

10027

На правах рукописи



АХМЕТОВА
Гульнара Вялитовна

**МИКРОЭЛЕМЕНТЫ В ПОЧВАХ ЛАНДШАФТОВ
СРЕДНЕТАЕЖНОЙ ПОДЗОНЫ КАРЕЛИИ**

Специальность 03.00.27 - почвоведение

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата биологических наук

Москва 2009



Работа выполнена в лаборатории лесного почвоведения и микробиологии
Учреждения Российской Академии Наук Института леса Карельского
научного центра РАН

Научный руководитель	доктор сельскохозяйственных наук Федорец Наталия Глебовна
Официальные оппоненты	доктор биологических наук Кашулина Галина Михайловна; кандидат биологических наук Телеснина Валерия Михайловна
Ведущая организация	Карельская Государственная Педагогическая Академия

Защита диссертации состоится 24 ноября 2009 года в час. мин. в
аудитории М-2 на заседании диссертационного совета Д 501.001.57 при
МГУ имени М.В. Ломоносова по адресу 119991, ГСП-1, г. Москва,
Ленинские горы, МГУ, факультет почвоведения

Автореферат разослан 19 октября 2009 г.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке факультета
почвоведения МГУ

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные печатью, просьба
направлять по указанному адресу ученому секретарю диссертационного
совета

Ученый секретарь
диссертационного совета
доктор биологических наук

А.С. Никифорова

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы. Необходимость исследований, связанных с выявлением особенностей содержания и миграции микроэлементов (МЭ) на уровне географических ландшафтов, обусловлена тем, что уровень концентрации МЭ достаточно сильно колеблется в зависимости от ландшафтно-экологических условий (Добровольский, 1999).

Микроэлементы являются жизненно необходимыми для нормального функционирования живых организмов. Значительное количество МЭ относятся к группе тяжелых металлов (ТМ), которые при повышенных концентрациях становятся опасными загрязняющими веществами. Сведения о содержании МЭ в почвах с учетом региональных природных особенностей необходимы для оценки потребности в них растений, а также решения задач охраны почв от загрязнения (Алексеев, 1987, Глазовская, 1999, Ильин, 1991, Золотарева, Скрипниченко, 1983, Янин, 1999а, 1999б). Характеристики территориальных и внутрипрофильных закономерностей распределения МЭ, тенденции к накоплению или рассеиванию в естественных условиях являются необходимыми для проведения мониторинга, оценки фоновой геохимической структуры и устойчивости ландшафтов к загрязнению (Басыров и др., 2000, Ross, 1994, Fujika, 2000). Эти данные служат также основой прогнозирования загрязнения почв ТМ. В связи с тем, что разработанная система ПДК и ОДС тяжелых металлов плохо применима к каждому конкретному случаю (Ильин, 1985, Нейтрализация..., 2005, Яшин, 2003), важной задачей при изучении загрязнения почвы ТМ является установление их фонового содержания.

Цель исследования: выявить уровни содержания и особенности распределения микроэлементов в лесных почвах различных типов географических ландшафтов среднетаежной подзоны Карелии.

Задачи исследования:

1. Определить уровни содержания МЭ в почвообразующих породах.
2. Установить особенности содержания МЭ в почвах различного генезиса ландшафтов.
3. Определить фоновые уровни общего содержания и содержания подвижных форм МЭ в почвах ландшафтов среднетаежной подзоны Карелии.
4. Выявить основные особенности внутрипрофильного распределения МЭ в почвах.
5. Установить уровень загрязнения исследуемых ландшафтов почв ТМ.

Научная новизна. В условиях среднетаежной подзоны Карелии детально изучены особенности содержания и внутривертикального распределения МЭ в лесных почвах различных типов ландшафтов, контрастных по факторам почвообразования. Установлены фоновые уровни содержания МЭ в почвах ландшафтов среднетаежной подзоны Карелии. Выявлены особенности аккумуляции и миграции МЭ, наличие и характер радиальных геохимических барьеров в профилях различных типов почв.

Практическая значимость. Количественные параметры содержания и распределения МЭ в почвах могут являться основой для проведения мониторинга на ландшафтной основе, использоваться при рациональном землепользовании и охране почв от деградации, информационном обеспечении земельного кадастра, оценке и прогнозе экологического состояния земель.

Апробация работ. Основные результаты диссертационной работы были доложены на российских и международных конференциях: «XI Докучаевские молодежные чтения» (Санкт-Петербург, 2006), «Современные экологические проблемы Севера» (Апатиты, 2006), «Лесное почвоведение: итоги, проблемы, перспективы» (Сыктывкар, 2007), V съезде Докучаевского общества почвоведов (Ростов-на-Дону, 2008), «Экологические системы: фундаментальные и прикладные исследования» (Нижний Тагил, 2008), «Северные территории России: проблемы и перспективы развития» (Архангельск, 2008), «Молодежь и наука на Севере (Сыктывкар, 2008), «Актуальные проблемы сохранения биоразнообразия в экстремальных условиях северного климата» (Кировск, 2008), «XIII Докучаевские молодежные чтения» (Санкт-Петербург, 2009), «Ломоносов 2009» (Москва, 2009), на заседании кафедры общего почвоведения факультета почвоведения МГУ (2009).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 13 научных работ, в том числе 1 в рецензируемом журнале.

Структура и объем работы. Диссертация представляет собой рукопись объемом 155 страниц, состоящую из введения, шести глав, выводов, библиографического списка, который включает 174 отечественных и зарубежных источника, приложений.

Благодарности. Автор выражает глубокую благодарность научному руководителю – д.с.-х.н. Федорен Наталии Глебовне. Особую признательность автор выражает коллективам лабораторий лесного почвоведения и микробиологии, аналитической и лаборатории экологии ландшафтов и охраны лесных экосистем Учреждения Российской Академии Наук Института леса Карельского научного центра РАН.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Глава 1. ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

В главе рассмотрены следующие проблемы: географические закономерности и региональные особенности накопления и миграции микроэлементов в почвах, источники их поступления. Приведены данные исследований загрязнения почв тяжелыми металлами.

Изучение содержания МЭ в почвах и почвообразующих породах Карелии долгое время проводилось Тойкка М.А. и его коллегами. Несмотря на длительную историю изучения МЭ в почвах региона осталось много нерешенных вопросов, среди которых - установление влияния ландшафтно-экологических условий на особенности содержания МЭ в почвах и их внутривертикальную миграцию.

