ равен 1.4-1.8. В почвах с низким содержанием гумуса (1.5-4.0%) в гумусовом горизонте накопления цинка не наблюдается. Слабое влияние органического вещества на перераспределение цинка и других катионогенных элементов в почвах степных и пустынных ландшафтов отмечал Касимов [10].

Почвы каштанового типа в сухостепных ландшафтах преобладают и интенсивно используются под пастбища и пашни. Они характеризуются слабощелочной реакцией среды (в верхнем горизонте pH в среднем 7.4). Содержание цинка в каштановых почвах изменяется от 35 до 136 мг/кг, или в 3.9 раза (табл. 4). При близких значениях pH колебания обусловлены главным образом различиями в содержании элемента в почвообразующих породах, а затем — гранулометрического состава почв. Каштановые почвы формируются на поро-

ЦИНК В ПОЧВАХ ЗАБАЙКАЛЯ

дах, содержание цинка в которых различается в 4.3 раза (30—130 мг/кг). Их гранулометрический состав варьирует от песчаного до суглинистого, а содержание фракции < 0.01 мм - от 6 до 32%. Среднее содержание цинка в каштановых почвах равно 72 мг/кг.

Черноземы мучнисто-карбонатные малогумусные обладают нейтральной реакцией почвенного раствора (рН 6.8-7.1). Содержание цинка в них в зависимости от гранулометрического состава (супесчаный и суглинистый, содержание фракции < 0.01 мм составляет 13-35%) изменяется от 48 до 113 мг/кг при среднем значении 78 мг/кг (табл. 5).

Серые лесные почвы (рН 6.2-7.7) формируются в лесостепных и таежных ландшафтах. По гранулометрическому составу преобладают легко- и среднесуглинистые разновидности (на долю фракции < 0.01 мм приходится 18-38%). В зависимости от состава почвообразующих пород содержание цинка в них варьирует от 41 до 113 мг/кг при среднем значении 73 мг/кг. Пойменные почвы формируются на аллювиальных отложениях, по долинам рек бассейна оз. Байкал. Они характеризуются значениями рН 6.4-8.4. Гранулометрический состав - от супесчаного до среднесуглинистого (содержание фракции < 0.01 мм достигает 12-35%). Содержание цинка в них колеблется от 35 до 100 мг/кг при среднем значении 71 мг/кг (табл. 6).

В различных типах почв, занимающих разные уровни в почвенно-геохимических катенах, содержание цинка существенно не различается. Например, в ряду серые лесные-черноземы-каштановые-пойменные луговые почвы Тарбагатайского района содержание цинка колебалось в пределах 93-108 мг/кг, а в почвах Иволгинского района - 35-45 мг/кг. Коэффициент местной миграции цинка составлял всего 1.1-1.3. Последнее обусловлено тем, что для аридных условий Забайкалья благодаря сходству геохимической обстановки миграции в различных ландшафтах характерна слабая латеральная дифференциация цинка в пределах почвенно-геохимических катен. Поэтому он не накапливается в пойменных почвах подчиненных супераквальных ландшафтов. В таких условиях возможно перераспределение аниогенных элементов и элементов-комплексообразователей, подвижных в щелочной среде и осаждающихся на глеевых и сорбционных геохимических барьерах в почвах подчиненных ландшафтов [10].

Таким образом, фоновое содержание цинка в различных типах почв региона изменяется в пределах 35-136 мг/кг при среднем варьировании (V = 37%). Среднее количество цинка в почвах

Термин автора.

