

На правах рукописи

НИМБУЕВА АЮНА ЗОРИКТОЕВНА

**ТЯЖЕЛЫЕ МЕТАЛЛЫ В ОРГАНИЧЕСКОМ ВЕЩЕСТВЕ
ЛУГОВО-ЧЕРНОЗЕМНЫХ МЕРЗЛОТНЫХ И СЕРЫХ ЛЕСНЫХ
ПОЧВ ЗАБАЙКАЛЯ**

03.00.27 – Почвоведение

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата биологических наук

г. Улан-Удэ
2007

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

Научный руководитель: доктор сельскохозяйственных наук,
профессор
Чимитдоржиева Галина Доржиевна

Официальные оппоненты: доктор биологических наук
Меркушева Мария Григорьевна
кандидат химических наук, доцент
Корсун Лариса Николаевна

Ведущая организация Иркутский научно-исследовательский
институт сельского хозяйства СО РАСХН

Защита состоится “ 14 ” ноября 2007 г. в “ ” час. на заседании диссертационного Совета Д. 003.028.01 в Институте 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 и на сайте igaeb.bol.ru

Автореферат разослан “15 ” октября 2007 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
доктор биологических наук

В.И. Убугунова

Введение

Актуальность. Во второй половине XX века произошло резкое ухудшение состояния окружающей среды в результате хозяйственной деятельности человека. Повышение промышленно-энергетического потенциала, концентрация населения в городах, увеличение транспортных потоков сопровождаются эмиссией в биосферу огромного количества загрязняющих веществ. Среди них одно из первых мест по объему выбросов и опасности действия на живые организмы, наряду с отходами атомных электростанций и пестицидами, заняли тяжелые металлы (ТМ).

Поскольку ТМ поступают в организм человека и травоядных животных в основном с растительной пищей, а обогащение ее ТМ происходит главным образом из почвы, почвенно-химические исследования приобретают огромное значение.

Наряду с довольно хорошей изученностью содержания ТМ в почвах Забайкалья (Сеничкина, Абашеева, 1986; Кашин, Иванов, 1996, 1997, 1998, 1999, 2002, 2004), исследований особенностей накопления и распределения ТМ в органическом веществе, как буферной системе почвенной среды, сорбенте разнообразных химических веществ, и, в частности, ТМ, практически не проводилось. Изучение содержания ТМ в органическом веществе серых лесных почв, расположенных в центральной экологической зоне озера Байкал, особенно в связи с развитием здесь туристско-рекреационной зоны, а также с разработкой Озерного свинцово-цинкового месторождения в Еравнинской котловине на лугово-черноземных мерзлотных почвах, представляет актуальную научную задачу, отвечающую практическим запросам природопользования и охраны окружающей среды.

Цель работы – выявление содержания тяжелых металлов в органическом веществе лугово-черноземных мерзлотных и серых лесных почв Забайкалья.

Для достижения цели были поставлены следующие **задачи**:

1. Выявить содержание ТМ в почвообразующей породе, почвах и растительности.
2. Определить содержание ТМ в гумусовых кислотах исследуемых почв.

Научная новизна. Впервые определены уровни валового содержания ТМ (Mn, Cu, Zn, Co, Pb, Ni, Cr, Cd) в гумусовых кислотах лугово-черноземных мерзлотных и серых лесных почв Забайкалья. Выявлены особенности их аккумуляции гуминовыми и фульвокислотами в зависимости от количественного и качественного состава гумуса.

Защищаемые положения:

1. Содержание ТМ в гумусовых кислотах исследуемых почв обусловлено количественным и качественным составом гумуса и свойствами элементов.
2. Преобладающая часть ТМ концентрируется в фульвокислотах.

Теоретическая и практическая значимость работы. Результаты проведенных исследований позволили дать экологическую оценку уровню валового содержания ТМ в почвообразующей породе, гумусовом горизонте, травянистой растительности исследуемых почв и вносят новые данные в

элементный состав гуминовых и фульвокислот. Полученные данные могут быть использованы в дальнейшем природоохранными и санитарно-гигиеническими службами для почвенно-геохимического мониторинга состояния почвенного покрова и растительности.

Апробация работы. Основные положения работы докладывались на: Международной конференции “Основные факторы и закономерности формирования дельт и их роль в функционировании водно-болотных экосистем в различных ландшафтных зонах” (Улан-Удэ, 2005); IX Международной научной школе-конференции “Экология Южной Сибири и сопредельных территорий” (Абакан, 2006); IV Международной научной конференции молодых ученых и аспирантов по фундаментальным наукам “Ломоносов - 2006” (Москва, 2006); Межрегиональной конференции молодых ученых (Улан-Удэ, 2006); Всероссийской школе “Экология и почвы” (Пушино, 2005); III Всероссийской конференции “Современные проблемы почвоведения и оценки земель Сибири”, посвященной 75-летию Томского государственного университета (Томск, 2005); Всероссийской конференции “Биоразнообразие экосистем Внутренней Азии”, посвященной 25-летию ИОЭБ СО РАН (Улан-Удэ, 2006); Всероссийской конференции молодых ученых “Экология в современном мире: взгляд научной молодежи” (Улан-Удэ, 2007).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 10 работ.

Структура и объем диссертации. Диссертация изложена на 125 страницах компьютерного текста, состоит из введения, 6 глав, выводов, списка литературы, включающего 182 наименования, в том числе 20 на иностранном языке. Содержит 16 таблиц, 38 рисунков.

Личный вклад. Диссертационная работа является обобщением личных материалов, полученных в результате полевых и лабораторных исследований в 2004 – 2007 гг. в Институте общей и экспериментальной биологии СО РАН.

Глава 1. Тяжелые металлы в системе почва-растение

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

Глава 2. Условия формирования лугово-черноземных мерзлотных и серых лесных почв

В главе дана характеристика основных факторов почвообразования – рельефа, почвообразующих пород, климата, растительности Еравнинской котловины, Тункинской, Бичурской и Прибайкальской лесостепей.

Объекты и методы исследований

Объектами исследования являются лугово-черноземные мерзлотные почвы Еравнинской котловины и длительносезонномерзлотные серые лесные почвы, сформированные на разных почвообразующих породах: в Бичурской,

Прибайкальской и Тункинской лесостепи.

Для изучения гранулометрического состава и физико-химических свойств исследуемых почв были использованы общепринятые в почвоведении методы (Аринушкина, 1970; Агрехимические..., 1975).

Гумусовые вещества экстрагировались по методу Х. Гримме (Grimme, 1967). Навески почв, не содержащие растительных остатков, подвергали многократной обработке смесью 0,5 н. NaOH с 0,01 М ЭДТА до обесцвечивания раствора над почвой после центрифугирования. Органическое вещество в фильтрате после осаждения гуминовых кислот условно принимали за фульвокислоты.

Валовое содержание ТМ в почвах и растениях определяли согласно (Инструкции..., 1977). Количество надземной и подземной фитомассы учитывали по Н.А. Панковой (1965).

Содержание основных элементов-органогенов в растительных образцах определено на автоматическом элементном анализаторе CNHS/O Perkin Elmer 2400 II. Определение тяжелых металлов (Mn, Cu, Zn, Co, Pb, Ni, Cr, Cd) проводилось на атомно-абсорбционном спектрофотометре с пламенным атомизатором Solaar M6.

Статистическая обработка данных выполнена по Б.А. Доспехову (1979) с использованием программы Microsoft Excel.

Глава 3. Характеристика лугово-черноземных мерзлотных и серых лесных почв

3.1. Лугово-черноземные мерзлотные почвы

Мерзлотные лугово-черноземные почвы занимают хорошо дренированные увалистые равнины межгорных котловин, слабопологие склоны шлейфов, днища падей, сложенных обычно породами тяжелого гранулометрического состава. Они формируются под лугово-степной растительностью.

Тяжелый гранулометрический состав этих почв обуславливает достаточно высокую емкость поглощения. Содержание обменных кальция и магния составляет 28-22 мг-экв/100 г почвы. Реакция почвенной среды близка к нейтральной, с глубиной в карбонатном горизонте, становится слабощелочной (табл. 1).