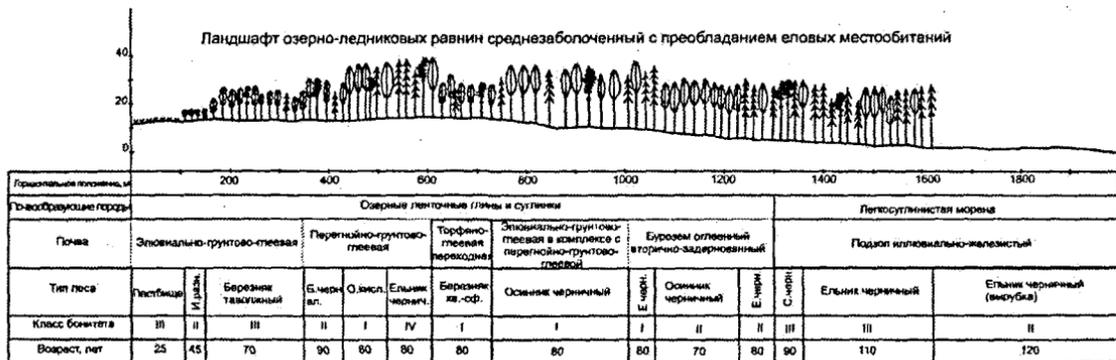
Глава 2. ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

2.1. Объекты исследований

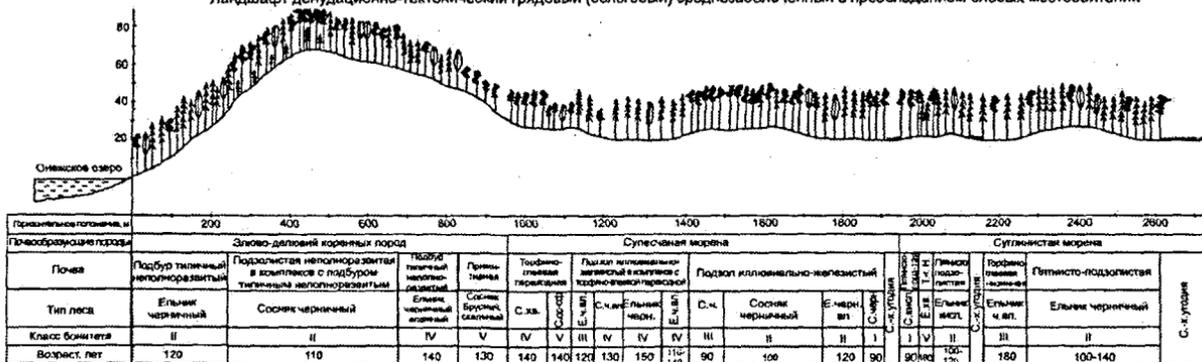
Объектами исследований служили почвы и почвообразующие породы трех типов ландшафтов среднетаежной подзоны Карелии, которые по общей площади составляют более 20% от территории республики. Исследованные типы ландшафтов резко отличаются по геоморфологическим, литологическим особенностям, растительному покрову, почвообразующим породам и почвам (Волков и др., 1990) (рис.1).

Тип ландшафта озёрных и озёрно-ледниковых равнин среднезаболоченный с преобладанием еловых местообитаний широко распространен на Восточно-Онежской равнине, в восточной части Заонежского полуострова, на Шуйской низменности и на северо-востоке Олонецкой равнины. Почвообразующие породы представлены озёрно-ледниковыми ленточными глинами и суглинками, но часто на поверхность выходит морена легкосуглинистого механического состава. Почвенный покров ландшафта представлен сочетаниями следующих почв: под березняками разнотравными и таволжными формируются элювиально-грунтово-глеевые суглинистые почвы. Перегнойно-грунтово-глеевые глинистые почвы развиваются под осинниками кисличными и черничными. На легкосуглинистой морене под сосняком черничным формируются подзолы иллювиально-железистые песчаные, на суглинках под ельниками кисличными - буроземы оглеенные вторично-задернованные суглинистые.

Ландшафт озерно-ледниковых равнин среднезаболоченный с преобладанием еловых местообитаний



Ландшафт денудационно-тектонический грядовый (сельговый) среднезаболоченный с преобладанием еловых местообитаний



Тип ландшафта денудационно-тектонического грядового (сельгового) среднезаболоченного с преобладанием сосновых местообитаний приурочен к северному побережью Онежского озера. Этот ландшафт отличается широким разнообразием часто выходящих на поверхность коренных пород в основном кислого химического состава. Но встречаются и габбро-диабазы – породы основного химического состава. В понижениях коренные породы покрыты плащом морены. На водораздельных участках ландшафта под сосняками и ельниками черничными развиваются примитивные, подзолистые неполноразвитые песчаные почвы, часто встречаются подбуры неполноразвитые супесчаные. В пониженных частях рельефа под ельниками кисличными распространены пятнистоподзолистые супесчаные почвы, а под сосняками и ельниками черничными подзолы иллювиально-железистые песчаные. Торфяно-глеевые почвы развиваются под сосняками осоково-сфагновыми и хвощово-сфагновыми.

Ландшафт ледниковый холмисто-грядовый среднезаболоченный с преобладанием еловых местообитаний строгой географической приуроченности в пределах подзоны средней тайги Карелии не имеет. Почвообразующие породы здесь представлены верхними слоями четвертичных отложений - сильнокаменистой мореной супесчаного и легкосуглинистого гранулометрического состава. На автоморфных участках под сосняками и ельниками черничными развиты подзолы иллювиально-железистые песчаные. В более влажных местообитаниях встречаются подзолы иллювиально-гумусово-железистые песчаные, а в полугидроморфных – торфянистые подзолы иллювиально-железисто-гумусовые супесчаные. Также широко распространены торфяно-глеевые переходные почвы.

Названия почв в работе приводятся по региональной классификации (Морозова, 1991). Нами была проведена работа по корреляции региональной классификаций почв с классификациями 1977г. (Классификация и диагностика почв СССР, 1977) и 2004г. (Классификация и диагностика почв России, 2004).

2.2. Методы исследований

В процессе исследований в каждом изучаемом типе ландшафта были заложены комплексные профили (рис.1). Полнопрофильные почвенные разрезы общим количеством 18 и прикопки (50) закладывались при смене характера рельефа в каждом типе леса. Почвенные образцы отбирались по генетическим горизонтам почв.

В образцах определялось общее содержание и содержание в подвижной форме (в аммонийно-ацетатном буферном растворе с рН 4,8)

микроэлементов: Cu, Zn, Ni, Co, Cr, Mn, Cd, Pb и Fe методом атомно-абсорбционной спектрофотометрии.

Для характеристики исследуемых почв определялись кислотно-щелочные показатели, содержание гумуса и элементов минерального питания по общепринятым методикам (Агрохимические методы, 1975, Аринушкина, 1973).

Математическая обработка результатов проводилась при помощи статистических программ Microsoft Excel 2003, Statistica 6, MiniTab 14 и включает в себя вычисление статистических параметров содержания микроэлементов в почвах - среднее арифметическое (mid) и медианное (med) значения, пределы содержания (lim), среднеквадратичное отклонение, коэффициент вариации (V, %), коэффициенты Стьюдента (P).

Также, были рассчитаны кларки концентрации – отношение среднего содержания элемента в почве (C) к его среднему содержанию в литосфере (Cл) - $K_k = C/Cл$ или к условному кларку почв (Cн) – $K_k = C/Cп$. Для данных расчетов были выбраны кларки по А.П. Виноградову (1957, 1962). При $K_k < 1$ следует говорить о рассеянии элемента, а соответственно при $K_k > 1$ о накоплении (Добровольский, 1983).

