

На правах рукописи

Бодеева Елена Алексеевна

**МИКРОЭЛЕМЕНТЫ (Cu, Zn, Ni, Pb) В ГУМУСОВЫХ
ВЕЩЕСТВАХ ЧЕРНОЗЕМОВ И КАШТАНОВЫХ ПОЧВ
ЗАПАДНОГО ЗАБАЙКАЛЯ**

03.02.13 – почвоведение

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата биологических наук

Улан-Удэ
2012

Работа выполнена в лаборатории биохимии почв ФГБУН Института общей и экспериментальной биологии СО РАН

Научный руководитель: **Чимитдоржиева Галина Доржиевна**, доктор сельскохозяйственных наук, профессор ФГБУН Института общей и экспериментальной биологии СО РАН

Официальные оппоненты: **Абашеева Надежда Ефимовна**, доктор биологических наук, профессор ФГБУН Института общей и экспериментальной биологии СО РАН

Хутакова Светлана Владимировна, кандидат биологических наук, ст. преподаватель ФГОУ ВПО Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В.Р. Филиппова

Ведущая организация: Научно-исследовательский институт прикладной экологии Севера ФГАОУ ВПО «Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова»

Защита состоится 27 апреля 2012 г. в 14-00 на заседании диссертационного Совета Д. 003.028.01 в ФГБУН Института общей и экспериментальной биологии Сибирского Отделения РАН по адресу: 670047, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6; факс (3012) 433034; e-mail: ioeb@biol.bscnet.ru.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Бурятского научного центра СО РАН.

Автореферат разослан 26 марта 2012 г. и размещен на официальном сайте института <http://igaeb.bol.ru> и в сети Интернет на официальном сайте ВАК Министерства образования и науки Российской Федерации <http://vak2.ed.gov.ru>

Ученый секретарь
диссертационного совета,
д-р биол. наук

М.Г. Меркушева

Введение

Актуальность. Поведение металлов в почвах (закрепление, перераспределение, высвобождение) является одной из основных актуальных задач изучения микроэлементов в системе почва – гумусовые вещества – растение (Водяницкий, 2012). Поскольку микроэлементы (**МЭ**) влияют на развитие растений и активность микроорганизмов, то все почвенные биохимические процессы накопления, трансформации, переноса органических соединений во многом зависят от уровня содержания разных микроэлементов. В результате интенсифицируются процессы гумусообразования. На накопление и распределение микроэлементов активно влияют многие факторы формирования почвенного профиля (Ковда, 1973; Орлов, 1998).

Гумусовые кислоты и их производные, обладая огромной поглощательной способностью, оказывают воздействие на миграцию и аккумуляцию элементов (Башкин, Касимов, 2004). Взаимодействие между гумусовыми веществами и металлами осуществляется путем ионного обмена, сорбции на поверхности, хелатообразования, коагуляции и пептизации. Однако гумусовые вещества различаются по интенсивности связывания микроэлементов (Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989). Известно, что в минеральных почвах более 50 % общего содержания микроэлементов может удерживаться органическим веществом, связываясь преимущественно фульвокислотами (Степанова, 1976), тогда как гуминовыми кислотами этот механизм обеспечивается лишь около 20 % от уровня их общей биопротекторной активности (Чуков, 2001). В результате этих процессов нормализуется экологическая обстановка в системе почва-растение. Изученность интенсивности связывания гумусовыми веществами микроэлементов для почвенно-экологических условий Западного Забайкалья крайне мала (Нимбуева, 2007; Чимитдоржиева и др., 2012).

Общая площадь пастбищ на каштановых почвах Западного Забайкалья составляет около 459 тыс. га, на черноземах – 19 тыс. га. Поэтому изучение соединений микроэлементов с гумусовыми веществами черноземов и каштановых почв под естественной растительностью имеет важное значение для исследования особенностей процессов вовлечения металлов в миграционные циклы, выведения их из миграции и закрепления в почве, т.к. они влияют на продуктивность и качество трав.

Цель работы: изучить содержание и распределение микроэлементов (Cu, Zn, Ni, Pb) в гумусовых веществах черноземов и каштановых почв Западного Забайкалья.

В задачи исследования входило:

- дать характеристику основных свойств черноземов и каштановых почв, состава гумуса.
- изучить содержание МЭ: а) в почвообразующих породах; б) почвах; в) растительности (надземной и подземной фитомассе).
- определить содержание МЭ в гумусовых веществах: гуминовых кислотах, фульвокислотах, негидролизуемом остатке (гумине).
- дать сравнительную оценку связывания МЭ гумусовыми веществами черноземов и каштановых почв.

Защищаемые положения:

1. Уровень накопления микроэлементов в черноземах и каштановых почвах Западного Забайкалья обусловлен разной степенью обогащенности ими почвообразующих пород, а также основными свойствами почв.

2. Микроэлементы (Cu, Ni, Pb) в основном связаны минеральной частью, а Zn равномерно распределен в органическом и минеральном веществе черноземов и каштановых почв.

3. Cu, Ni, Pb преимущественно связываются фульвокислотами, за исключением Zn, который в черноземах связан гуминовыми кислотами, в каштановых почвах – негидролизуемым остатком, что обусловлено содержанием гумуса, его составом и химической природой гумусовых веществ.

Научная новизна. Выявлены уровни концентрации Cu, Zn, Ni, Pb в гумусе и минеральной матрице черноземов и каштановых почв. Впервые определено их содержание и распределение в гумусовых веществах: гуминовых кислотах, фульвокислотах и гумине в зависимости от состава гумуса. Установлено, что цинк в черноземах большей частью связан с гуминовыми кислотами, а в каштановых почвах – с гумином. Аккумуляция гумусовыми веществами меди, никеля и свинца в основном убывает в следующем ряду: фульвокислоты – гуминовые кислоты – гумин.