Таблица 1
Физико-химическая характеристика лугово-черноземных мерзлотных почв

| Горизонт | Глубина, см | Собщ, % | рН водн | Частицы, мм | | Сумма поглощенных оснований, мг-экв/100г |
|----------|-------------|---------|---------|-------------|-------|--|
| | | | | <0,001 | <0,01 | |
| | | | | % | | |
| А | 5-20 | 5,6 | 6,8 | 15,4 | 22,8 | 28 |
| АВ | 25-35 | 1,8 | 7,5 | 19,5 | 35,7 | 22 |
| В | 35-70 | 0,9 | 8,2 | 15,2 | 38,0 | 20 |
| Вк | 70-90 | не опр. | 8,5 | 24,5 | 44,6 | 14 |
| ВС | 110-140 | не опр. | 8,5 | 11,7 | 21,2 | - |

Отличительной чертой гумуса лугово-черноземных мерзлотных почв является высокий процент негидролизующего остатка, достигающего 57 % в слое 5-15 см. В составе гумусовых кислот значительна доля гуминовых кислот (Сгк:Сфк = 1,6) в нижнем горизонте снижается до 0,5. Особенностью гуминовых и фульвокислот этих почв является то, что углерод во всех фракциях распределен равномерно (табл. 2).

Таблица 2
Фракционный состав гумуса почв (С фракций гумуса, % к С общ. почвы)

| Глубина, см | Собщ, % | Сгк | | | | Сфк | | | | | НО | Сгк/Сфк | |
|-------------|---------|-------------------------------|------|------|------|-----|-----|------|-----|------|----|---------|-----|
| | | 1 | 2 | 3 | Σ | 1а | 1 | 2 | 3 | Σ | | | |
| 5-15 | 5,6 | Лугово-черноземные мерзлотные | | | | | | | | | | 57,3 | 1,6 |
| | | 8,5 | 9,6 | 8,1 | 26,2 | 2,3 | 5,4 | 5,2 | 3,2 | 16,1 | | | |
| 5-17 | 2,2 | Серые лесные | | | | | | | | | | 51,5 | 0,7 |
| | | 2,9 | 16,0 | 10,1 | 29,0 | 7,2 | 0 | 10,1 | 2,2 | 19,5 | | | |

3.2. Серые лесные длительносезонномерзлотные почвы

Серые лесные почвы формируются в лесостепной зоне на высотах 500-900 м над уровнем моря на склонах и шлейфах внутригорных и межгорных котловин, водоразделах плоских хребтов и террасах высокого уровня под лесостепной растительностью.

Исследуемые почвы, несмотря на формирование на различных почвообразующих породах, характеризуются легким гранулометрическим составом, близким к нейтральной реакции среды, незначительной суммой поглощенных оснований и одинаково низким содержанием гумуса (табл. 3).

Таблица 3
Физико-химическая характеристика серых лесных почв (горизонт А)

| Местоположение разреза | Собщ, % | рН водн | Частицы, мм | | Сумма поглощенных оснований, мг-экв/100г |
|-----------------------------------|---------|---------|-------------|-------|--|
| | | | <0,001 | <0,01 | |
| | | | % | | |
| Кабанский район, с. Дулан | 2,3 | 6,3 | 2,9 | 14,9 | 19,5 |
| Тункинский район, с. Галбай | 2,2 | 6,4 | 2,6 | 17,6 | 18,8 |
| Бичурский район, с. Малый Куналей | 2,1 | 6,5 | 4,3 | 21,9 | 21,0 |

Особенностями гумуса серых лесных почв являются: высокое содержание негидролизующего остатка (51 %); в составе гумусовых веществ преобладают фульвокислоты, величина Сгк:Сфк составляет 0,6-1,0; во фракции кислот преобладают гуматы и фульваты кальция (табл.2).

Глава 4. Тяжелые металлы в почвах

4.1. Почвообразующие породы

Среднее количество ТМ в почвообразующих породах, на которых развиты лугово-черноземные мерзлотные и серые лесные почвы, ниже кларка литосферы, что связано с минералогическим составом коренных пород.

4.2. Гумусовый горизонт почв

Различное содержание ТМ в исследованных почвах обусловлено почвообразующими породами, гранулометрическим составом, органическим веществом и химическими свойствами самих элементов.

В *лугово-черноземных мерзлотных почвах* Mn, Cu, Cr находятся на уровне их содержания в почвообразующей породе. Низкое содержание Ni, по сравнению с породой, обусловлено, по-видимому, его адсорбцией минералами и инертностью в нейтральной среде. Zn и Pb найдены в больших количествах, несмотря на их низкое содержание в породе, что, вероятно, обусловлено биогенным накоплением. Cd, как элемент сопутствующий Zn, обнаружен в почве в количестве 1,0 мг/кг. Количество Co в почве выше, чем в породе, но ниже ПДК кобальта для почв.

В *серых лесных почвах* наблюдается биогенное накопление Mn, обусловленное влиянием лесной травянистой растительности. Для Cu, Zn, Cr и Co обнаружена тесная корреляция ($r=0,87$) между содержанием ТМ в почвообразующей породе и гумусовом горизонте серых лесных почв. Содержание никеля, по сравнению с породой, как и в лугово-черноземных почвах, низкое. Выявлено биогенное накопление свинца.

Таким образом, исследуемые тяжелые металлы найдены в количестве ниже ПДК.

Глава 5. Тяжелые металлы в фитомассе лесостепных растительных сообществ

Запасы сухой фитомассы разнотравной растительности на лугово-черноземных мерзлотных почвах составила в среднем 279 ц/га, на серых лесных – 424 ц/га и характеризовались, согласно Н.И. Базилевич (1993), как мало и среднепродуктивные, с индексами 4 и 5 соответственно. Основная доля фитомассы приходилась на подземную часть – 92 %.

Анализ качественного состава растительного опада показал, что в надземной массе значительно содержание основных биофильных элементов, по сравнению с корнями, вследствие чего деструкция надземной массы происходит быстрее, чем корневой.

Адаптационная реакция целинных фитоценозов на жесткие гидротермические условия выражается в изменении качественного состава растений: происходит накопление устойчивых соединений, таких как лигнин, за счет понижения содержания соединений азота, простых углеводов и зольных элементов.

Содержание ТМ в травянистой растительности на исследуемых почвах характеризовалось значительной контрастностью, обусловленной как биологическими особенностями растений, так и различными коэффициентами

аккумуляции. В целом количество ТМ находится в пределах допустимых концентраций.

Накопление тяжелых металлов растительностью соответствует рядам биологического поглощения по А.И. Перельману, за исключением Zn, который в данном случае является элементом среднего захвата и слабого накопления. По коэффициенту биологического поглощения (КБП) тяжелые металлы в надземной фитомассе образуют следующий убывающий ряд: $Zn > Mn > Cu > Ni > Pb > Cr > Co > Cd$, а в подземной: $Zn > Mn = Cu > Co > Ni > Pb > Cr > Cd$. Судя по величине КБП, растения лучше накапливают Mn, Cu, Zn и в значительно меньшей степени – Cd, Cr, Ni, Pb, Co, что обусловлено физиологической потребностью растений.

Глава 6. Тяжелые металлы в органическом веществе

Гумусовые вещества – не случайный продукт “перегнивания” растительных и других остатков, а необходимый и неотъемлемый компонент системы почва-растение, сформировавшийся в результате совместной и единой эволюции живого и среды обитания, отражающий неразрывное единство этой системы (Орлов, 1990).

Известно, что вредные химические соединения, попавшие в почву, сорбируются, главным образом, почвенным органическим веществом и вовлекаются в процессы микробиологической деструкции. Часть загрязняющих веществ, связывается с гумусовыми кислотами, вследствие чего их токсичность уменьшается.