Для определения характера профильного распределения содержания микроэлементов в почве применялся коэффициент радиальной миграции (элювиально-аккумулятивный), который представляет собой отношение содержания МЭ в генетическом горизонте (Ci) к содержанию его в почвообразующей породе (Cnon): $K_i = C_i/C_{non}$.

Были рассчитаны элювиально-аккумулятивные коэффициенты для всей толщи почв, показатели накопления, выноса, общей миграции и аккумуляции по предложенным Е.Г. Нечаевой (1980) формулам. Элювиально-аккумуляционный коэффициент для всей толщи почвы мощностью H см рассчитывается по формуле: $K_x = mx/C_{non}$, где mx – средневзвешенное содержание микроэлементов в почвенном горизонте

определенной мощности (hi, см): $mx = \sum_{i=1}^n (C_i * h_i) / H$. О накоплении элемента в почве по отношению к породам можно судить по показателю: $cx = (K_x - 1) * H > 0$, о выносе - по показателю: $c'x = (K_x - 1) * H < 0$.

Внутрипрофильная дифференциация химических элементов по генетическим горизонтам почвы рассчитывалась по формуле: $bi = (K_i - K_x) * hi$. Суммируя положительные значения этих коэффициентов, получили показатель общей аккумуляции элемента в почве – $Cx = cx + \sum bi$. Суммируя отрицательные, получили показатель общей миграции – $C'x = c'x + \sum b'i$. Значение каждого из этих показателей больше 50 свидетельствует о том, что данные процессы протекают интенсивно, а меньше 50 - слабо.

Глава 3. МИКРОЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ ПОЧВООБРАЗУЮЩИХ ПОРОД ЛАНДШАФТОВ СРЕДНЕТАЕЖНОЙ ПОДЗОНЫ

Многочисленными исследованиями (Веригина, Добрицкая 1964, Зырин, 1968, Ковда, 1988, Ковда и др., 1959, Виноградов, 1962, Добровольский, 1983, 2003, Протасова, 2000, 2003, 2004) установлено, что почвы наследуют свой микроэлементный состав от почвообразующих пород, на которых они формируются. В связи с чем, изучение особенностей содержания МЭ в почвообразующих породах является первоочередной задачей при исследовании микроэлементного состава почв.

Полученные данные (табл.2) свидетельствуют о том, что общее содержание МЭ и содержание их в подвижной форме в различных изучаемых нами почвообразующих породах достаточно сильно различается.

Таблица 2

Содержание микроэлементов (мг/кг) в почвообразующих породах ландшафтов среднетаежной подзоны Карелии

Порода	Cd	Pb	Cu	Zn	Ni	Co	Cr	Fe	Mn
Ландшафт озёрных и озёрно-ледниковых равнин									
Ленточные глины и суглинки, n=4	0,23*	4,7	33,8	47,6	28,7	12,6	44,6	15600	582
	0,06**	0,08	1,14	0,17	0,06	0,02	0,14	0,21	10,2
Легкосуглинистая морена, n=5	0,27	1,1	17,8	16,7	13,3	4,4	65,4	11400	197
	0,07	0,11	0,59	0,44	0,11	0,09	0,19	0,69	2,42
Ландшафт денудационно-тектонический грядовый									
Элюво-делювий, n=3	0,01	9,2	13,9	17,5	12,2	5,2	19,2	7420	174
	0,0004	0,05	0,45	0,15	0,12	0,08	0,07	0,04	5,18
Суглинистая морена, n=3	0,03	8,1	35,2	29,9	15,3	6,8	19,9	7720	300
	0,001	0,01	0,69	0,17	0,22	0,18	0,13	0,04	5,13
Супесчаная морена, n=4	0,01	4,5	4,0	9,2	4,7	1,6	10,8	5015	88
	0,002	0,02	0,004	0,06	0,11	0,11	0,13	0,48	1,42
Ландшафт ледниковый холмисто-грядовый									
Супесчаная и легкосуглинистая морена, n=3	0,01	4,2	8,38	13,14	11,6	4,86	16,1	3815	112
	0,0015	0,24	0,41	0,05	0,06	0,002	0,10	0,31	0,36

Примечание: * - общее содержание микроэлемента, ** - содержание микроэлемента в подвижной форме

Для большинства МЭ в почвообразующих породах ландшафта озёрных и озёрно-ледниковых равнин характерно относительно кларков литосферы сильное рассеяние. Для меди и кобальта в ленточных глинах и суглинках наблюдается более высокое содержание по сравнению с другими элементами, их кларки концентрации относительно

литосферных кларков достигают 0,7. Выявлено слабое рассеяние хрома в морене (Кк л=0,8), а для глин характерно его более интенсивное рассеяние (Кк л<0,6). Только кларк концентрации кадмия (Кк_{кл}=1,8-2,1) указывает на преобладание процессов его накопления, в данных породах.

Подвижные формы МЭ в почвообразующих породах ландшафта содержатся в незначительных количествах, их доля от общего содержания составляет чаще всего менее 1%. Однако обнаружено, что такие элементы как кадмий, медь и кобальт обладают более высокой подвижностью в данных почвообразующих породах по сравнению с остальными МЭ.

Содержание всех микроэлементов в почвообразующих породах *ландшафта денудационно-тектонического грядового* невысокое, кларки концентрации составляют 0,14-0,42, что свидетельствует о сильном рассеянии изучаемых МЭ. Отмечается достаточно высокая по сравнению с остальными МЭ концентрация меди и кобальта – Кк л=0,62 и 0,64 соответственно. Содержание большинства МЭ наибольшее в суглинистой морене, в то время как супесчаная морена характеризуется крайне низкими количествами всех изучаемых МЭ.

Концентрации подвижных форм МЭ в почвообразующих породах ландшафта невысокие, доля от их общего содержания составляет в большинстве случаев менее 1%. Отмечена наиболее высокая подвижность меди, кобальта, марганца и особенно кадмия.

Почвообразующие породы *ландшафта ледникового холмисто-грядового* характеризуются невысокими концентрациями большинства изучаемых МЭ. Выявлено очень низкое содержание меди, цинка, и железа, особенно при сравнении с почвообразующими породами рассмотренных выше ландшафтов (кроме супесчаной морены ландшафта денудационно-тектонического грядового). Кларки концентрации говорят о преобладании процессов рассеяния МЭ – Кк л<0,3, особенно низкие кларки концентрации выявлены для железа и марганца. Содержание кадмия и кобальта достаточно высокое и находится на уровне концентраций в почвообразующих породах рассмотренных выше типов ландшафтов, кроме ленточных глин и суглинков ландшафта озёрных и озёрно-ледниковых равнин.

В подвижной форме МЭ в данных породах, также как и в породах вышерассмотренного типа ландшафта, содержатся в очень малых количествах, доля их от общей концентрации составляет менее 1%. Исключение составляет кадмий, свинец и медь.