Таблица 2. Содержание цинка в почвообразующих породах южной части Забайкалья

Разрез	Почвообразующая порода	Цинк, мг/кг
<i>Джидинский район (сухостепные ландшафты)</i>		
58-Д-88	Делювиальные отложения (суглинки)	98 ± 12
60-Д-88	То же (супеси)	82 ± 7
59-Д-88	Аллювиальные отложения (суглинки)	87 ± 8
<i>Кяхтинский район</i>		
41-К-86	Делювиальные отложения (суглинки)	96 ± 11
42-К-86	То же (супеси)	80 ± 6
38-К-87	Древнеозерные отложения	90 ± 8
39-К-87	Эоловые пески	65 ± 5
44-К-87	Аллювиальные отложения (суглинки)	88 ± 6
<i>Селенгинский район</i>		
36-С-87	Делювиальные отложения (суглинки)	84 ± 9
37-С-87	То же (супеси)	75 ± 11
12-С-86	Аллювиальные отложения (супеси)	55 ± 5
<i>Мухоршибирский район (степные ландшафты)</i>		
35-М-87	Делювиальные отложения (суглинки)	100 ± 13
33-М-87	Эоловые пески	73 ± 10
34-М-87	Аллювиальные отложения (суглинки)	94 ± 12
<i>Бичурский район</i>		
31-Б-87	Делювиальные отложения (суглинки)	140 ± 19
32-Б-87	То же (супеси)	103 ± 15
30-Б-87	Аллювиальные отложения (суглинки)	90 ± 11
<i>Тарбагатайский район</i>		
23-Т-87	Делювиальные отложения (суглинки)	119 ± 17
22-Т-87	То же (супеси)	95 ± 10
21-Т-87	Эоловые пески	78 ± 8
20-Т-87	Аллювиальные отложения (суглинки)	73 ± 12
	Среднее	89 ± 10

Таблица 3. Содержание цинка в горных породах Забайкалья [3, 18]

Горные породы	Цинк, мг/кг
<i>Северная часть</i>	
Кислые эффузивы	23
Жильные граносиениты	28
Лейкократовые граниты	33
Гранигроиды	35
Сиенит-порфиры	53
Граносиениты	55
<i>Южная часть</i>	
Сиенит-диориты	61
Диориты	64
Габбро	65
Габбро-сиениты	100
Базальты	136

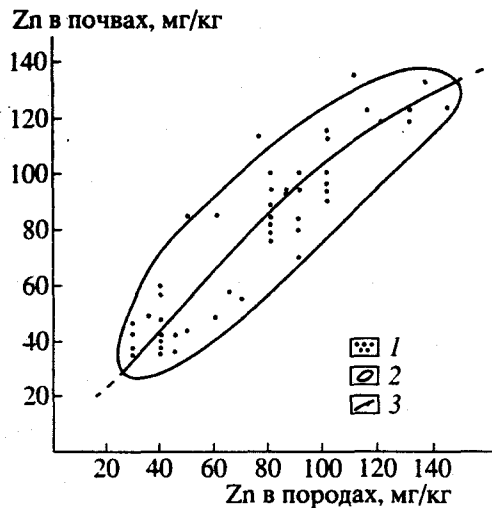


Рис. 2. Концентрационная зависимость содержания цинка в почвах от его содержания в почвообразующих породах: 1 – фактические точки; 2 – контур поля фактических точек; 3 – усредненная концентрационная зависимость.

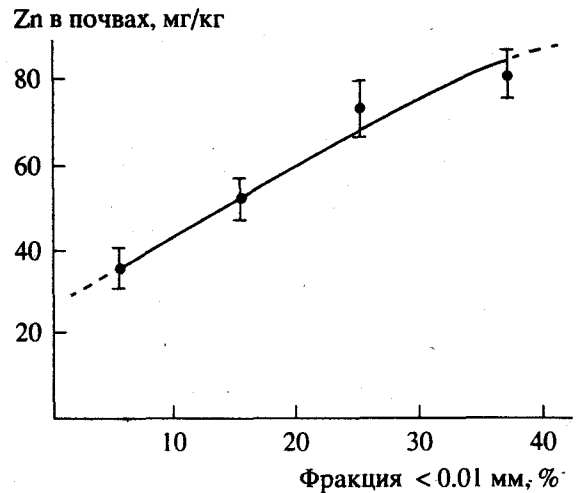


Рис. 3. Концентрационная зависимость содержания цинка в каштановых почвах от содержания в них фракции физической глины (< 0.01 мм).