Теоретическая и практическая значимость. Выявленные закономерности накопления и распределения Cu, Zn, Ni, Pb в гуминовых кислотах, фульвокислотах и гумине криоаридных почв вносят новые данные в природу гумусовых веществ. Полученные результаты могут быть использованы в качестве исходных данных для экологического мониторинга состояния почвенного и растительного покровов, а также для разработки мероприятий по оптимизации микроэлементного состава многолетних трав на пастбищах.

Апробация работы. Результаты и основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на Международных науч-

ных конференциях «Научные основы сохранения водосборных бассейнов: междисциплинарные подходы к управлению природными ресурсами» (Улан-Удэ, 2004), «Современные проблемы загрязнения почв» (М., 2010), на региональной конференции студентов, аспирантов вузов и научных организаций Дальнего Востока России «Актуальные проблемы экологии, морской биологии и биотехнологии» (Владивосток, 2010).

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 7 работ, в т.ч. 4 статьи в рецензируемых журналах.

Структура и объем диссертационной работы. Диссертационная работа состоит из 127 страниц компьютерного набора, содержит введение, 5 глав, список литературы, 7 таблиц, 15 рисунков, 5 приложений. Список использованной литературы включает 249 наименований, в том числе 23 на иностранном языке.

Личный вклад автора. Диссертация является обобщением личных материалов автора, полученных в результате полевых и экспериментальных лабораторных исследований в 2008-2011 гг. в ФГБУН Институте общей и экспериментальной биологии СО РАН.

Глава 1. Микроэлементы в системе порода – почва – растения

В главе на основе литературных данных приведены источники поступления МЭ, их биологическая роль, фитотоксичность, основные закономерности аккумуляции в почвах, факторы, определяющие миграцию элементов в системе почва-растение и взаимодействие их с органическим веществом.

Глава 2. Природные условия формирования черноземов и каштановых почв

По литературным источникам дана характеристика основных факторов почвообразования черноземов и каштановых почв в Удинской, Иволгинской, Гусиноозерской, Тугнуйской котловин Забайкалья: рельефа, почвообразующих пород, климата, растительности.

Объекты и методы исследований. Работа выполнена в 2008–2011 гг. на территории Селенгинского среднегорья (Республика Бурятия). Объектами исследований являлись целинные черноземы следующих районов: Мухоршибирского (р.1), сформированные на пролювиально-делювиальных отложениях, Хоринского (р.2) – на делювиальных суглинках, Селенгинского (р.3) – на элювиально-делювиальных образованиях; каштановые почвы: Заиграевского (р.4) – на элювиальных супесях, Иволгинского (р.5) – на пролювиальных песчаных отложениях, Мухоршибирского (р.6) – на пролювиально-делювиальных наносах.

Физико-химические свойства почв изучали общепринятыми методами (Аринушкина, 1970; Агрохимические ..., 1975), углерод гумуса почвы – микрохромовым методом Тюрина; фракционный состав гумуса – методом И.В. Тюрина в модификации В.В. Пономаревой и Т.А. Плотниковой (1975).

Для экстракции гумусовых веществ (**ГВ**) использовали метод Гримме (Grimme, 1967). Навески почв, не содержащие растительных остатков, подвергали многократной обработке смесью 0,5н NaOH с 0,01 М ЭДТА до обесцвечивания раствора над почвой после центрифугирования. После того, как извлечение ГВ смесью NaOH и ЭДТА прекращалось, навеску почвы обрабатывали сначала 0,01н. HCl, затем H₂O_{дист} до получения бесцветного раствора. Экстракты объединяли и доводили до определенного объема. Две трети объема раствора брали для осаждения ГК, которое проводили в течение 24 ч при pH 1,5-2 и температуре 80°. После центрифугирования и промывания осадок гуминовых кислот (**ГК**) растворяли с помощью 0,02н. NaOH. Фильтрат после осаждения ГК, отнесли к группе фульвокислот (**ФК**). В 200 мл вытяжки по Гримме и отдельно в 100 мл ГК и ФК после выпаривания на водяной бане и озоления осадков смесью H₂SO₄ и HClO₄, растворения в горячей воде и доведения объема до 100 мл, определяли микроэлементы (**МЭ**). В негидролизуемом остатке (**НО**) количество микроэлементов определяли по разнице между их содержанием в гумусовых веществах и суммой элементов в ГК и ФК. После выделения темной органической части из навески почвы, оставшаяся светлая часть нами принималась за минеральную составляющую, в которой также отдельно определялись эти элементы.

Количество надземной и подземной фитомассы учитывали по Н.А. Панковой (1965). Содержание МЭ в породах, почвах, растениях и гумусовых веществах выявляли согласно (Агрохимические..., 1975) с конечным определением на атомно-абсорбционном спектрофотометре А Analist 400 фирмы Perkin Elmer. Обработка экспериментальных данных выполнена в среде электронной таблицы Microsoft Excel 2003 из пакета Microsoft Office.

Глава 3. Характеристика почв

Для *черноземов* свойственны легко- и среднесуглинистый гранулометрический состав, сумма поглощенных оснований – 20-34 мг.экв/100 г почвы. Содержание гумуса составляет 4-5-9 % с резким убыванием вниз по профилю. Для верхних горизонтов характерна реакция среды, близкая к нейтральной и слабощелочной (табл.1).