Таким образом, полученные результаты содержания МЭ в почвообразующих породах исследованных ландшафтов свидетельствуют

о резко различающемся микроэлементном составе, который зависит от их минералогического и механического состава.

Кларки концентраций большинства изучаемых МЭ в почвообразующих породах относительно кларка литосферы (по Виноградову, 1957) составляют меньше единицы (рис.2), что говорит о преобладании в них процессов рассеяния.

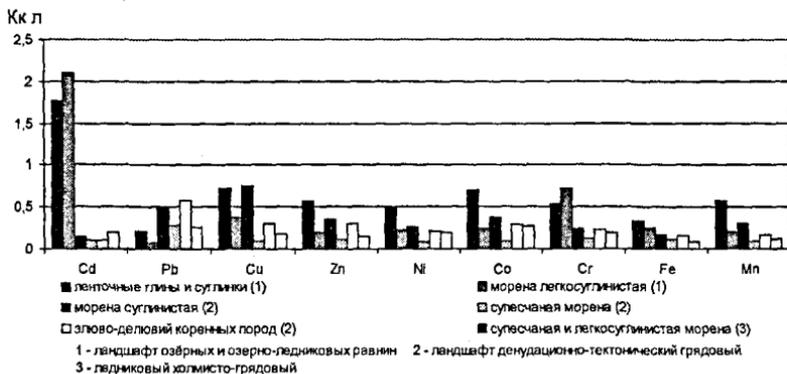


Рис. 2. Кларки концентрации микроэлементов в почвообразующих породах ландшафтов среднетаежной подзоны

Глава 4. МИКРОЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ ПОЧВ ЛАНДШАФТОВ СРЕДНЕТАЕЖНОЙ ПОДЗОНЫ

Микроэлементный состав почв является важным показателем химического состояния, свойств и генезиса почв, оказывает большое влияние на их плодородие. Почвы во многом наследуют микроэлементный состав почвообразующих пород, но в процессе почвообразования происходит его изменение. Нами была выявлена высокая корреляционная зависимость между содержанием МЭ в почвах и почвообразующих породах, на которых они формируются ($R=0,7-0,9$). Анализ полученных данных с помощью коэффициентов Стьюдента показал, что по содержанию МЭ почвы изучаемых типов ландшафтов в большинстве случаев достоверно различаются ($P < 0,010234$).

4.1. Ландшафт озёрных и озёрно-ледниковых равнин

Определяющее влияние на микроэлементный состав почв данного типа ландшафта оказывает тяжелый механический состав почвообразующих пород, поэтому изучаемые почвы отличаются относительно высокими показателями содержания МЭ (табл.4). Пределы колебания их довольно широкие, то есть почвы данного типа ландшафта отличаются высокой пространственной неоднородностью относительно концентрации в них МЭ.

Тем не менее, содержание всех изучаемых МЭ, в среднем, находится ниже их литосферных и почвенных кларков, поэтому формирование микроэлементного состава почв данного ландшафта характеризуется преобладанием процессов рассеяния. Наиболее сильно рассеяние МЭ проявляется в подзолах, несколько меньшее – в элювиально-грунтово-глеевой, перегнойно-грунтово-глеевой почвах и буроземе оглеенном вторично задернованном (рис.3.). Кларк концентрации меди в этих почвах больше 1,0 и достигает 1,62 в перегнойно-грунтово-глеевой почве. Для нес характерно и достаточно высокое содержание кобальта (Кк п=1,6).

Таблица 4

Содержание микроэлементов в почвах ландшафта озёрных и озёрно-ледниковых равнин

Эле-мент	mid	lim	V,%	Кк л	Кк п	mid	lim	V,%	% от общего содержания
	мг/кг					мг/кг			
	Общее содержание					Содержание в подвижной форме			
Cd	0,77*	0,11-1,55	56	5,92	1,54	0,30	0,01-0,50	93	40
	0,11**	0,03-0,27	87	0,85	0,22	0,07	0,01-0,12	43	68
Pb	11,6	2,7-22,6	42	0,73	1,16	1,13	0,05-3,49	96	10
	5,1	0,7-8,1	40	0,31	0,50	0,17	0,05-0,39	76	2,9
Cu	31,9	5,9-98,6	81	0,70	1,65	0,64	0,01-2,7	117	2
	19,0	2,0-48,0	57	0,40	0,95	0,29	0,01-0,60	120	0,9
Zn	26,2	12,7-47,0	38	0,32	0,66	7,10	1,55-17,8	66	27
	25,6	4,9-46,3	50	0,31	0,51	0,38	0,02-1,00	73	1,0
Ni	14,7	2,7-28,1	43	0,24	0,35	0,21	0,02-0,89	125	1,4
	15,4	3,5-23,2	45	0,27	0,39	0,11	0,02-0,35	89	1
Co	5,3	0,6-14,0	53	0,23	0,50	1,32	0,08-2,61	57	2,5
	6,3	1,3-9,9	42	0,35	0,78	0,16	0,002-0,45	58	2,5
Cr	26,6	10,6-86,9	55	0,33	0,38	0,66	0,22-1,38	60	2,5
	39,3	17,0-84,3	38	0,47	0,56	0,39	0,05-0,95	60	1
Fe	7500	2500-14700	39	0,16	0,19	23,1	1,24-92,9	77	0,3
	9577	6060-16300	26	0,21	0,25	3,8	0,11-3,8	84	0,04
Mn	300	81-731	63	0,26	0,30	90	9,1-176,7	65	30
	206	86-600	61	0,21	0,24	90	1,10-19,50	62	4

Примечание: * - содержание в лесной подстилке, ** - содержание в минеральной толще почвы до глубины 30 см.

Как показали исследования, содержание в минеральной толще почв подвижных форм меди, никеля, хрома и железа не превышает 1% от их общего содержания. Количество свинца, цинка и кобальта в подвижной форме относительно общего содержания выше, их доля составляет 2-3%, но по абсолютным величинам их концентрации невысокие. В лесных

подстилках содержание подвижных форм выше, особенно цинка и марганца. Очень подвижен кадмий, доля его подвижной формы составляет 50% от общего содержания.

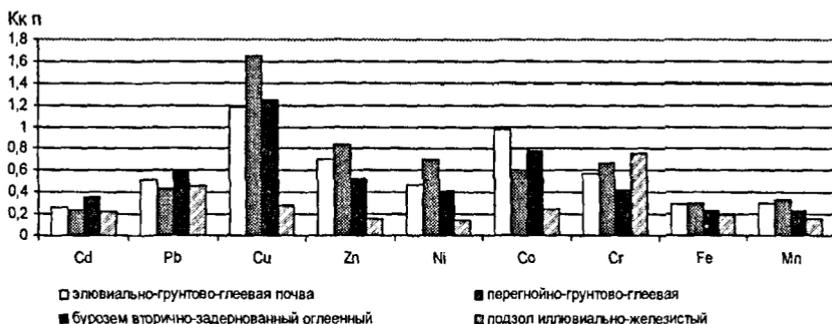


Рис. 3. Кларки концентрации микроэлементов в почвах озёрного и озёрно-ледникового равнинного типа ландшафта

4.2 Ландшафт денудационно-тектонический грядовый

Почвенный покров денудационно-тектонического грядового ландшафта отличается разнообразием почв и мелкоконтурностью. Это обуславливает резкое различие почв по содержанию МЭ (табл. 5). Общее содержание МЭ в почвах ландшафта характеризуется высокой пространственной неоднородностью, исключения составляют цинк и железо. Еще большие колебания характерны для подвижных форм МЭ.