равно 73 мг/кг, что соответствует его содержанию в почвообразующих породах. Иными словами, состав почвообразующих пород является главным фактором, определяющим содержание цинка в почвах, не подверженных техногенному воздействию. Статистически значимого различия в среднем содержании цинка в различных типах почв не выявлено. Однако общая тенденция к ста-

тистически достоверному увеличению его содержания в почвах с севера на юг прослеживается четко: в почвах северной части территории оно колебалось в пределах 35–57 мг/кг (среднее 45 мг/кг), а южной – 42–136 мг/кг (среднее 91 мг/кг). В первом случае его количество находилось в пределах кларка, равного 50 мг/кг [1], а во втором было в 1.8 раза выше. В целом почвы Забайкалья содер-

Таблица 4. Содержание цинка в каштановых почвах Забайкалья (слой 0–20 см)

Разрез	Место отбора проб		n	Гумус, %	pH _{воды}	Цинк, мг/кг
<i>Южная часть</i>						
	Район:					
60-Д-88	Джидинский:	с. Белозерск	7	2.6	6.9	80 ± 6
65-Д-88		с. Н. Торей	6	3.2	7.2	77 ± 8
17-К-86	Кяхтинский:	с. У.-Кяхта	5	2.5	6.8	60 ± 4
18-К-86			5	1.3	7.8	57 ± 3
39-К-87		п. Октябрьский	7	1.4	7.9	101 ± 9
41-К-87		с. У.-Киран	4	1.3	7.8	94 ± 6
11-С-86	Селенгинский:	с. Эрдэм	6	1.7	7.4	42 ± 5
37-К-87		с. Новоселенгинск	5	1.7	7.1	114 ± 13
21-Т-87	Тарбагатайский:	с. Тарбагатай	5	1.8	7.8	75 ± 7
23-Т-87		с. Надеено	6	1.5	7.3	93 ± 7
27-М-87	Мухоршибирский:	с. Подлопатки	4	1.1	6.9	87 ± 9
33-М-87		с. Шаралдай	5	1.4	8.2	136 ± 17
31-Б-87	Бичурский,	с. М. Куналей	5	2.8	7.3	95 ± 6
<i>Северная часть</i>						
14-И-86	Иволгинский,	с. Н. Иволга	5	1.8	6.9	35 ± 2
51-З-88	Заиграевский:	с. Ацагат	5	2.2	7.0	43 ± 5
55-З-88		с. Унэгэтэй	5	2.1	7.8	47 ± 6
57-З-88			6	2.0	7.7	49 ± 3
61-Х-88	Хоринский,	с. Удинск	5	2.0	6.8	57 ± 5

Таблица 5. Содержание цинка в черноземах и серых лесных почвах Забайкалья (слой 0–20 см)

Разрез	Место отбора проб		n	Гумус, %	pH _{водн}	Цинк, мг/кг
<i>Черноземные</i>						
Южная часть						
	Район:					
58-Д-88	Джидинский,	с. Петропавловка	4	3.4	7.1	95 ± 5
35-М-87	Мухоршибирский,	с. Тугнуй	6	2.8	6.8	113 ± 14
Северная часть						
54-КЖ-88	Кижингинский,	с. Чесан	6	3.7	7.0	48 ± 3
64-Х-88	Хоринский,	128-й км	4	2.9	6.8	35 ± 2
<i>Серые лесные</i>						
Южная часть						
	Район:					
32-Б-87	Кяхтинский,	с. Б. Кудара	6	3.8	7.3	113 ± 11
22-Т-87	Бичурский,	с. М. Куналей	6	2.9	6.8	108 ± 9
28-Т-87	Тарбагатайский,	с. Надеено	6	2.5	7.7	91 ± 6
		с. Б. Куналей	4	2.9	7.6	100 ± 8
Северная часть						
101-КБ-89	Кабанский,	с. Кабанск	8	2.1	6.4	41 ± 4
103-ПБ-89	Прибайкальский,	с. Турунтаево	5	2.3	6.2	51 ± 4

Таблица 6. Содержание цинка в пойменных почвах Забайкалья (слой 0–20 см)