Таблица 1. Основные физико-химические показатели черноземов и каштановых почв Западного Забайкалья

Раз-рез, кот-лови-на	Гори-зонт	Глуби-на, см	Час-тицы <0,01 мм, %	рН	Поглощенные основания		Гу-мус, %	N, %	C:N
					Ca ²⁺	Mg ⁺			
					мг-экв/100г почвы				
Черноземы									
Р.1. Туг-нуй-ская	A ₁	0-33	30	6,7	24,9	4,8	5,3	0,35	8,7
	AB	33-50	21	7,0	20,6	4,2	1,4	0,10	8,0
	B _{K1}	50-75	18	7,9	20,0*		0,4	-	-
	B _{K2}	75-137	18	8,3	22,0*		0,2	-	-
	C _K	137-170	18	8,3	18,0*		0,1	-	-
Р. 2. Удин-ская	A ₁	0-30	34	7,9	29,1	4,9	9,0	0,44	11,8
	AB	30-50	32	8,0	29,4	4,6	8,5	0,39	12,5
	B _{K1}	50-90	29	8,2	28,0*		0,7	0,01	-
	B _{K2}	90-130	48	8,4	27,0*		1,5	0,03	-
	C _K	130-150	38	8,3	28,0*		1,6	0,03	-
Р. 3. Гуси-но-озер-ская	A	0-18	30	6,8	16,1	4,2	3,5	0,22	9,3
	AB	18-36	29	7,2	13,9	3,5	2,2	0,14	9,3
	B ₁	36-65	28	7,4	8,4	2,4	0,7	0,05	-
	B _K	65-105	28	8,3	16,0*		0,2	-	-
	C _K	105-150	26	8,9	15,0*		-	-	-
Каштановые почвы									
Р.4. Удин-ская	A	0-21	27	6,4	15,0	4,1	2,6	0,18	8,3
	AB	21-36	27	6,7	14,5	3,9	1,4	0,10	8,1
	B _K	36-82	28	7,3	17,5*		0,2	-	-
	C _K	82-150	22	8,3	16,0*		-	-	-
Р.5. Иволг-ин-ская	A	0-21	22	6,8	13,4	3,7	2,1	0,14	8,6
	AB	21-46	15	7,1	12,8	3,1	1,1	0,06	7,9
	B _K	46-106	15	8,3	12,0*		0,1	-	-
	C _K	106-150	16	8,4	12,0*		-	-	-
Р.6. Туг-нуй-ская	A ₁	0-26	28	6,7	14,6	3,9	2,2	0,17	7,7
	AB	26-44	22	6,9	13,9	3,3	1,3	0,09	8,3
	B	44-70	19	7,2	10,8	3,1	0,7	-	-
	B _K	70-88	16	8,0	16,0*		0,2	-	-
	C _K	88-150	15	8,4	14,0*		0,1	-	-

Примечание: *емкость поглощения; - не определяли

Каштановые почвы, функционирующие в условиях более жесткого режима увлажнения, характеризуются небольшой мощностью гор. А,

легким гранулометрическим составом, низкой емкостью катионного обмена, содержание гумуса равно 2,1-2,6 %.

Для черноземов Западного Забайкалья характерен преимущественно фульватно-гуматный тип гумуса, для каштановых почв – гуматно-фульватный (табл. 2). Общим для этих типов почв является высокое содержание гумина.

Таблица 2. Состав гумуса гор. А черноземов и каштановых почв (% к $C_{\text{общ.}}$)

Разрез	Глубина, см	$C_{\text{общ.}}$, %	$C_{\text{ГК}}$	$C_{\text{Фк}}$	НО	$C_{\text{ГК}}/C_{\text{Фк}}$
Черноземы						
1	0-33	3,1	27,7	26,8	45,5	1,0
2	0-30	5,2	39,1	30,7	42,0	1,3
3	0-22	2,0	28,7	33,7	37,6	0,9
Каштановые почвы						
4	0-21	1,5	26,7	31,9	41,4	0,8
5	0-21	1,2	23,4	28,9	47,7	0,8
6	0-26	1,3	25,0	30,7	44,3	0,8

Глава 4. Микроэлементы в системе: порода – почва – растение

Источником поступления МЭ в почвы служат различные горные породы, на которых формируется почвенный покров. В процессе выветривания и почвообразования происходит перераспределение химических элементов (Ковда, 1973).

Почвообразующие породы. Количество МЭ в породах определяется наличием в них минералов – носителей и минералов – концентраторов микроэлементов (Сеничкина, Абашеева, 1986).

Содержание **Си** в породах (рис. 1) легкого гранулометрического состава невысокое: в пролювиально-делювиальных отложениях (р.1) – 15,8 мг/кг, в элювиально-делювиальных образованиях (р.3) – 17,0 в элювиальных супесях (р.4) – 12,2, в пролювиальных песчаных отложениях (р.5) – 8,6, в пролювиально-делювиальных наносах (р.6) – 10,7, а в породах тяжелого состава (делювиальные суглинки, р.2) – 35,0 мг/кг. Последняя величина превышает средние региональные данные (Гуляева, 2002; Убугунов, Кашин, 2004), но ниже кларка литосферы – 47 мг/кг (Виноградов, 1962). Итак, почвообразующие породы почв обеднены медью и выявлена ее связь с гранулометрическим составом.

Количество **Zn** в породах легкого гранулометрического состава также небольшое, кроме делювиальных суглинков – 116,8 мг/кг (рис. 2) при кларке литосферы 83 мг/кг. Возможно, это связано с повышенным содержанием продуктов выветривания базальтов.