Относительно среднего значения содержания МЭ почвы этого типа ландшафта менее обеспечены, чем почвы ландшафта озёрных и озёрно-ледниковых равнин, однако это не характерно для показателей концентрации меди и марганца.

По сравнению с почвами ландшафта озёрных и озёрно-ледниковых равнин выявлено более низкое содержание подвижных форм большинства МЭ. Обнаружено высокое содержание подвижного цинка, его доля от общего составляет 5,5%. Количество подвижного марганца в два раза выше его содержание в почвах озёрного и озёрно-ледникового равнинного типа ландшафта. Концентрация подвижного кадмия, наоборот, несколько ниже. Лесные подстилки характеризуются более высокими значениями содержания подвижных форм МЭ.

При формировании микроэлементного состава почв денудационно-тектонического грядового ландшафта, также как и для озёрных и озёрно-ледниковых равнин, наблюдается преобладание процессов рассеяния МЭ ($K_k \text{ л}$ и $K_k \text{ п} \ll 1$), однако они протекают более интенсивно. Обнаружено достаточно высокое содержание меди в торфяно-глеевой низинной почве – кларки концентрации достигают 3 (рис. 4).

Содержание микроэлементов в почвах ландшафта денудационно-тектонического грядового

Элемент	mid	lim	V, %	Кк л	Кк п	mid	lim	V, %	% от общего содержания
	мг/кг					мг/кг			
	Общее содержание					Содержание в подвижной форме			
Cd	0,12*	0,005-0,2	44	0,90	0,26	0,02	0,002-0,08	112	16,7
	0,03**	0,01-0,10	91	0,23	0,06	0,002	0,0001-0,008	134	7,0
Pb	17,8	9,4-24,7	24	1,09	1,74	0,26	0,05-0,49	53	1,5
	9,0	1,7-15,4	39	0,56	0,90	0,05	0,01-0,17	76	0,6
Cu	10,3	4,7-28,1	56	0,22	0,52	0,86	0,04-4,14	135	8,3
	19,0	3,5-70,3	80	0,40	0,95	0,10	0,07-0,30	50	0,5
Zn	30,5	5,5-56,1	39	0,37	0,60	18,5	2,2-38,6	52	60,7
	20,8	14-27,0	20	0,25	0,42	0,91	0,06-1,30	50	5,5
Ni	10,2	3,3-17,0	31	0,18	0,25	1,9	0,23-3,2	52	18,6
	12,7	7,0-17,8	30	0,22	0,32	0,23	0,01-0,60	74	1,8
Co	1,2	0,3-3,9	78	0,07	0,15	0,81	0,02-2,02	64	67,5
	3,5	2,6-6,4	40	0,19	0,43	0,13	0,05-0,40	31	6,3
Cr	8,6	3,5-17,4	38	0,10	0,12	0,5	0,23-1,23	49	3,8
	17,8	9-35	31	0,21	0,25	0,17	0,05-0,23	30	1,0
Fe	3540	1500-6100	35	0,07	0,09	3,41	0,45-11,10	131	0,1
	6600	4650-8650	15	0,14	0,17	0,15	0,05-0,50	80	0,002
Mn	682	171-1600	61	0,69	0,81	241	36-346	37	35,4
	305	60-780	80	0,30	0,38	17,3	0,64-18,71	80	7,7

Примечание: * - содержание в лесной подстилке, ** - содержание в минеральной толще почвы до глубины 30 см.

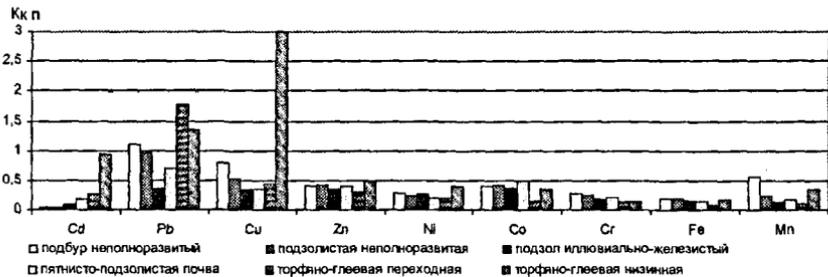


Рис. 4. Кларки концентрации микроэлементов в почвах денудационно-тектонического грядового типа ландшафта

4.3. Ландшафт ледниковый холмисто-грядовый

Почвы ландшафта ледникового холмисто-грядового характеризуются самыми низкими величинами содержания в них МЭ (табл. 6), что, главным образом, связано с почвообразующими породами – супесчаной и

легкосуглинистой моренами, бедными МЭ. По сравнению с вышерассмотренными ландшафтами, для почв данного типа выявлены более узкие пределы накопления МЭ (кроме кадмия). Это говорит о достаточно равномерном распределении их в пространстве. Колебания концентрации подвижных форм МЭ более широкие.

Таблица 6

Содержание микроэлементов в почвах ландшафта ледникового холмисто-грибового

Элемент	mid	lim	V, %	Кк л	Кк п	mid	lim	V, %	% от общего содержания
	мг/кг					мг/кг			
	Валовое содержание					Содержание в подвижной форме			
Cd	0,24*	0,02-0,48	50	1,69	0,44	0,08	0,01-0,16	72	33
	0,06**	0,01-0,19	100	0,46	0,12	0,01	0,003-0,03	69	17
Pb	17,1	5,4-28,1	41	1,10	1,70	4,41	0,80-7,20	40	26
	5,6	3,6-10,0	40	0,35	0,56	0,37	0,04-1,0	68	7
Cu	7,1	1-15	52	0,15	0,36	1,91	0,01-4,61	85	27
	6,0	2,0-9,8	36	0,13	0,30	0,21	0,01-0,6	103	3,3
Zn	24,2	7,2-36,9	40	0,29	0,48	16,8	5,0-24,1	31	70
	9,3	8,4-10,4	11	0,14	0,24	0,25	0,09-0,30	63	2,0
Ni	6,5	2,2-9,1	29	0,11	0,17	0,90	0,03-2,1	62	13,8
	7,4	4,2-9,2	22	0,13	0,19	0,11	0,03-0,16	36	2,2
Co	2,0	0,3-4,7	64	0,11	0,24	0,22	0,002-0,57	97	11
	3,0	1,6-4,0	23	0,17	0,38	0,05	0,002-0,13	73	2,4
Cr	8,2	2,2-17,7	42	0,10	0,11	0,84	0,04-2,0	68	10
	12,5	7,8-18,4	23	0,15	0,18	0,28	0,14-0,45	39	2,4
Fe	3200	1600-5700	39	0,07	0,09	44,5	5-100	63	1,4
	3500	2815-5340	20	0,07	0,09	1,40	0,20-4,80	73	1,8
Mn	235	110-500	48	0,20	0,24	111	21-210	58	47
	80	39-115	31	0,08	0,09	7,80	2,06-20,25	70	0,2

Примечание: * - содержание в лесной подстилке, ** - содержание в минеральной толще почвы глубины до 30 см.