Разрез	Место отбора проб		n	Гумус, %	pH _{водн}	Цинк, мг/кг
<i>Пойменные луговые</i>						
Южная часть						
	Район:					
59-Д-88	Джидинский,	с. Петропавловка	4	4.7	7.8	70 ± 5
40-К-87	Кяхтинский:	п. Октябрьский	6	4.4	7.3	84 ± 7
44-К-87		с. Б. Луг	7	2.8	7.6	93 ± 9
34-М-87	Мухоршибирский,	с. Тугнуй	4	2.8	8.0	100 ± 14
12-С-86	Селенгинский,	с. Эрдэм	6	2.7	7.7	48 ± 4
Северная часть						
16-И-86	Иволгинский,	с. Н. Иволга	5	4.0	6.8	45 ± 5
52-КЖ-88	Кижингинский,	с. Кижинга	5	4.9	7.5	38 ± 3
<i>Пойменные луговые остепняющиеся</i>						
Южная часть						
	Район:					
20-Т-87	Тарбагатайский:	с. Тарбагатай	4	2.1	7.7	87 ± 11
24-Т-87		с. Надеено	4	1.4	8.3	100 ± 12
36-С-87	Селенгинский,	с. Поворот	4	1.2	8.1	92 ± 10
30-Б-87	Бичурский,	с. М. Куналей	4	1.5	7.5	84 ± 6
Северная часть						
102-ПБ-89	Прибайкальский,	с. Ильинка	4	1.7	6.4	44 ± 3

Таблица 7. Содержание подвижного цинка в основных типах почв Забайкалья (слой 0–20 см) ($n = 5$)

Почва	Цинк, мг/кг	Отношение к норме
Каштановая: легкосуглинистая	0.70 ± 0.05	0.5
супесчаная	0.30 ± 0.02	0.2
Чернозем мучнисто-карбонатный:		
суглинистый	0.91 ± 0.08	0.6
легкосуглинистый	0.54 ± 0.06	0.3
Серая лесная: легкосуглинистая	0.83 ± 0.09	0.5
супесчаная	0.41 ± 0.06	0.3
Пойменная луговая	1.80 ± 0.23	1.2
Пойменная луговая остепненная	0.62 ± 0.08	0.4
Норма (для растений невысокого выноса)	1.50	1.0

Таблица 8. Содержание цинка в растительности Забайкалья ($n = 5$)

Растительность. Место отбора проб	Цинк, мг/кг	Отношение к норме
<i>Степная</i>		
Злаковая (житняковая). С. Тохой	6.3 ± 0.3	0.2
Злаковая (ковыльная). С. Иволгинск	10.2 ± 0.9	0.3
Бобовая. С. Иволгинск	23.0 ± 3.2	0.6
Разнотравная. С. Белозерск	13.0 ± 0.9	0.3
Разнотравная. С. Надеено	15.0 ± 1.2	0.4
<i>Луговая</i>		
Злаковая (полевцевая). С. Хурумша	8.9 ± 0.5	0.2
Злаковая (пырейная). С. Иволгинск	8.4 ± 0.8	0.2
Бобовая. С. Хурумша	28.8 ± 4.1	0.7
Разнотравная. С. Ягодное	15.0 ± 1.3	0.4
<i>Культурная</i>		
Злаковая. С. Иволгинск	6.5 ± 0.5	0.2
Бобовая. С. Ильинка	18.0 ± 1.4	0.5
Норма (среднее)	40.0	1.0

жат цинка в 1.5 раза выше его кларка для почв, а почвообразующие породы – на уровне кларка для литосферы. Такое противоречие, на наш взгляд, объясняется несоответствием кларков цинка для литосферы (83 мг/кг [2]) и для почв (50 мг/кг [1]): различие составляет 1.7 раза, хотя результаты наших исследований (рис. 2) и других авторов [22] свидетельствуют о тесной связи между количеством цинка в породах и почвах.