6.1. Лугово-черноземные мерзлотные почвы

Медь. Способность почвенного органического вещества (ОВ) вступать во взаимодействие с различными катионами зависит от свойств металлов. Медь, по мнению многих ученых (Орлов, Нестеренко, 1960; Руденская, 1962; Канатчикова, 1965), относится к числу сильных комплексообразователей и закрепляется в почве в виде прочных органических хелатов (Возбуцкая, 1964). Количество меди в органогенном слое почвы составляло 23,1 мг/кг, что коррелирует с содержанием ее в почвообразующей породе – 29,8 (рис. 1). Эти цифры свидетельствуют о низком содержании меди по сравнению с кларком литосферы. Подобные данные получены Д.Д. Саввиновым (2006) в аласах Якутии. Корневая часть травянистой растительности накапливает медь в количестве 17,8 мг/кг. В надземной массе ее содержание вдвое ниже, что согласуется с данными В.Б. Ильина (1985). Связанная органическим веществом медь трудно вымывается, поэтому существенно снижается ее доступность для растений (Пейве, 1961).

Значительная часть меди в почве закреплена органическим веществом - 13,1 мг/кг, коэффициент аккумуляции (Ка) из почвы = 0,7. Основная часть меди связана с фульвокислотами (ФК) – 11,2, в гуминовых кислотах (ГК) - 2,9 мг/кг (рис. 2). Аналогичные данные получены М. Шнитцер и К. Гош (Schnitzer, Ghosh, 1982), которые полагают, что значительная доля катионов меди связывается ФК внутрисферно в двухвалентном состоянии, причем основными агентами взаимодействия в молекулах ФК являются свободные радикалы $COOH\cdot$ - и $OH\cdot$ - групп.

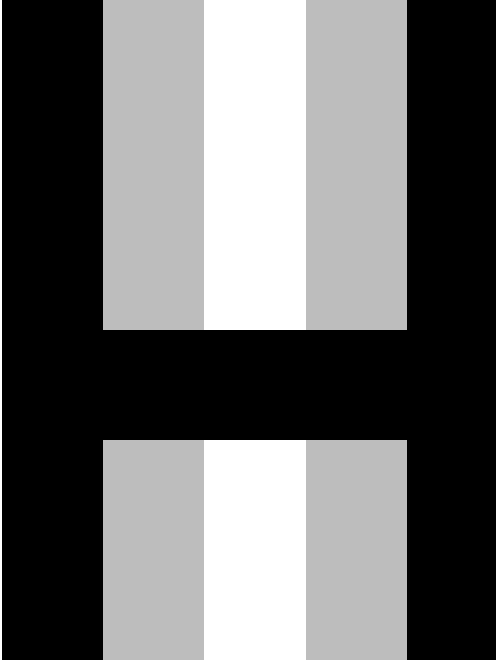
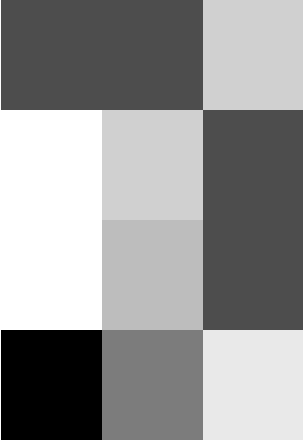


Рис. 1. Медь в системе почва-растение

Рис. 2. Медь в гумусовых кислотах, мг/кг

Цинк. В почвообразующей породе содержание цинка составляет 45,5 мг/кг, что примерно в 3 раза ниже, чем в верхнем горизонте почвы (58,5 мг/кг). Многие исследователи (Ковальский, Андрианова, 1970; Макеев, 1973; Пузанов, Мальгин, 1998 и др.) также отмечают биогенную аккумуляцию цинка в гумусовых горизонтах почв (рис. 3).

В органическом веществе почвы цинк обнаружен в количестве 65,0 мг/кг, что составляет 11 % от валового содержания в почве, большей частью закрепленных ГК (рис. 4), что можно объяснить образованием труднорастворимых гуматов цинка (Веригина, 1964). По данным фракционного состава гумуса, в лугово-черноземных мерзлотных почвах углерод гуминовых кислот равномерно распределен по всем фракциям. В связи со сходством химических свойств цинка и кальция, по-видимому, происходит конкуренция при образовании гуматов. Н.М. Баугман (Vaughman, 1956) отмечает, что более половины цинка в почве связано с органическим веществом, а при его разрушении цинк почвой не фиксируется.

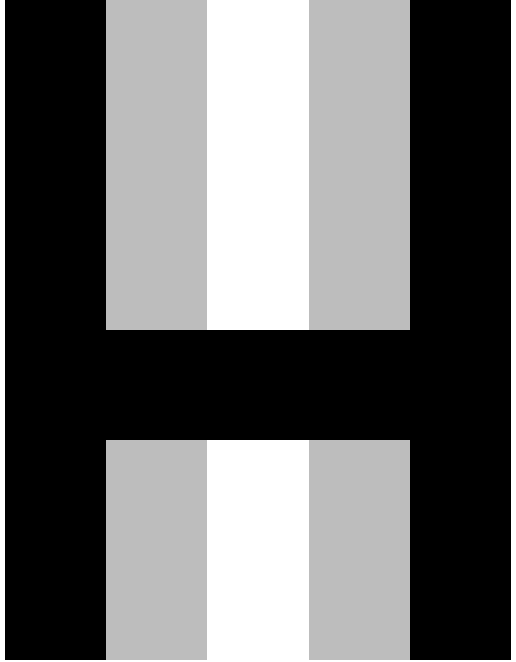
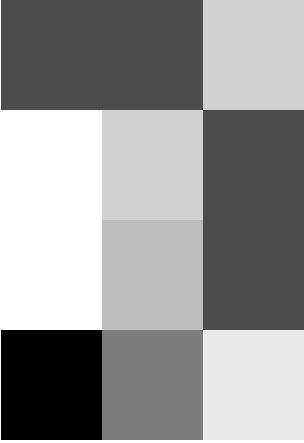


Рис. 3. Цинк в системе почва-растение

Рис. 4. Цинк в гумусовых кислотах, мг/кг

Марганец. Содержание марганца в пролювиально-делювиальных суглинках, подстилающих лугово-черноземные мерзлотные почвы, и органогенном слое почвы – почти равное (около 250 мг/кг), что в 5 раз ниже ПДК в почвах. В растительности марганец большей частью содержится в корневой массе – 198,5 мг/кг, а в надземной – 82,9 (рис. 5).

Содержание марганца в гумусовых кислотах незначительное – 123,0 мг/кг (5 % от валового содержания в почве). Подобные результаты, были получены ранее П.В. Мадановым (1953). О незначительной связи марганца с органическим веществом почв свидетельствуют исследования Р. Барила и Г. Биттона (Baril, Bitton, 1969). Основная часть марганца органических соединений представлена комплексами фульвокислот (рис. 6).

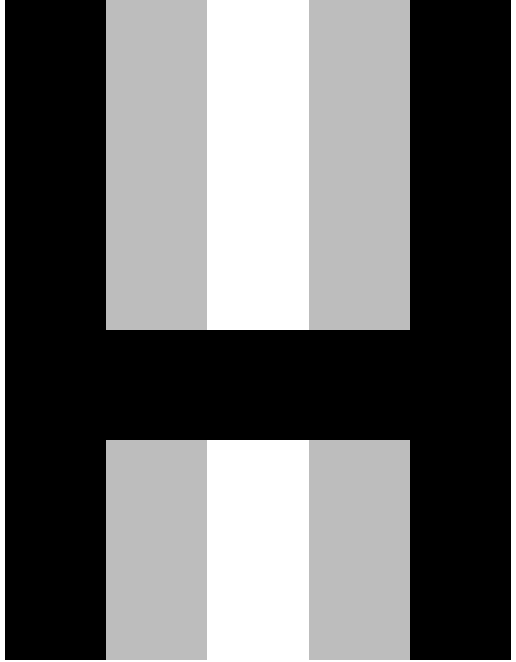
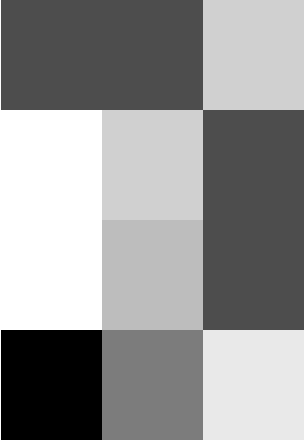


Рис. 5. Марганец в системе почва- растение

Рис. 6. Марганец в гумусовых кислотах, мг/кг

Никель. Количество никеля в породе лугово-черноземных мерзлотных почв находится на уровне кларковых значений литосферы – 41,8 мг/кг. Однако в верхних горизонтах почвы он содержится в меньшем количестве – 17,4 мг/кг. Трансформация никеля из органогенного слоя в растительный организм незначительная. В корнях целинного разнотравья он накапливается в пределах 2,4 мг/кг, значительно меньше в надземной травянистой массе – 0,6 (рис. 7). В гумусовых кислотах содержание никеля составляет 15,9 мг/кг, он легко вступает в соединение с органическим веществом, образуя растворимые комплексные соединения (рис. 8).