Рассчитанные кларки концентрации изучаемых МЭ в почвах данного типа ландшафта очень низкие, в большинстве случаев не превышают 0,4. Особенно низкие кларки концентрации получены для железа и марганца, что говорит о преобладании интенсивных процессов рассеяния (рис.5). Только кларк концентрации кадмия в торфяно-глеевой переходной почве превышает кларк почвы и достигает 1,6.

Доля подвижных форм от их общего содержания для большинства МЭ превышает 1%, но по абсолютным величинам их содержание очень низкое. Только концентрация подвижных форм МЭ в лесных подстилках может характеризоваться как средняя и высокая (Пейве, Ринькис, 1957, Тойкка, 1973, Зырин, 1972).

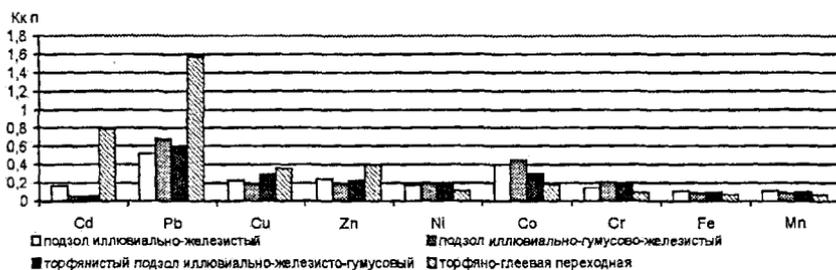


Рис. 5. Кларки концентрации микроэлементов в почвах ледникового холмисто-грядового типа ландшафта

Таким образом, почвы исследованных типов ландшафтов, характеризуются разным уровнем накопления МЭ. Если расположить ландшафты по убыванию содержания в их почвах микроэлементов, то получится следующий ряд:

ландшафт озёрных и озёрно-ледниковых равнин > ландшафт денудационно-тектонический грядовый > ландшафт ледниковый холмисто-грядовый.

Выявлено преимущественно низкое содержание в почвах изучаемых типов ландшафтов большинства МЭ, а относительно литосферных и почвенных кларков установлено их сильное рассеяние. Только содержание меди в почвах ландшафтов озёрных и озёрно-ледниковых равнин и денудационно-тектонического грядового находится на уровне ее средней концентрации в почвах мира.

Концентрация подвижных форм большинства определенных нами МЭ может характеризоваться как низкая, чаще всего их доля от общего содержания не превышает 1%. В то же время отмечается высокое содержание подвижного кадмия в почвах всех изучаемых типов ландшафтов, а также марганца в почвах озёрного и озёрно-ледникового равнинного и денудационного грядового типов ландшафтов.

Глава 5. ВНУТРИПРОФИЛЬНАЯ МИГРАЦИЯ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ И РАДИАЛЬНЫЕ ГЕОХИМИЧЕСКИЕ БАРЬЕРЫ В ПОЧВАХ ЛАНДШАФТОВ СРЕДНЕТАЕЖНОЙ ПОДЗОНЫ

Профиль почв в различной степени дифференцирован по микроэлементному составу (Виноградов, 1957, Ковда, 1973, Мотузова, 1999). Внутрипрофильная почвенно-геохимическая дифференциация элементов зависит, прежде всего, от генезиса почвы и строения его генетического профиля, собственно свойств почв, наличия и характера геохимических барьеров.

Из-за особенностей геоморфологического строения территорий и почвообразующих пород общие процессы аккумуляции и миграции МЭ в почвах изучаемых типов ландшафтов различаются. Миграция элементов в почвах всех изучаемых типов ландшафтов определяется в значительной степени наличием следующих радиальных геохимических барьеров: органо-сорбционного, сорбционного, восстановительного глеевого.

5.1. Ландшафт озёрных и озёрно-ледниковых равнин

Характер распределения МЭ по профилям почв данного ландшафта различен и зависит от особенностей генезиса почвы. Для подзолов характерно накопление большинства МЭ в лесной подстилке и перераспределение их по горизонтам минеральной толщи по элювиально-иллювиальному типу. Более равномерно по профилю распределены МЭ в элювиально-грунтово-глеевых почвах и оглеенных вторично задернованных буроземах.

Формирование ярко выраженного органо-сорбционного барьера (лесной подстилки) характерно только для подзолов иллювиально-железистых. Сорбционные барьеры, для которых характерно накопление МЭ, формируются в профиле подзола иллювиально-железистого в верхней части иллювиального горизонта. Для остальных почв выявлено значительно меньшее накопление элементов на этих барьерах.

В почвах, для которых характерно развитие глеевых процессов, выявлено наличие восстановительного глеевого барьера в нижней части почвенной толщи.

Высокие коэффициенты общей аккумуляции (C_x достигает 80) найдены для элювиально-грунтово-глеевой почвы и низкие ($C_x=20$) для бурозема глееватого вторично-задернованного. Перегнойно-грунтово-глеевая почва характеризуется выносом большинства МЭ (c'_x до -25), кроме меди, а подзол иллювиально-железистый слабым накоплением ($c_x=1-8$) цинка, марганца и кобальта и выносом ($c'_x=-30$) остальных МЭ.

Микроэлементы в подвижной форме интенсивно накапливаются во всех почвах. Наиболее сильная аккумуляция их характерна для лесных подстилок, особенно активно накапливается марганец ($K_i > 100$). С глубиной содержание всех МЭ уменьшается.

5.2. Ландшафт денудационно-тектонический грядовый

Процессы накопления и выноса, внутрипрофильная миграция МЭ в почвах данного ландшафта сильно различаются в зависимости от генезиса почвы, почвообразующей породы, на которой она сформировалась, и местоположения в рельефе. Для почв, развитых на элюво-делювии коренных пород выявлено преобладание процессов аккумуляции (C_x до 60) большинства МЭ, кроме кобальта, по сравнению

с подстилающей породой. Из почв, развитых на морене, наблюдаются средний и слабый вынос ($C_x=10-30$) большинства МЭ, кроме цинка. Для большинства почв, сформировавшихся на морене характерно распределение МЭ по генетическим горизонтам по элювиально-иллювиальному типу. В почвах, развитых на элюво-деллювии коренных пород, наблюдается более равномерная миграция элементов по профилю.