Рис. 1. Содержание меди, мг/кг. Здесь и далее: 1 – почвообразующая порода, 2 – почва, 3 – подземная масса, 4 – надземная масса



Рис. 2. Содержание цинка, мг/кг

Концентрация Ni в породах приближается к среднему региональному содержанию (26 мг/кг) – от 11,9 на элювиальных супесях до 29,2 мг/кг на пролювиально-делювиальных щебнистых суглинистых отложениях, исключением являются делювиальные суглинки (45,6 мг/кг) с более тяжелым гранулометрическим составом (рис. 3). Содержание Ni в породах ниже кларка литосферы (58 мг/кг). Пониженное его количество в породах региона обусловлено, по-видимому, тем, что они состоят главным образом из кварца (70-75 %), который характеризуется наи-

меньшей концентрацией рассеянных элементов, в том числе и Ni (Кашин, 2002).

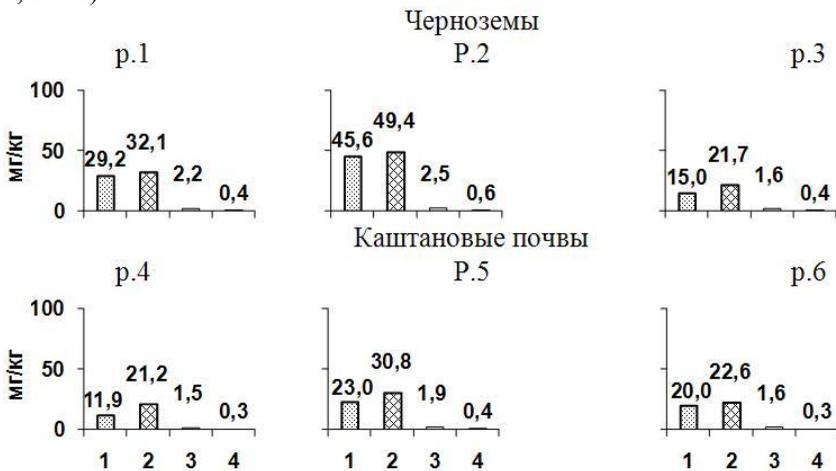


Рис. 3. Содержание никеля, мг/кг



Рис. 4. Содержание Pb, мг/кг

Содержание **Pb** в породах изменяется от 18,0 до 44,8 мг/кг в зависимости от их гранулометрического состава. Максимальное – в делювиальных суглинках – 44,8, наименьшее – на элювиальных супесях – 18,0 мг/кг (рис. 4), что выше кларка литосферы (12 мг/кг) и близко к данным среднего регионального (33,7 мг/кг). Таким образом, почвообразующие

породы обогащены свинцом, и отмечена зависимость его количества от их гранулометрического состава $r=0,54$.

Микроэлементы в органогенном слое почв. Как известно, унаследованный почвами от материнских пород количественный состав МЭ претерпевает значительные изменения под совокупным воздействием всех факторов почвообразования (Ковда и др., 1959; Мотузова, 2008).

Содержание **Cu** в гор. А мало- и среднегумусных *черноземов* составило 18,8 и 18,6 мг/кг, что ниже среднего регионального значения (23,3 мг/кг), вследствие обедненности пород этим элементом (рис. 1). В высокогумусных черноземах количество меди равно 31,1 мг/кг, что в 1,3 раза превышает среднее региональное значение за счет высокого ее содержания в породе (34,7 мг/кг).

В гумусовом горизонте *каштановых почв* концентрация **Cu** составляет: 8,4, 11,8, 19,5 мг/кг по трем разрезам, что значительно ниже среднего значения для почв Забайкалья (Гуляева, 2002; Иванов, 2007).

Трансформация меди из пород в органогенные горизонты почв незначительна, коэффициент ее аккумуляции (**К_э**) варьирует от 0,4 до 0,9. Содержание меди в почвах ниже ПДК (55 мг/кг) и находится в зависимости от количества ее в породе ($r=0,6-0,9$).

В *черноземах* концентрация **Zn** превышает значение для почв, которое составляет 51 мг/кг (Ковальский, Андрианова, 1970). В средне- и мало-гумусных черноземах количество цинка равно 60,1 и 50,8 мг/кг (рис. 2). Наибольший уровень содержания цинка обнаружен в высокогумусной почве (р.2) – 108,0 мг/кг, вследствие значительного его содержания в породе. Корреляция между количествами цинка в породе и в почве довольно тесная $r=0,9$. Эта величина близка для черноземов Еравнинской котловины (Сеничкина, Абашеева, 1986).

В *каштановых почвах* вследствие обедненности цинком пород его содержание ниже ПДК (100 мг/кг) и равно 46,9-59,0 мг/кг. Установлена корреляционная связь с гранулометрическим составом и количеством элемента в породе, $r=0,9$.

В *черноземах* выявлена зависимость содержания **Ni** от гранулометрического состава почвы и от количества его в почвообразующей основе. Корреляционная связь между содержанием никеля в породе и в почве тесная ($r=0,9$). Наибольшее количество **Ni** 49,4 мг/кг (рис. 3) обнаружено в высокогумусных черноземах, формирующихся на суглинках, в которых содержится никеля 45,6 мг/кг. В органогенном слое черноземов

концентрация никеля варьирует от 21,7-32,1 мг/кг, что выше средних региональных значений.

Количество никеля в *каштановых почвах* меньше по сравнению с черноземами. Наибольший уровень содержания Ni в этих почвах наблюдается в р.5 – 30,8 мг (здесь же выявлено его максимальное количество в породе), средний – в р.6, наименьший – в р.4 (21,2 мг/кг). Установлена тесная связь количества никеля в породе и в почве, $r=0,8$.

Несмотря на то, что содержание никеля в органогенном слое почв ниже ПДК (85 мг/кг), Кэа Ni составил 1,1-1,4 в черноземах и 1,1-1,7 в каштановых почвах, что свидетельствует о биогенном его накоплении.