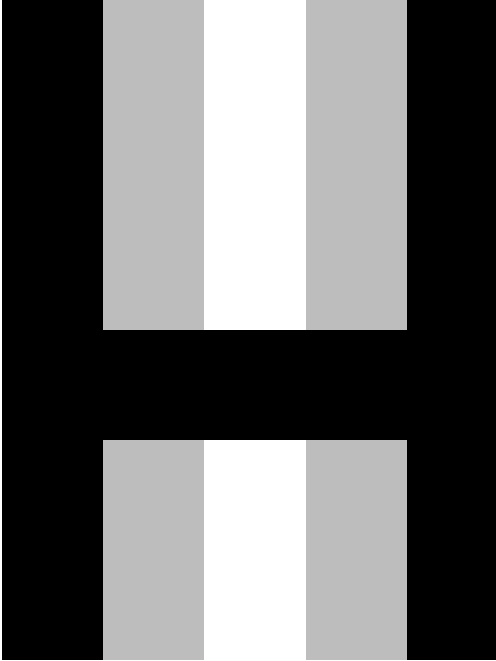
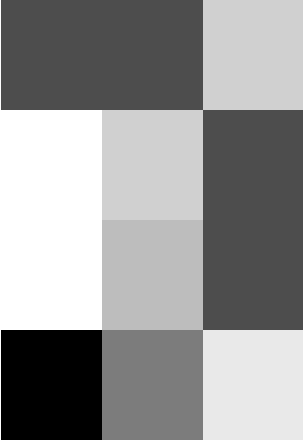


Рис. 7. Никель в системе почва-растение

Рис. 8. Никель в гумусовых кислотах, мг/кг

Хром. В почвах хром разновалентен с преобладанием малорастворимых соединений. Большая часть хрома в почвах присутствует в виде Cr^{3+} , который входит в состав минералов или образует различные оксиды (Убугунов, Кашин, 2004). Содержание хрома в органогенных слоях почв находится в зависимости от его содержания в породе (рис. 9). В связи с низким КБП хрома (0,2-0,4), его количество в надземной части и корнях разнотравья незначительное (1,2-3,0 мг/кг). В органической части почвы содержание хрома при $n=3$ составляет 20,8 мг/кг, что свидетельствует о незначительном закреплении хрома ОВ, преимущественно в составе фульвокислот (рис. 10).

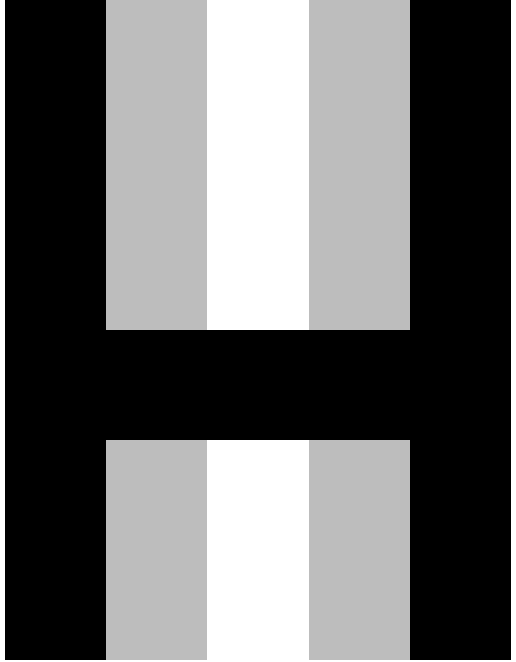
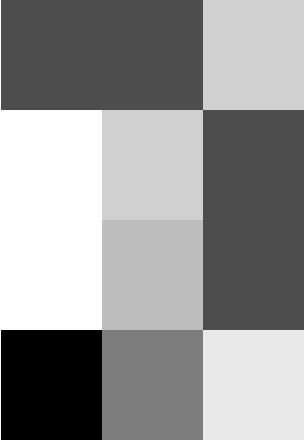


Рис. 9. Хром в системе почва-растение

Рис. 10. Хром в гумусовых кислотах, мг/кг

Свинец. В почвообразующей породе лугово-черноземных мерзлотных почв свинец составляет в среднем (при $n=3$) 12,5 мг/кг, возрастая в верхнем горизонте почв до 22,0, что выше кларковых значений Pb (рис. 11). Почвенное органическое вещество способно образовывать комплексы с ионами свинца. При этом поглощение свинца полностью или частично происходит за счет вытеснения других ионов. В свою очередь, связанный с органическим веществом металл может быть полностью или частично вытеснен по механизму ионного обмена. Закрепление свинца гумусовыми кислотами препятствует его поступлению в растения, и в корневой массе трав он найден в небольшом количестве (2,2 мг/кг). В корнях растений существует, так называемый, физиологический барьер для токсичных элементов, препятствующий их поступлению в надземную часть. Поэтому надземная фитомасса содержит свинец в минимальном количестве (0,1 мг/кг). Следует отметить, что в лесостепных почвах Забайкалья содержание свинца, высокотоксичного для биоты, ниже ПДК.

Согласно нашим данным, свинец обнаружен в гумусовых кислотах почв в количестве 10,6 мг/кг, в основном в составе ФК (рис. 12). Наибольшие концентрации свинца обнаруживаются в обогащенном органическим веществом верхнем слое целинных почв. Поэтому органическое вещество должно, вероятно, рассматриваться как важный аккумулятор свинца в загрязненных почвах (Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989).

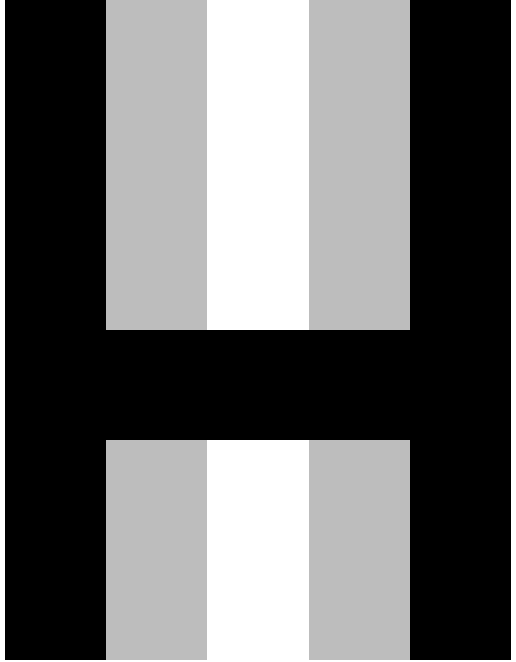
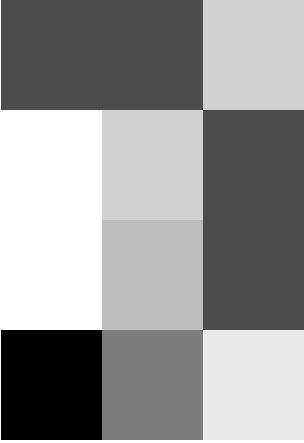


Рис. 11. Свинец в системе почва-растение Рис. 12. Свинец в гумусовых кислотах, мг/кг

Кобальт. Важными факторами распределения и поведения кобальта в почвах являются органическое вещество и содержание глинистых частиц. Особенно большая роль отводится монтмориллонитовым и иллитовым глинам из-за их высокой сорбционной способности и относительно легкого высвобождения кобальта. Содержание кобальта в почвообразующих породах и органогенном слое лугово-черноземной мерзлотной почвы незначительное – 4,5 и 3,8 мг/кг соответственно. В надземной массе разнотравья кобальт не обнаружен, а в подземной – он присутствует в количестве 0,6 мг/кг (рис. 13). Фиксации кобальта гумусовыми кислотами не отмечено.