Выявлено интенсивное накопление подвижных форм практически всех исследованных МЭ ($C_x > 1000$) в толще изученных почв. Лишь для меди характерны отличные от других элементов закономерности: в почвах подзолистого генезиса выявлено обеднение ею ($C_x = 30$), а для буроземов, подбуров и торфяно-глеевых почв характерно накопление данного элемента ($C_x > 100$), но в значительно меньшей степени, чем остальных МЭ.

5.3. Ландшафт ледниковый холмисто-грядовый

Для почв данного типа ландшафта наблюдается вынос таких элементов как: медь, никель, кобальт, хром, железо и накопление кадмия, свинца, цинка и марганца. Только для торфяно-глеевой переходной почвы выявлено накопление всех МЭ.

Накопление в лесной подстилке большинства МЭ, особенно марганца и цинка, характерно для всех изучаемых почв данного типа ландшафта. В иллювиальных горизонтах почв подзолистого генезиса на сорбционных барьерах концентрируются марганец, никель, хром и железо. Для восстановительного глеевого барьера, сформировавшегося в торфяно-глеевых переходных почвах, характерна аккумуляция железа, хрома и меди.

В почвах подзолистого генезиса большинство МЭ распределяется по минеральной части профиля по элювиально-иллювиальному типу, особенно цинк и железо. Для торфяно-глеевых почв свойственна монотонная радиальная миграция МЭ.

Подвижные формы МЭ активно аккумулируются в толще изучаемых почв. Отмечается активное накопление в органогенных горизонтах цинка (K_i от 100 до 600), а также железа (K_i от 80 до 244), марганца (K_i от 144 до 367) и кобальта (K_i от 30 до 200).

Таким образом, установлено, что процессы аккумуляции и выноса МЭ в профилях почв изучаемых ландшафтов различаются. Выявлено наличие следующих радиальных барьеров: органо-сорбционного, сорбционного и восстановительного глеевого. Для почв подзолистого типа характерно биогенное накопление большинства МЭ в лесной подстилке и элювиально-иллювиальный тип миграции в минеральной части профиля. Для почв буроземного типа почвообразования и элювиально-глеевых почв выявлено относительно равномерное распределение большинства МЭ по профилю (рис. 6).

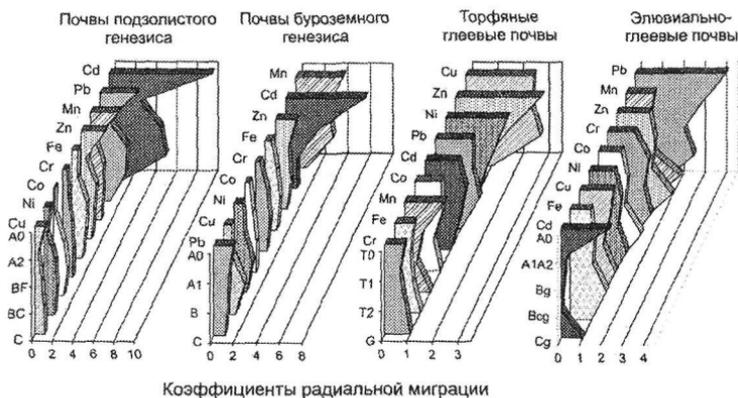


Рис. 6. Внутрипрофильная миграция общего содержания микроэлементов в почвах различного генезиса

Характер распределения подвижных форм МЭ в почвенном профиле отличается большей контрастностью по сравнению с распределением их общего содержания (рис.7). Обнаружена особенно интенсивная аккумуляция большинства подвижных форм МЭ в органогенных горизонтах почв, в первую очередь это касается цинка и марганца. Вниз по профилю почвы концентрация МЭ в подвижной форме резко снижается, и минимальная её величина отмечается в почвообразующих породах.

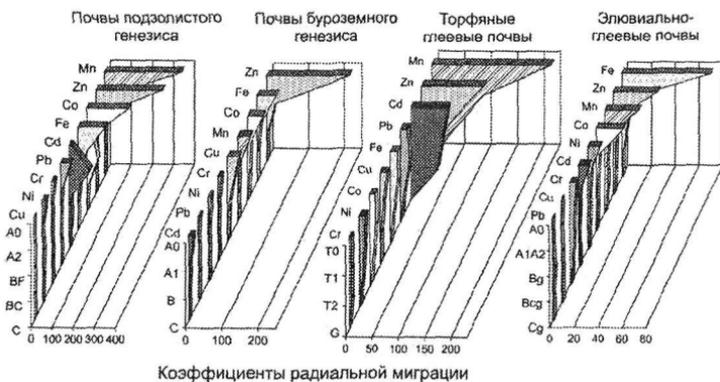


Рис. 7. Внутрипрофильная миграция содержания подвижных форм микроэлементов в почвах различного генезиса

Глава 6. СОДЕРЖАНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ПОЧВАХ ЗЕЛЕННОЙ ЗОНЫ Г. ПЕТРОЗАВОДСКА

Так как исследованные объекты находятся на территории зеленой зоны г. Петрозаводска, являющегося источником аэротехногенных поллютантов, возможно повышенное содержание в них ТМ или даже загрязнение ими. Все изученные микроэлементы могут оказывать отрицательное влияние на живые организмы, если их концентрация превышает определенные пределы. Некоторые ТМ, например, свинец и кадмий, опасны для здоровья человека даже при низких концентрациях.

При анализе данных содержания ТМ в почвах зеленой зоны г. Петрозаводска было выявлено, что в среднем, содержание ТМ в подстилках и минеральных горизонтах почв не превышает ПДК, это же касается и их подвижных форм. Также, в большинстве случаев, содержание изучаемых металлов не превышает региональные фоновые показатели, установленные Н.Г. Федорец и др. (1999, 2008) для лесных подстилок и минеральных горизонтов почв Карелии (табл. 7).

При характеристике общего содержания металлов в подстилках с использованием шкалы загрязнения ТМ лесных подстилок на территории Карелии, разработанной Н.Г. Федорец и др. (1999), отмечено, что большинство ТМ содержится в очень низких и низких концентрациях. Кобальт и хром в подстилках почв денудационно-тектонического грядового ландшафта и железо в подстилках почв ландшафта озёрных и озёрно-ледниковых равнин содержатся по шкале загрязнения в средних концентрациях. Отмечено высокое содержание железа в подстилках почв ландшафта озёрных и озёрно-ледниковых равнин.