Уровень содержания **Pb** в органогенном горизонте средне- и малогумусных черноземов (рис. 4) превышает ПДК (30 мг/кг) вследствие его биогенного накопления, а также не исключен аэрогенный привнос металла. Количество свинца в высокогумусных черноземах (29,5 мг/кг) практически равно ПДК, что обусловлено значительным содержанием элемента в подстилающей породе – 44,8 мг/кг. Здесь не выявлена связь элемента в почве от его концентрации в породе.

Для *каштановых почв* также отмечено высокое содержание Pb (31,0-33,5 мг/кг), превышающее ПДК (рис. 4), что связано с повышенным содержанием элемента в породах.

Микроэлементы в минеральной части почв. Масса разных типов почв на 90-99 % состоит из минерального вещества. По этой причине средний элементарный состав почвенной толщи мощностью 0,5-1,0 м, за исключением С и N, обусловлен составом минерального вещества. Это вещество очень разнородно и его компоненты играют неодинаковую роль в геохимии и биогеохимии педосферы (Добровольский, 2003).

Содержание **Си** в минеральной части *черноземов* равно: р.1 – 11,0, р.2 – 17,4, р.3 – 11,7 мг/кг, что составляет соответственно от ее валового количества в почве: 59, 56, 63 %. Медь связана с минеральной частью *каштановых почв* на 63-66 %. Полученные относительные значения свидетельствуют о том, что в черноземах и каштановых почвах значительная часть Си связана с минеральным веществом.

Zn в минеральной части *черноземов* составляет от его валового содержания (в %): 46, 47, 56, т.е. в этих почвах цинк почти равномерно распределен в гумусовых веществах и минеральной основе. В минеральном веществе *каштановых почв* количество Zn равно (мг/кг) – 35,4 (р. 4), 27,0 (р. 5), 20,1 (р. 6), а его доля соответственно составляет: 60; 53; 43 % от его валового содержания, в среднем – 52 %. Таким образом, Zn в

черноземах и в каштановых почвах почти равномерно распределен в гумусовых веществах и минеральной основе.

Минеральная часть гумусово-аккумулятивного горизонта *черноземов* содержит *Ni* (мг/кг): среднегумусный – 17,1, высокогумусный – 25,2 и малогумусный – 12,9. Его доля от валового содержания элемента в почве практически одинакова – 51-59 %, что зависит от свойств *Ni* и возможных форм связей с минеральными соединениями.

Содержание *Ni* в минеральном веществе *каштановых* почв варьирует в небольших пределах – 13,0-18,3 мг/кг. Его доля от валового содержания элемента в почве, как и в черноземах, почти одинакова – 58-61 %.

Уровень концентрации *Pb* в минеральном веществе *черноземов* находится в прямой корреляции с его количеством в почве. В минеральной части почв аккумулируется значительная доля свинца – 61-65 %. Повидимому, последнее объясняется тем, что свинец является металлом с переменной валентностью (+2 и +3), это позволяет ему более активно вести себя в минеральной среде.

Количество *Pb*, связанного с минеральной частью *каштановых* почв равно 20-22 мг/кг, доля его от валового содержания элемента составляет 65-66 %. Следовательно, в черноземах и каштановых почвах свинец, как медь и никель в большей степени связан с минеральной частью.

Микроэлементы в растительности. Являясь важной составной частью живого вещества, растительность участвует в процессах миграции и превращениях химических элементов на поверхности Земли. Биопродуктивность пастбищ на черноземах и каштановых почвах Западного Забайкалья низкая, с широким диапазоном отношения надземной фитомассы к подземной (Меркушева, 2004)

Количество *Cu* в надземной фитомассе степных ценозов варьирует в пределах 3,3-4,9 мг/кг, сухостепных – 1,3-4,5 мг/кг (рис. 1). Наибольшее ее содержание выявлено в фитомассе разнотравно-злаковой ассоциации на высокогумусных черноземах – 4,6 мг/кг, наименьшее – в тонконогово-ковыльной на среднегумусных черноземах – 3,3; в фитомассе разнотравно-злакового сообщества на каштановых почвах наибольшее ее содержание составляет 4,5 мг/кг, наименьшее – в полынно-разнотравно-злаковом фитоценозе – 1,3 мг/кг, что связано с ее количеством в почве. Коэффициент корреляции между содержанием меди в органогенном слое почв и количеством ее в надземной массе травянистой растительности равен 0,79, а между содержанием *Cu* в органогенном слое почв и количеством ее в золе растений – 0,94.

В корневой массе медь накапливается более интенсивно и находится в зависимости от содержания ее в почве ($r=0,97$), поскольку Cu является элементом интенсивного биологического поглощения. Надземная фитомасса трав обеднена медью вследствие наличия барьерности.

Количество **Zn** в надземной массе степных сообществ составило 20,1-27,8 мг/кг, в сухостепных – 15,9-18,1 мг/кг (рис. 2). Наибольший уровень содержания элемента (27,8 мг/кг) обнаружен в разнотравно-злаковой ассоциации на высокогумусных черноземах, наименьший – в тонконогово-ковыльной на среднегумусных черноземах, 20,1 мг/кг. Коэффициент корреляции между содержанием элемента в почве и количеством ее в надземной массе травянистой растительности равен $r=0,93$. В корневой массе травянистых сообществ содержание Zn выше, чем в надземной. Ограниченное поступление Zn в надземную часть свидетельствует о наличии защитных механизмов (Ковалевский, 1974).