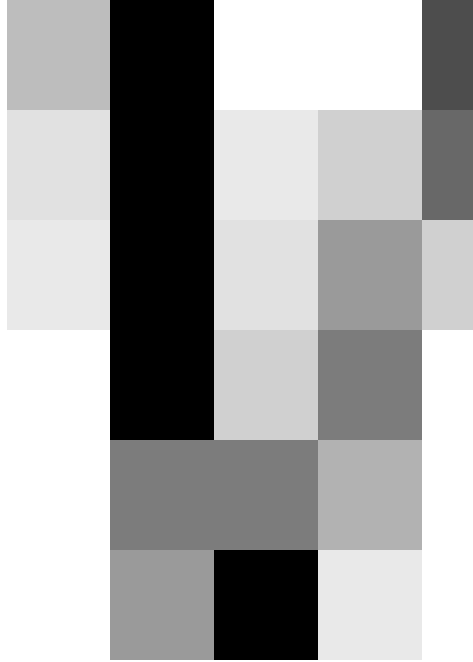
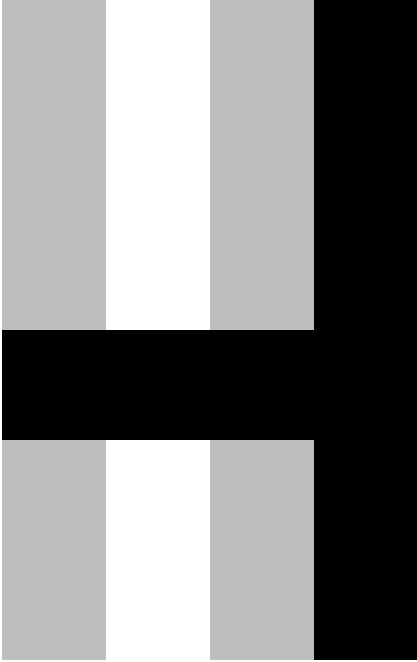


Рис. 13. Кобальт в системе почва-растение

Кадмий. Известно всего три минерала, содержащих кадмий, но они не образуют рудных скоплений, а встречаются как спутники цинка в цинковых и полиметаллических рудах. В природе кадмий обнаруживается в виде мелких частиц в районе плавильных предприятий, откуда попадает в атмосферу, почву и воду. Небольшое количество кадмия обнаружено нами в органогенном слое почвы (1,04 мг/кг), а в почвообразующей породе и разных частях растений этот элемент не найден (рис. 14). Гумусовые кислоты связывают кадмий в количестве 0,3 мг/кг, в основном в составе ГК (рис.15).

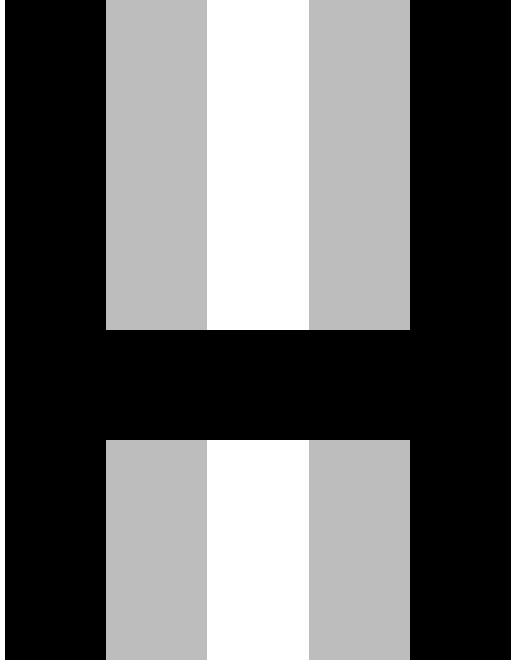
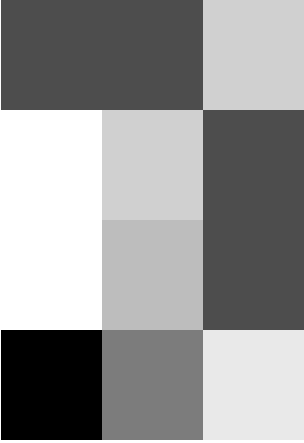


Рис. 14. Кадмий в системе почва-растение Рис. 15. Кадмий в гумусовых кислотах, мг/кг

Исследуемые тяжелые металлы по общему содержанию в гумусовых веществах лугово-черноземных мерзлотных почв можно представить в виде последовательно убывающего ряда $Mn > Zn > Cr > Ni > Cu > Pb > Cd > Co$, в % отношении от их валовых количеств в почвах: $Zn > Ni > Cu > Mn > Pb > Cr > Cd > Co$ и не превышает 11 %.

6.2. Серые лесные почвы

Марганец. В почвообразующей породе содержание марганца составляет 379,0 мг/кг, что ниже кларка литосферы. В распределении марганца по профилю наблюдается ярко выраженная биогенная аккумуляция в верхнем горизонте, так в органогенном слое почвы (при $n=3$) его количество в среднем составило 488,0 мг/кг. О биогенном накоплении марганца в почвах свидетельствует его высокое количество в подземной части разнотравья – 314,6 мг/кг, низкое в надземной – 95,9 (рис. 16). По данным П.В. Маданова и др. (1972), после минерализации лесного опада марганец закрепляется в гумусовых горизонтах почв в виде органоминеральных соединений. Марганец, по нашим данным, в основном связан с минеральной частью почв, а в гумусовых веществах он присутствует в основном в составе ФК (рис. 17).

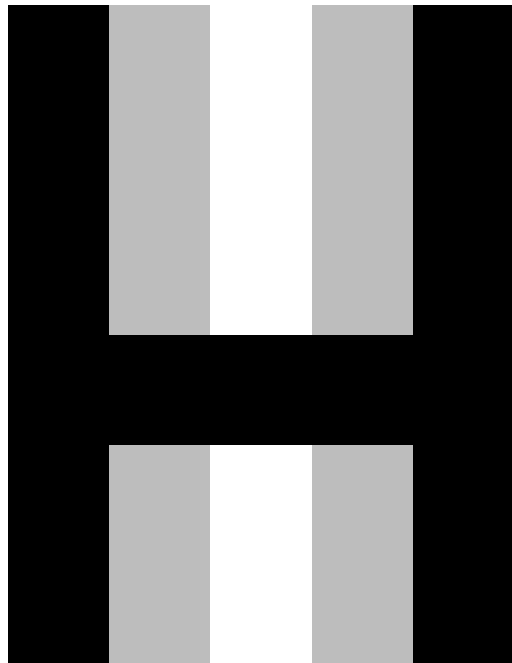
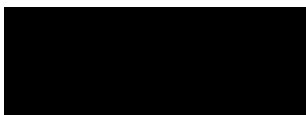
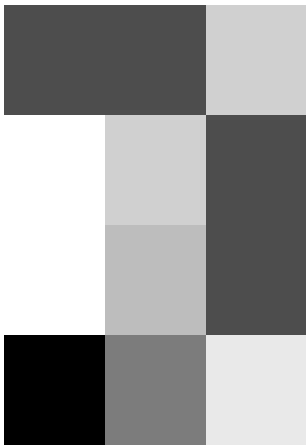


Рис. 16. Марганец в системе почва-растение

Рис. 17. Марганец в гумусовых кислотах, мг/кг

Цинк. Количество цинка в почвообразующей породе, подстилающей серые лесные почвы, составляет 51 мг/кг, что ниже кларка литосферы. По данным А.П. Виноградова (1957), среднее содержание цинка в почвах - 50 мг/кг. По нашим данным, количество цинка в почвах составляет 38,5 мг/кг, а в корнях разнотравья и надземной части – несколько выше (47 и 43 мг/кг соответственно) (рис. 18).