Биологическая активность цинка в почвах и его способность поступать в растения и микроорганизмы зависят от наличия доступных форм элемента. Определения содержания цинка в ацетатно-аммонийной вытяжке показали низкую обеспеченность почв подвижным цинком. Его содержание в основных типах почв колебалось от 0.3 до 1.8 мг/кг (табл. 7), что составляло от 0.3 до 5% от

валового. В сравнении с нормой обеспеченности почв цинком для растений невысокого выноса (в среднем 1.5 мг/кг) [14] 82% площади обследованных почв Западного Забайкалья имеют 40–80%-ный дефицит подвижного цинка.

Одним из важнейших факторов, определяющих низкое содержание подвижного цинка в почвах, является насыщенность их кальцием. В почвенном поглощающем комплексе основных типов почв содержание кальция достигает 20–26 мг-экв/100 г и в 4 раза превышает содержание магния. Механизм регуляции подвижности цинка под влиянием кальция заключается в образовании устойчивых соединений – гидроксида цинка $Zn(OH)_2$ и карбоната цинка ($ZnCO_3$ – смитсонита) в результате повышения значений pH почвенного раствора [9, 22, 24].

Слабая подвижность цинка в почвах имеет важное практическое значение, обуславливая дефицит его накопления в растениях, их заболеваемость и снижение продуктивности. Содержание цинка в растениях, по нашим данным (табл. 8), изменялось от 6.3 до 28.8 мг/кг и в среднем составляло 13.9 мг/кг. Оптимальное его количество в кормовых растениях считается равным 30–50 мг/кг (среднее 40 мг/кг), а дефицитное – менее 20 мг/кг [11]. Таким образом, дефицит цинка в кормовых растениях региона по сравнению с нормой составляет 40–80%. В связи с этим у сельскохозяйственных животных наблюдаются цинкдефицитные заболевания, особенно ярко проявляющиеся в снижении воспроизводительной способности и продуктивности животных, а также в виде паракератоза у свиней. Дефицит цинка в почвах и растениях является одной из важных причин онкологических заболеваний населения, по которым Бурятия занимает одно из первых мест в Сибири и на Дальнем Востоке [6].

Установленное низкое содержание доступного для растений цинка в почвах определяет эффективность его воздействия на продуктивность растений при кажущейся обеспеченности почв его валовым количеством. По данным наших опытов, применение цинка при предпосевной обработке семян и внесение его в почву статистически значимо повышало урожай биомассы овса и кукурузы на 12–15% по сравнению с контролем. Таким образом, эколого-биогеохимическая проблема дефицита подвижного цинка в почвах Забайкалья имеет важное практическое значение для растениеводства, животноводства и медицины. Она требует более детальных исследований в этих направлениях.

ВЫВОДЫ

1. Содержание валового цинка в почвах Забайкалья характеризуется контрастностью и варьирует в пределах 35–136 мг/кг. Среднее количество цинка в почвах равно 73 мг/кг, что в 1.5 раза выше его кларка. Общей закономерностью пространственной дифференциации цинка в почвообразую-

щих породах и почвах является существенно пониженное (в 2 раза) его содержания в северной части территории (таежная и лесостепная зоны) по сравнению с южной (степная и сухостепная зоны).

2. Установлена тесная положительная зависимость содержания валового цинка в почвах от его количества в почвообразующих породах и от содержания физической глины (фракция < 0.01 мм). Распределение цинка по вертикальному профилю осуществляется главным образом по трем типам зависимости: равномерному, с максимумом на карбонатном геохимическом барьере, с максимумом в гумусовом горизонте.

3. На фоне более высокого по отношению к кларку содержания валового цинка установлен значительный дефицит (40-80%-ный) его подвижной формы в почвах. Это является одной из важнейших причин низкого уровня накопления цинка в кормовых растениях и определяет высокую эффективность его применения в агрохимических опытах.