КБП цинка надземной массой колеблется в пределах 2,4-3,2 в степной растительности и 2,1-2,6 в сухостепной. Однако, несмотря на высокий КБП, его количество в фитоценозах ниже средней концентрации в растениях континентов (Добровольский, 2003). В сухостепной растительности содержание Zn можно отнести к дефицитному – менее 20 мг/кг (Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989) (рис. 2).

Ni, наряду с Cu и Zn, выступает как элемент, необходимый растительному организму, который в надземной массе степных ценозов аккумулируется в пределах 0,35-0,55, сухостепных – 0,29-0,42 мг/кг (рис. 3). Содержание Ni в растениях коррелирует с его количеством в почве ($r=0,96$), также тесна связь между содержанием Ni в почве и в золе растений ($r=0,93$). В корнях Ni накапливается более интенсивно и находится в прямой связи с его содержанием в почве, $r=0,95$, в золе корней – 0,97.

Количество Ni в фитоценозах ниже средней концентрации в растительности континентов – 2,0 мг/кг (Добровольский, 2003), максимально допустимого (3 мг/кг) по СанПин (1996). Содержание его можно оценить как дефицитное – менее 2 мг/кг (Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989). Ni является элементом среднего захвата (Добровольский, 2003). КБП никеля находится в пределах 0,4-0,6 в степной растительности, 0,3-0,4 в сухостепной, в корнях – 0,9-1,2 и 0,6-0,9 соответственно, т.е. он является элементом среднего захвата.

Количество **Pb** в надземной массе трав, произрастающих на черноземах, составило 0,7-0,8; на каштановых почвах – 0,5-0,7 мг/кг, что ниже средней концентрации в растительности континентов – 1,25 мг/кг (Добровольский, 2003) и находится в пределах нормальных концентраций – 0,1-5,0 мг/кг (Минеев, 1988). Таким образом, Pb, несмотря на его значительное содержание в органогенном слое почв, вследствие низкого его биологического поглощения, не накапливается в растениях. Корреляция между количеством Pb в почвах и в надземной фитомассе средняя ($r=0,57$). Поступление ограниченного количества свинца в надземную массу свидетельствует о наличии избирательных механизмов.

Глава 5. Микроэлементы в гумусовых веществах

Основными компонентами гумуса являются гуминовые и фульвокислоты, их соли, а также гумин – своеобразный комплекс сильно полимеризованных высокомолекулярных гумусовых кислот, связанных с высокодисперсными минеральными частицами. Гумусовые кислоты и их производные благодаря особенностям молекулярного строения активно влияют на миграцию и аккумуляцию химических элементов в педосфере. По этой причине гумусовые вещества являются важной частью механизма регулирования миграционных потоков (Орлов, 1998; Добровольский, 2003).

Количество **меди** в ГВ *черноземов* равно (мг/кг): малогумусных – 6,9, среднегумусных – 7,8, высокогумусных – 13,7 (рис. 5), что составляет 37-44 % от содержания меди в органогенном слое. Поскольку растительность содержит небольшое количество меди, то и в гумусовых веществах почвы ее мало. Отмечена корреляция содержания элемента в ГВ с его уровнем в почве ($r=0,9$). Из гумусовых веществ большая часть Cu (59-65 %) связана ФК, с ГК – не более 25 %, а с гумином – 16-28 % от общего содержания.

В гумусе *каштановых почв* находится мало меди, всего 3-7 мг/кг, что составляет 34-38 % от валового ее количества, из которого связано с ФК – 38-54 %, ГК – 19-35, НО – 25-27 % от ее содержания в гумусе. Аналогичные величины были получены П.Г. Адерикиным и М.Г. Копаевой (1979, 1981).

В ГВ *черноземов* содержание **цинка** находится в пределах 22,2-57,9 мг/кг (рис. 6). Эти данные коррелируют с его количеством в почве ($r=0,9$). Цинк с гумусовыми веществами связан на 54 % от валового содержания в почве.

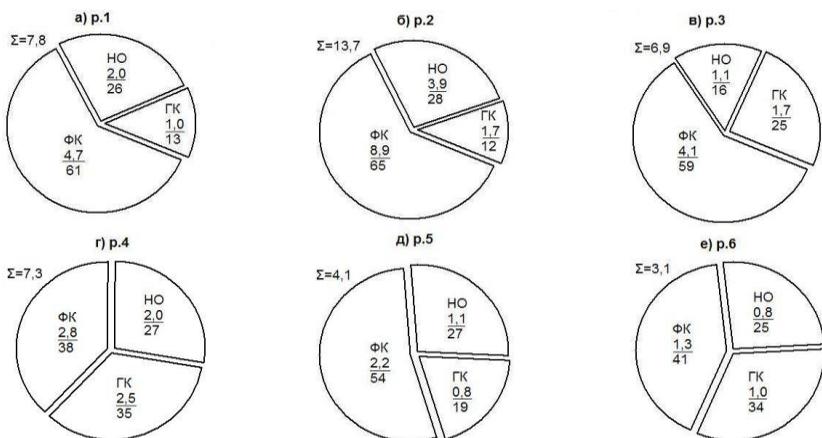


Рис. 5. Си в гумусовых веществах черноземов (а, б, в) и каштановых почв (г, д, е). Здесь и далее: над чертой – мг/кг; под чертой – %

В малогумусных черноземах (р.3) относительная доля его содержания несколько ниже (44 %), что связано как с невысоким количеством гумуса и относительно большой долей фульвокислот (табл. 2). Цинк в гумусовых веществах черноземов закреплен: ГК – 38-42, ФК – 33-34, HO – 24-30%. В связи со сходством химических свойств Zn и Ca, а также вследствие большой емкости поглощения гуминовыми кислотами происходит лучшее связывание с ними цинка, в результате чего образуются труднорастворимые гуматы Zn (Веригина, 1962).