Рядом исследователей отмечена повышенная концентрация цинка в лесном опаде березы и осины (Ковалевский, 1967; Ковальский, Андрианова, 1970; Макеев, 1973 и др.). С этим, вероятно, связано значительное содержание цинка в гумусовых кислотах серых лесных почв ($K_a = 2,5$), при почти равном соотношении гуминовых и фульвокислот (рис. 19).

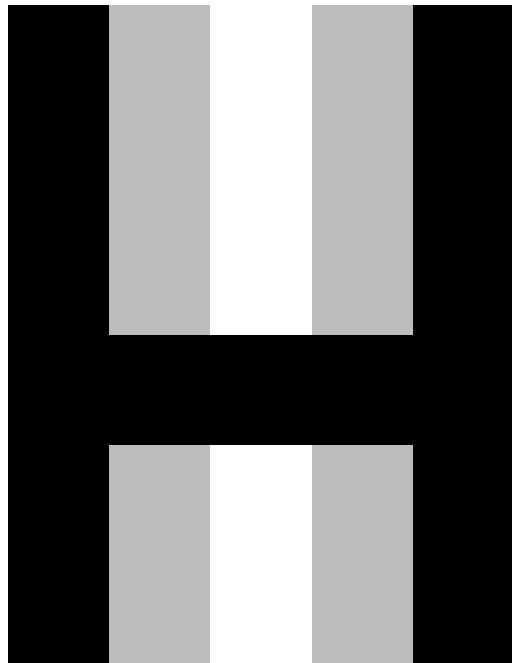
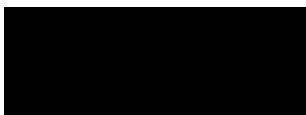
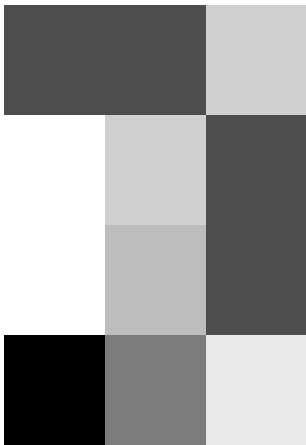


Рис. 18. Цинк в системе почва-растение Рис. 19. Цинк в гумусовых кислотах, мг/кг

Медь поглощается как минеральными, так и органическими коллоидами и отличается высокой комплексообразующей способностью. Низкое содержание меди в серых лесных почвах, по сравнению с лугово-черноземными мерзлотными, связано со слабокислой реакцией среды, что увеличивает подвижность соединений меди. В почвообразующей породе серых лесных почв медь обнаружена в количестве 27,9 мг/кг, а в верхнем органогенном слое - 14,6. В корневой массе растительности и надземной части ее содержание составляет 15,4 и 7,0 мг/кг соответственно (рис. 20). По данным А.Е. Возбуцкой (1964), в большой степени доступен растениям обменный ион Cu^{2+} , поглощенный минеральными почвенными коллоидами, а доступность Cu^{2+} , связанного органическими соединениями, сравнительно низка. В органическом веществе исследуемых почв содержание меди незначительное и почти равномерно распределено между ФК и ГК (рис. 21).

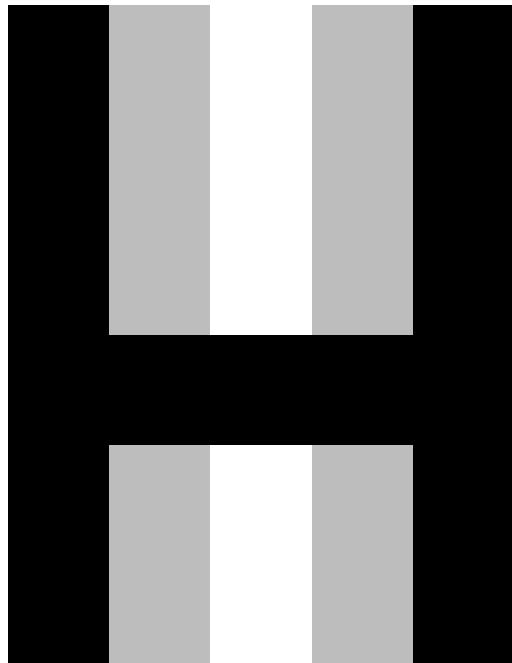
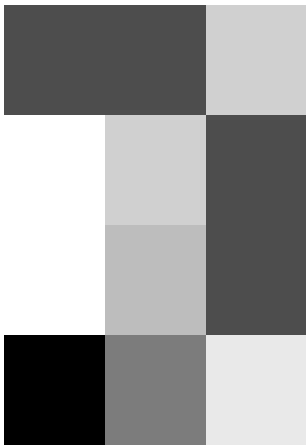


Рис. 20. Медь в системе почва-растение

Рис. 21. Медь в гумусовых кислотах, мг/кг

Свинец. Содержание свинца в почвообразующей породе составило 10,0 мг/кг ($n=2$), а в верхнем горизонте – 19,2, что ниже кларковых значений. В подземной и надземной массе лесного разнотравья отмечено низкое содержание свинца (2,2 и 0,8 мг/кг соответственно) (рис. 22). Выявлено низкое накопление свинца в гумусовых веществах серой лесной почвы, аналогичное аккумуляции меди (рис. 23). Следует отметить, что в исследуемой почве содержание свинца ниже ПДК.

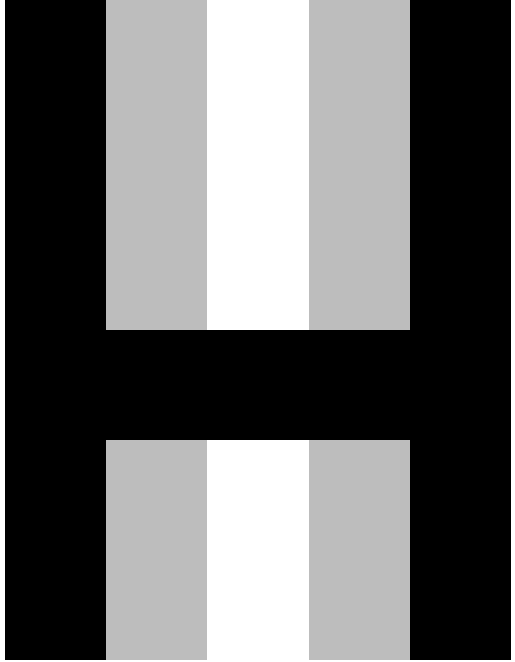
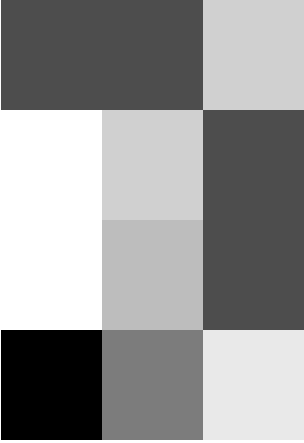


Рис. 22. Свинец в системе почва-растение Рис. 23. Свинец в гумусовых кислотах, мг/кг

Никель. Органическое вещество обнаруживает способность к абсорбции никеля, вероятно, поэтому он концентрируется в угле и нефти. В верхних горизонтах почв никель присутствует главным образом в органически связанных формах, часть из которых может быть представлена легкорастворимыми хелатами. Количество никеля в почвообразующей породе серых лесных почв находится на уровне кларковых значений в литосфере (62,6 мг/кг), а в верхних горизонтах оно снижается до 16,6. Трансформация никеля из органогенного слоя в растения незначительна: в корнях целинного разнотравья он накапливается в пределах 1,6 мг/кг, а в надземной травянистой массе – 0,7 (рис. 24). Значит, несмотря на значительное содержание никеля в породе, он не аккумулируется в растениях, а в основном сконцентрирован в органическом веществе и связан на 60 % с ФК (рис. 25).