4. Картографирование обеспеченности цинком территории Забайкалья и, вероятно, сходных территорий лесостепной, степной и сухостепной зон наиболее целесообразно проводить по его содержанию в растениях и во вторую очередь - по содержанию подвижных, доступных для растений форм. Определение его валового количества необходимо для объяснения наблюдаемых взаимодействий в системе почва-растение.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Виноградов А.П.* Геохимия редких и рассеянных элементов, в почвах. М.: Изд-во АН СССР, 1957. 279 с.
2. *Войткевич Г.В., Кокин А.В., Мирошников А.Е.* Справочник по геохимии. М.: Недра, 1990. 480 с.
3. *Гераашовский В.И., Банных Л.Н., Седых Э.М.* О содержании, ванадия, хрома, никеля, кобальта, меди и цинка в щелочных базальтах Байкальского рифта // Геохимия. 1980. № 3. С. 381-386.
4. *Добровольский В.В.* География микроэлементов. Глобальное рассеяние. М.: Мысль, 1983. 272 с.
5. *Добровольский В.В.* Биосферные циклы тяжелых металлов и регуляторная роль почвы // Почвоведение. 1997. № 4. С. 431-441.
6. *Дулганов К.П.* Биогеохимическая ситуация и рак пищевода в Бурятии // Геохимическое окружение и проблемы здоровья в зонах нового экономического освоения. Чита, 1988. С. 84-86.
7. *Золотарева Б.Н., Скрипниченко ИИ.* Геохимические аспекты мониторинга тяжелых металлов в почвах // Региональный экологический мониторинг. М.: Наука, 1983. С. 93-114.
8. *Ильин В.Б.* Тяжелые металлы в системе почва-растения. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1991. 148 с.
9. *Кабата-Пендиас А., Пендиас Х.* Микроэлементы в почвах и растениях. М.: Мир, 1989. 439 с.
10. *Касимов Н.С.* Геохимия степных и пустынных ландшафтов. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1988. 254 с.
11. *Кондрахин И.П.* Алиментарные и эндокринные болезни животных. М.: Агропромиздат, 1989-256 с.
12. *Макеев О.В.* Микроэлементы в почвах Сибири и Дальнего Востока. М.: Наука, 1973. 151 с.
13. *Малинина М.С.* Поведение цинка в почвах и ландшафтах Кандалакшского заповедника // Почвоведение. 1993. № 7. С. 91-96.
14. Микроэлементы в почвах СССР / Под ред. В.А. Ковды, Н.Г. Зырина. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1981. 252 с.
15. *Ногина Н.А.* Почвы Забайкалья. М.: Наука, 1964. 314 с.
16. *Ринксс Г.Я., Романе Х.К., Куницкая Т.А.* Методы анализа почв и растений. Рига: Зинатне, 1987. 174 с.
17. *Савич В.И.* Применение вариационной статистики в почвоведении. М., 1972. 104 с.
18. *Сеничкина М.Г., Абашеева Н.Е.* Микроэлементы в почвах Сибири. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1986. 176 с.
19. *Солдатов В.П., Чумаченко И.Н.* Обеспеченность почв РСФСР микроэлементами // Химия в сельск. хоз-ве. 1987. № 1. С. 30-32.
20. *Федюшкин Б.Ф.* Минеральные удобрения с микроэлементами. Л.: Химия, 1989. 272 с.
21. *Фримантл М.* Химия в действии. М.: Мир. 1991. Ч. 2. 622 с.
22. Цинк и кадмий в окружающей среде / Алексеенко В.А., Алешукин Л.В./Беспалько Л.Е. и др. М.: Наука, 1992. 200 с.
23. *Kurdi F., Donner H.* Zinc and copper sorption and interaction in soil // Soil Sci. Soc. Amer. J. 1983. V. 47. № 6. P. 873-886.
23. *Lindsay W.L.* Zinc in soils and plant nutrition // Adv. Agron. 1972. V. 24. № 1. P. 147-186.

Zinc in Soils of the Transbaikal Region

V. K. Kashin and G. M. Ivanov

The content and distribution of zinc in soils of the Transbaikal region have been examined. The bulk content of zinc in soils depends on its concentration in soil-forming rocks and on the content of clay fraction. The soils of the northern part of the region (within taiga and forest-steppe zones) contain amounts of zinc two times lower than the soils of steppe and dry steppe zones. The deficiency of available zinc in soils dictates its low concentration in plants. In this connection, the efficiency of adding zinc-containing micronutrients to the soils of the region is very high as proved by special agrochemical experiments.