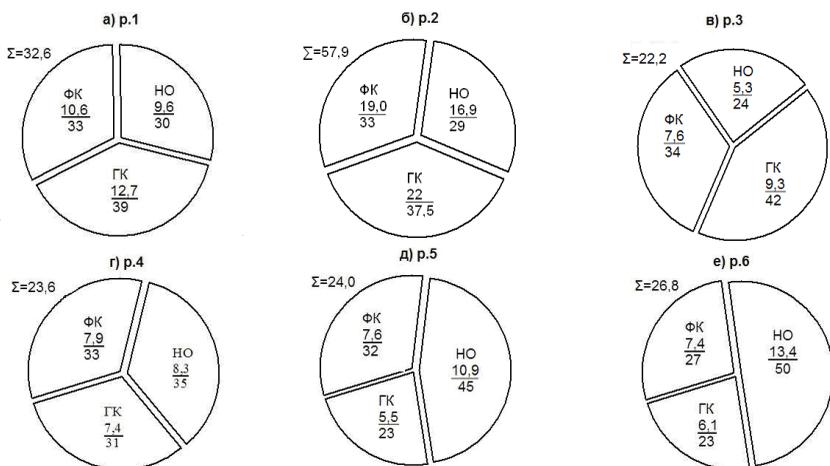


Рис. 6. Zn в гумусовых веществах черноземов (а, б, в)

и каштановых почв (з, д, е)

Содержание Zn в ГВ каштановых почв варьирует от 5,5 до 7,4, что составляет 40-57% относительно содержания в гор.А. Гуминовые кислоты и фульвокислоты связывают цинк практически с одинаковой интенсивностью: ФК – 7,4-7,9 мг/кг, что составило 27-33 %, ГК – 6,1-7,4 мг или 23-31, наибольшее количество Zn обнаружено в гумине – 35-50 % от валового содержания в гумусе. Все это, возможно, объясняется преобладанием в каштановых почвах ФК над ГК при значительном количестве гумина в гумусе в силу криоаридных условий.

Никель преимущественно связан с минеральной основой почв, и в то же время легко вступает в соединение с ГВ (41-49 %), образуя растворимые комплексные вещества. Необходимо отметить, что большая часть (37-52 %) никеля из ГВ черноземов связана с ФК (рис. 7). Это явление вполне закономерно, поскольку они обладают большей дисперсностью и значительным количеством функциональных групп, чем ГК. Способность к комплексообразованию у ФК выше, чем у ГК. В гумине никеля содержится 21-28 %, а в ГК – 27-34 % от валового количества его в ГВ.

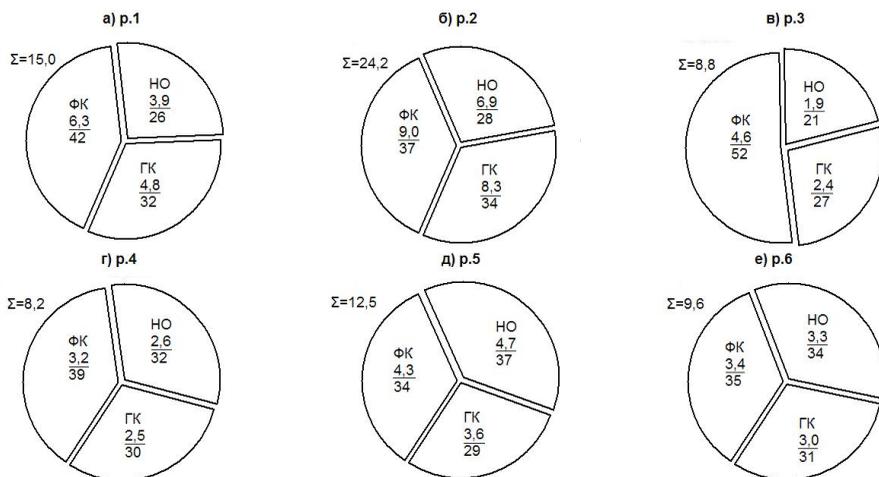


Рис. 7. Ni в гумусовых веществах черноземов (а, б, в) и каштановых почв (з, д, е)

Гумус каштановых почв аккумулирует 39-42% Ni. Элемент почти в равных количествах распределяется по группам гумусовых веществ: ФК – 3,2-4,3 мг/кг или 34-39 %, ГК – 2,5-3,6 мг или 29-31 % и НО – 2,6-4,7 мг или 32-37 % от общего содержания в гумусе.

Почвенные гумусовые вещества способны образовывать комплексы с ионами **свинца**. При этом поглощение Pb полностью или частично происходит за счет вытеснения других ионов. В свою очередь, связанный с ГВ металл может быть полностью или частично вытеснен по механизму ионного обмена.

Гумусовые вещества *черноземов* аккумулируют 36-39 % Pb от его количества в почве, что в абсолютных значениях составляет 11,4-12,7 мг/кг, т.е. он преимущественно связан с минеральной частью (рис. 8). Свинец обнаружен в гумусе в основном в составе ФК – 5,0-7,2 мг/кг, что составило 43-63 %, в НО – 26-27 % и на ГК приходится всего 11-30% от его общего количества в гумусе.