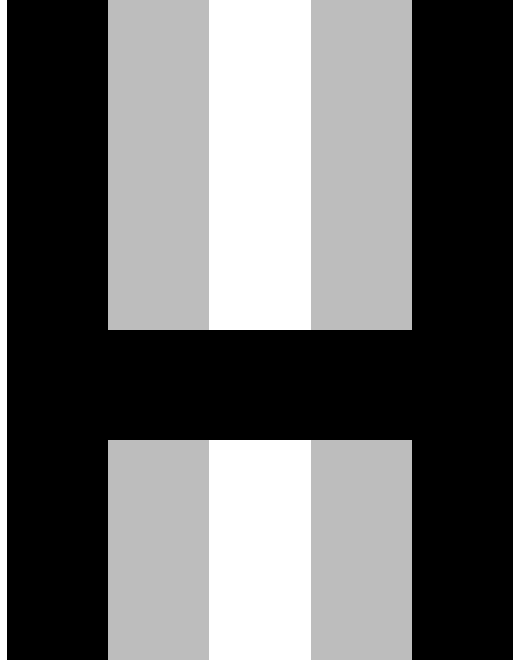
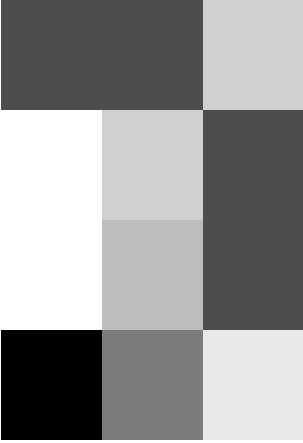


Рис. 24. Никель в системе почва-растение Рис. 25. Никель в гумусовых кислотах, мг/кг

Хром. Количество хрома в органогенном горизонте серых лесных почв зависит от его содержания в почвообразующей породе: 69,5 и 59,1 мг/кг соответственно, что согласуется с данными Л.Л. Убугунова, В.К. Кашина (2004). А.И. Перельман (1975) относит хром к малоподвижным и инертным элементам слабого биологического захвата. В подземной фитомассе содержание хрома составляет 2,4 мг/кг и в надземной незначительное количество (рис. 26). По расчетам И.В. Якушевской (1973), только 5-6 % хрома связано с гумусом. В органической части исследуемой почвы обнаружено 7,0 мг/кг хрома, что составляет 5 % от валового содержания в почве и равномерно распределено между ФК и ГК (рис. 27).

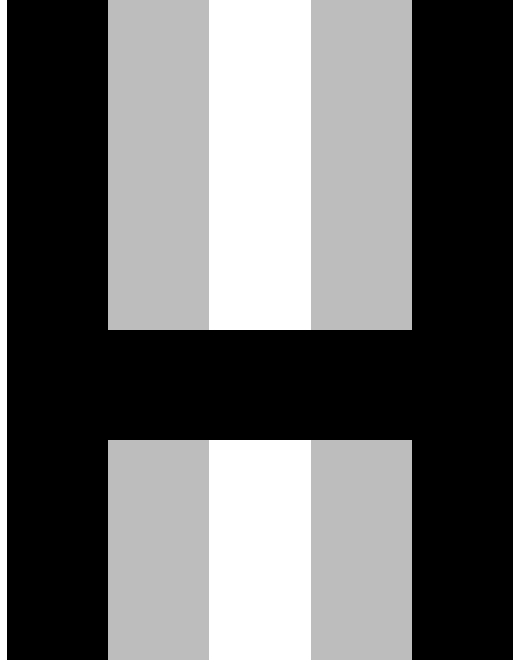
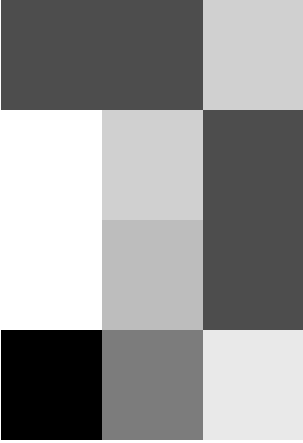


Рис. 26. Хром в системе почва-растение

Рис. 27. Хром в гумусовых кислотах, мг/кг

Кобальт в органогенном слое серых лесных почв найдено – 4,6 мг/кг, В почвообразующей породе серых лесных почв обнаружено - 5,3 мг/кг в ГК не найден. Незначительное его количество зафиксировано в органической части почвы - 0,03, при содержании в корнях трав 3,5 и в надземной массе - 0,06 мг/кг. При выветривании в окислительной кислой среде кобальт относительно подвижен, но из-за активной сорбции оксидами, а также глинистыми минералами он не мигрирует в растворенной фазе (рис. 28, 29).

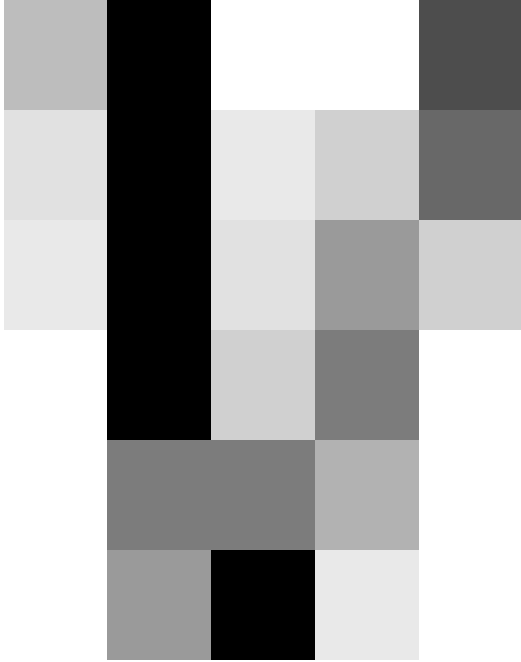
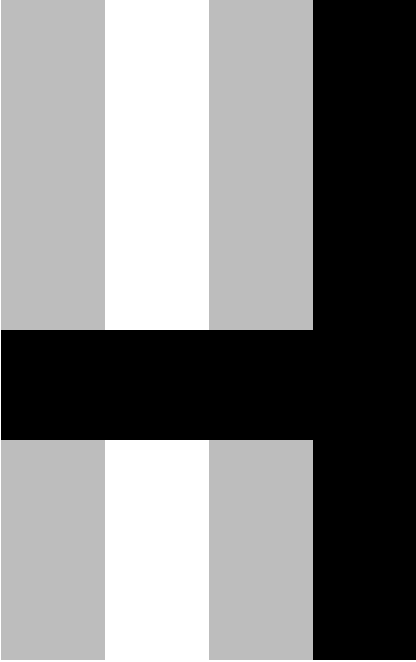


Рис. 28. Кобальт в системе почва-растение Рис. 29. Кобальт в гумусовых кислотах, мг/кг

Кадмий не обнаружен в почвообразующих породах. Небольшое его количество зафиксировано нами в верхнем слое почвы в среднем - 0,4 мг/кг, в органической части почвы - 0,1. По-видимому, это нужно объяснить тем, что в результате аэрогенного загрязнения кадмием растений, они связываются с разрушающимися тканями и быстро удаляются из растительных остатков, и в мертвом ОВ на поверхности почвы по данным В.В. Добровольского (1992) заключаются в значительные количества, то есть присутствие кадмия в ОВ почвы имеет биогенное накопление. В корнях разнотравья найдено в количестве 0,05 мг/кг, и не обнаружен кадмий в надземной части разнотравья и в ГК (рис.30, 31).

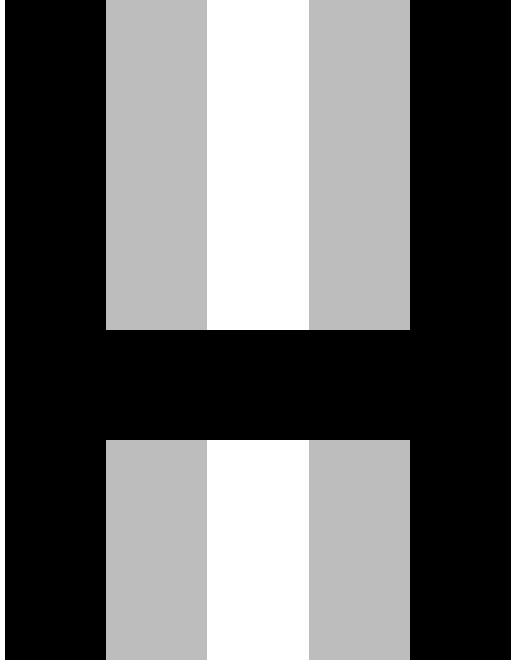
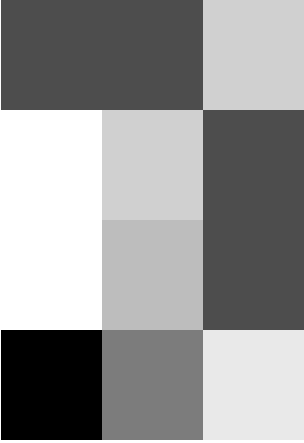


Рис. 30. Кадмий в системе почва-растение Рис. 31. Кадмий в гумусовых кислотах, мг/кг

Содержание тяжелых металлов в гумусовых кислотах серых лесных почв не превышает 9 % от валового содержания в почве, образуя следующий убывающий ряд: $Zn > Ni > Cu > Mn > Cd > Pb > Cr > Co$.

По абсолютному содержанию тяжелые металлы образуют убывающий ряд в соответствии с их биофильностью и кларковыми значениями: $Mn > Zn > Ni > Cr > Cu > Pb > Co > Cd$. Гумусовые кислоты лугово-черноземных мерзлотных почв аккумулируют больше Cr, Cu, Ni, Pb, Cd и меньше Mn, Zn и Co, чем таковые серых лесных.

Таким образом, гумусовые вещества почвы способны связывать значительное количество ТМ, которое зависит в первую очередь от количественного и качественного состава гумуса, почвенных условий и химических свойств самого металла.

Преобладающая часть ТМ, связанных с органическим веществом, концентрируется в фульвокислотах, поскольку они обладают большей дисперсностью, гидрофильностью и содержат значительно большее количество функциональных групп, чем гуминовые кислоты. Только цинк и кадмий закрепляется ГК лугово-черноземных мерзлотных почв, что обусловлено конкуренцией с ионами кальция в образовании гуматов.

Выводы

1. Содержание тяжелых металлов (Mn, Zn, Cu, Co, Ni, Pb, Cr, Cd) в исследуемых почвах и растительности не превышает их кларковых значений и имеющихся ПДК.
2. Накопление тяжелых металлов растительностью соответствует рядам биологического поглощения по А.И. Перельману, за исключением Zn, который в данном случае является элементом среднего захвата и слабого накопления. По коэффициенту биологического поглощения тяжелые металлы в надземной фитомассе образуют следующий убывающий ряд: $Zn > Mn > Cu > Ni > Pb > Cr > Co > Cd$, а в подземной: $Zn > Mn = Cu > Co > Ni > Pb > Cr > Cd$.
3. Специфика почвообразования в Забайкалье определяет особенности гумусного состояния исследуемых почв: высокое содержание гумуса фульватно-гуматного типа с равномерным распределением всех фракций гумусовых кислот в лугово-черноземных мерзлотных; среднее содержание гумуса

гуматно-фульватного типа с преобладанием гуматов и фульватов кальция в серых лесных.

4. Содержание тяжелых металлов в гумусовых кислотах не превышает 11 % от их валовых количеств в лугово-черноземных мерзлотных и 9 % в серых лесных почвах, соответственно образуя следующий убывающий ряд: $Zn > Ni > Cu > Mn > Pb > Cr > Cd > Co$ и $Zn > Ni > Cu > Mn > Cd > Pb > Cr > Co$.

5. По абсолютному содержанию тяжелые металлы в гумусовых кислотах лугово-черноземных мерзлотных и серых лесных почв образуют убывающий ряд в соответствии с их биофильностью и кларковыми значениями: $Mn > Zn > Cr > Ni > Cu > Pb > Cd > Co$ и $Mn > Zn > Ni > Cr > Cu > Pb > Co > Cd$ соответственно. Гумусовые кислоты лугово-черноземных мерзлотных почв аккумулируют больше Cr, Cu, Ni, Pb, Cd и меньше Mn, Zn и Co, чем таковые серых лесных.

6. Содержание тяжелых металлов в гумусовых кислотах определяется количественным и качественным составом гумуса. Гуминовые кислоты независимо от типа почв адсорбируют одинаковое количество тяжелых металлов, за исключением цинка. Фульвокислоты серых лесных почв аккумулируют тяжелые металлы в равных соотношениях с гуминовыми, что связано с преобладанием гуматов и фульватов кальция. В лугово-черноземных мерзлотных ТМ концентрируются большей частью в фульвокислотах, вследствие равномерного распределения фракций, связанных с кальцием, подвижными и устойчивыми полуторными окислами.

Список публикаций по теме диссертации

- 1. Нимбуева А.З. Элементный состав органического вещества почв Бурятии / А.З. Нимбуева // Вестник ТГУ. – 2005. - № 15. - С.32.**
- 2 Нимбуева А.З. Тяжелые металлы в органическом веществе серых лесных почв Прибайкалья / А.З. Нимбуева, Г.Д. Чимитдоржиева // Тезисы международной конференции “Основные факторы и закономерности формирования дельт и их роль в функционировании водно-болотных экосистем в различных ландшафтных зонах”. - Улан-Удэ, 2005. - С. 67.
- 3 Нимбуева А.З. Тяжелые металлы в органическом веществе лугово-черноземных мерзлотных почв Бурятии / А.З. Нимбуева // Тезисы международной школы-конференции “Экология Южной Сибири и сопредельных территорий”. - Абакан, 2005. - С.135.
- 4 Нимбуева А.З. Тяжелые металлы в органическом веществе серых лесных почв Бурятии / А.З. Нимбуева // Тезисы XIII Школы “Экология и почвы”. - Пушкино, 2005. - С. 193.
- 5 Нимбуева А.З. Особенности состава гумусообразователей лесостепных почв Забайкалья / А.З. Нимбуева // Тезисы XIII Международной конференции “Ломоносов - 2006”. – Москва, 2006. – С. 98.
- 6 Нимбуева А.З. Pb, Zn, Cd в органическом веществе лесостепных почв Бурятии / А.З. Нимбуева // Вестник БГУ: “Биология”. Серия 2. / БГУ. - 2006. - Выпуск 8.- С. 49-52.**

- 7 Нимбуева А.З. Особенности состава гумусообразователей серых лесных почв Тункинского и Алханайского национальных парков / А.З. Нимбуева, Д.Л. Найдарова // Тезисы межрегиональной конференции молодых ученых. - Улан-Удэ, 2006. – С. 53.
- 8 Нимбуева А.З. Тяжелые металлы в гуминовых кислотах серых лесных почв Забайкалья / А.З. Нимбуева, Б.Б. Цыденова // Биологическое разнообразие экосистем Внутренней Азии: тезисы Всероссийской конференции с международным участием. - Улан-Удэ, 2006. - Т.1. - С. 58.
- 9 Нимбуева А.З. Растительные остатки и каталазная активность в мерзлотных почвах / А.З. Нимбуева, А.Н. Балданова, О.В. Вишнякова, Ц.Д.-Ц. Корсунова // Биологическое разнообразие экосистем Внутренней Азии: тезисы Всероссийской конференции с международным участием. - Улан-Удэ, 2006. - Т.1. - С. 20.
- 10 Нимбуева А.З. Элементный состав растительных остатков разных типов почв при компостировании в кварцевом песке при оптимальных условиях / А.З. Нимбуева, О.В. Вишнякова // Тезисы Всероссийской конференции “Экология в современном мире: взгляд научной молодежи”. - Улан-Удэ, 2007. - С.196.