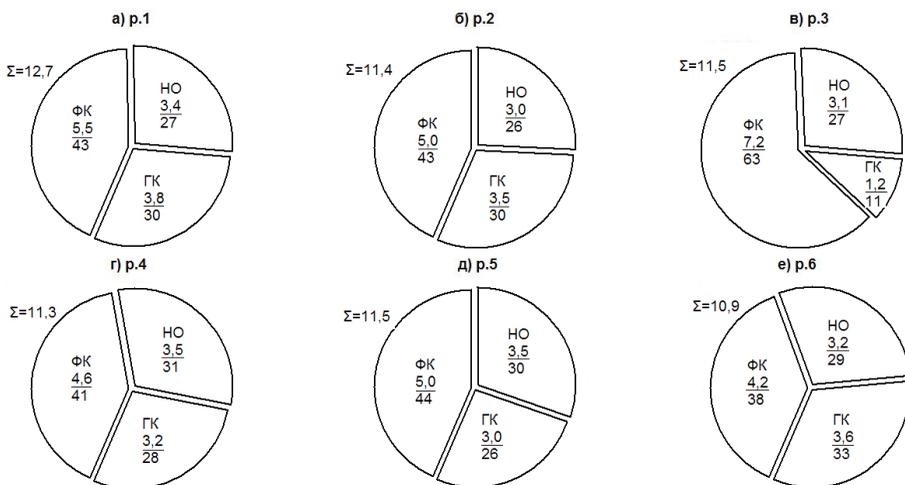


Рис. 8. Pb в гумусовых веществах черноземов (а, б, в) и каштановых почв (г, д, е)

В гумусовых веществах *каштановых почв* содержание **свинца** составляет 11 мг/кг, или 34-35 % от валового количества в почве. Большая доля свинца связана с ФК – 38-44 %, меньшая с ГК – 26-33 %. В гумине концентрируется 29-31 % свинца, т.е. его распределение в гуминовых веществах равнозначное.

Гумусовые вещества почв способны связывать значительное количество микроэлементов, которое зависит, в первую очередь, от содержания гумуса, от его группового состава и химических свойств каждого элемента.

Выводы:

1. В Забайкалье формируются черноземы преимущественно фульватно-гуматного типа гумуса и каштановые почвы – гуматно-фульватного. Для этих типов почв характерно высокое содержание гумина.

2. Подстилающие почвообразующие породы легкого гранулометрического состава, за исключением делювиальных суглинков, обеднены Cu, Zn, Ni и обогащены Pb, количество которого превышает кларк литосферы.

3. Содержание микроэлементов в органогенном горизонте черноземов и каштановых почв низкое, кроме свинца (выше ПДК). Металлы в основном связаны с минеральной частью (%): Cu – 56-66, Ni – 51-61; Pb – 61-66 от валового их количества, а Zn почти равномерно распределен в гумусовых веществах и минеральной основе (43-60).

4. Травы степных и сухостепных фитоценозов накапливают Cu, Zn, Ni и Pb, в количествах не превышающих ПДК, а концентрации меди, цинка и никеля являются дефицитными для трав.

5. Различие по связыванию микроэлементов гумусовыми веществами черноземов и каштановых почв обусловлено разным содержанием гумуса, его составом, а также свойствами конкретного элемента.

6. В гумусовых веществах микроэлементы (Cu, Ni, Pb) преимущественно связываются фульвокислотами. Повышенное содержание гумуса в черноземах и фульватно-гуматный его тип обусловили преимущественное связывание Zn гуминовыми кислотами, тогда как в каштановых почвах он адсорбирован гуминами.

7. Гумусовые вещества почв различаются по интенсивности аккумуляции микроэлементов: в черноземах Ni и Pb убывают в ряду: ФК→ГК→НО; Cu – ФК →НО →ГК; Zn – ГК→ ФК→ НО; в каштановых – Cu и Pb – ФК→ГК→НО, Ni – ФК→ НО→ ГК, Zn – НО→ ФК→ ГК.

Список опубликованных работ по теме диссертации:

Статьи в рецензируемых журналах:

1. Чимитдоржиева Э.О. Современное гумусное состояние черноземов Забайкалья / Э.О. Чимитдоржиева, Е.А. Бодеева // Агрехимический вестник. – 2011. – №4. – С. 34-36.

2. Чимитдоржиева Э.О. Гумус каштановых почв Тугнуйской котловины Забайкалья / Э.О. Чимитдоржиева, Е.А. Бодеева // Плодородие. – 2011. – С. 16-17.

3. **Бодеева Е.А.** Cu, Zn, Ni в каштановых почвах Забайкалья / **Е.А. Бодеева** // Агрехимический вестник. – 2012. – № 1. – С. 35-37

4. Чимитдоржиева Г.Д. Тяжелые металлы (медь, свинец, кадмий) в органической части серых лесных почв Бурятии / Г.Д. Чимитдоржиева, А.З. Нимбуева, **Е.А. Бодеева** // Почвоведение. – 2012. – № 2. – С.166-172.

Статьи и тезисы в других изданиях:

1. **Бодеева Е.А.** Антропогенная нагрузка на среду и здоровье населения / **Е.А. Бодеева**, Т.Н. Чимитдоржиева, О.Д. Доржиева // Научные основы сохранения водосборных бассейнов: междисциплинарные подходы к управлению природными ресурсами: Тез. междунар. конф. – Улан-Удэ, 2004. – С 126.

2. Чимитдоржиева Э.О. Плодородие черноземов и каштановых почв Забайкалья / Э.О. Чимитдоржиева, **Е.А. Бодеева** // Актуальные проблемы экологии, морской биологии и биотехнологии. – Владивосток, 2010. – С. 222-224.

3. Чимитдоржиева Г.Д. Тяжелые металлы (свинец, кадмий и цинк) на территории Республики Бурятия / Г.Д. Чимитдоржиева, **Е.А. Бодеева** // Современные проблемы загрязнения почв: Мат-лы III междунар. научн. конф. – М., 2010. – С. 462-464.