Таблица 7

Тяжелые металлы в почвах зеленой зоны г. Петрозаводска, мг/кг

Показатель	Cd	Pb	Cu	Zn	Ni	Co	Cr	Fe	Mn
Общее содержание	0,45*	14,9	19,4	26,8	11,2	2,9	17,0	5240	273
	0,07**	7,0	14,3	21,6	11,7	4,2	24,1	6656	205
Содержание в подвижной форме	0,11	1,5	1,0	12,8	0,9	1,0	0,7	24,3	140
	0,02	0,2	0,4	0,5	0,2	0,1	0,3	2,9	10,2
Фоновое общее содержание в почвах Карелии***	0,52	23,5	37,9	67,6	27,5	1,8	10,0	1871,7	330
	-	15,5	18,5	37,2	7,6	11,6	47,3	17505	282
ПДК общего содержания	3	32	55	100	85	-	-	-	1500
ПДК содержания в подвижной форме	1	6	3	23	4	5	6	-	-

Примечание: * - в лесной подстилке почв, ** - в минеральной толще почв, *** - данные Н. Г. Федорец и др. (1999, 2008)

Таким образом, при анализе данных содержания ТМ в почвах зеленой зоны г. Петрозаводска было выявлено, что в подавляющем большинстве случаев концентрация ТМ в подстилках и минеральных горизонтах почв

не достигает ПДК и близка к региональным фоновым показателям. Это позволяет предложить полученные данные содержания МЭ в качестве фоновых для изученных типов ландшафтов.

ВЫВОДЫ

1. Определено содержание МЭ в почвообразующих породах трех типов ландшафтов среднетаежной подзоны Карелии. Концентрация МЭ в них существенно различается, что, в основном, зависит от минералогического и механического состава. Установлено, что общее содержание МЭ в изучаемых породах находится ниже кларка литосферы, то есть наблюдается их рассеяние. Концентрация подвижных форм МЭ невысокая и составляет около 1 % от общего содержания.

2. Установлены уровни накопления МЭ в лесных почвах различного генезиса трех типов ландшафтов среднетаежной подзоны Карелии. Полученные данные свидетельствуют о том, что концентрации МЭ в них достоверно различаются. Отмечено низкое содержание в почвах изучаемых типов ландшафтов большинства МЭ, относительно литосферных и почвенных кларков выявлено их сильное рассеяние.

3. Для ландшафтов озёрных и озёрно-ледниковых равнин и денудационно-тектонического грядового характерен широкий диапазон колебания содержания МЭ в почвах. Для ландшафта ледникового холмисто-грядового выявлен более узкий диапазон варьирования содержания МЭ в почвах.

4. Выявлена высокая пространственная вариабельность подвижных форм МЭ для почв всех ландшафтов. В целом подвижность большинства изучаемых МЭ (кроме кадмия) низкая и обеспеченность почв подвижными формами МЭ может считаться недостаточной.

5. Полученные данные содержания МЭ (общего содержания и подвижных форм) можно считать фоновыми для почв исследуемых типов ландшафтов.

6. Выявлены особенности процессов аккумуляции и выноса МЭ в почвах изучаемых ландшафтов. Для почв ландшафта озёрных и озёрно-ледниковых равнин характерно в основном накопление МЭ в профиле по сравнению с почвообразующей породой. Для почв денудационно-тектонического грядового типа ландшафта выявлен различный характер процессов накопления и миграции в зависимости от почвообразующей породы. Так, для почв, развитых на элюво-делювии коренных пород, характерно накопление МЭ, а развитых на плаще морены - вынос. Для почв ледникового холмисто-грядового типа ландшафта наблюдается тенденция выноса большинства МЭ.

7. Обнаружено, что миграция МЭ по профилю в почвах исследуемых типов ландшафтов зависит от особенностей генезиса почв и наличия радиальных геохимических барьеров. В почвах изучаемых типов ландшафтов выявлены следующие радиальные геохимические барьеры: органо-сорбционный, сорбционный, восстановительный глеевый. В почвах подзолистого генезиса распределение МЭ по профилю характеризуется биогенным накоплением в лесной постилке и элювиально-иллювиальным типом миграции в минеральной толще. Для почв буроземного типа почвообразования характерно относительно равномерное распределение МЭ по профилю.

8. Выявлено, что распределение МЭ в подвижной форме по почвенному профилю более контрастно, чем дифференциация их общего содержания. Обнаружена аккумуляция подвижных форм МЭ в органогенных горизонтах почв, в минеральных горизонтах их содержание резко снижается, минимум отмечается в почвообразующих породах.

9. При анализе данных содержания ТМ в почвах зеленой зоны г. Петрозаводска было установлено, что их содержание в подстилках и минеральных горизонтах не превышает ПДК и региональных фоновых показателей.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ:

1. Ахметова Г.В. Особенности почвенного покрова ландшафтов среднетаежной подзоны // Материалы Всероссийской научной конференции «Почвоведение агрохимия в XXI» и IX Всероссийской конференции Докучаевские молодежные чтения «Почвы России. Проблемы и решения». Санкт-Петербург, 2006. С. 236-237.
2. Ахметова Г.В. Особенности почвенного покрова денудационно-тектонических грядовых (сельговых) ландшафтов среднетаежной подзоны // Материалы международной конференции «Современные экологические проблемы Севера». Апатиты, 2006. С. 26-28.
3. Ахметова Г.В. Микроэлементный состав почв ландшафта озёрно-ледниковых равнин среднетаежной подзоны Карелии // Тезисы докладов Международной конференции «Лесное почвоведение: итоги, проблемы, перспективы. Сыктывкар, 2007. С. 13-15.
4. Ахметова Г.В. Фоновые уровни содержания микроэлементов в почвах ландшафтов среднетаежной подзоны Карелии // Материалы II Всесоюзной научно-практической конференции «Экологические системы: фундаментальные и прикладные исследования». Нижний Тагил, 2008. С.13-16.
5. Ахметова Г.В. Содержание микроэлементов в почвообразующих породах и лесных почвах озёрно-ледниковых равнин среднетаежной

Карелии // Вестник Московского Государственного Университета Леса. Лесной вестник. № 2. 2008. С. 16-21.

6. Ахметова Г.В. Оценка загрязнения тяжелыми металлами почв зеленой зоны города Петрозаводска // Материалы докладов I Всероссийской молодежной научной конференции «Молодежь и наука на Севере» (в 3-х томах). Том III. XV Всероссийская молодежная научная конференция «Актуальные проблемы биологии и экологии». Сыктывкар, 2008. С. 14-16
7. Ахметова Г.В. Микроэлементы в почвах денудационно-тектонического грядового (сельгового) ландшафта среднетаежной подзоны Карелии // Материалы всероссийской конференции с международным участием «Северные территории России: проблемы и перспективы развития». Архангельск, 2008. С.82-84.
8. Ахметова Г.В. Микроэлементы в лесных почвах холмисто-грядового ландшафта среднетаежной подзоны Карелии // Материалы V Всесоюзного съезда почвоведов. Ростов-на-Дону, 2008. С.339.
9. Ахметова Г.В. Особенности микроэлементного состава почв различных типов ландшафтов среднетаежной подзоны Карелии // материалы конференции «Актуальные проблемы сохранения биоразнообразия в экстремальных условиях северного климата. Апатиты-Кировск», 2008. С.5-7.
10. Ахметова Г.В. Оценка обеспеченности микроэлементами почв различных ландшафтов среднетаежной подзоны // Материалы Всероссийской научной конференции XIII Молодежные Докучаевские чтения 2009 «Почвы и продовольственная безопасность России». Санкт-Петербург, 2009. С.140-141.
11. Ахметова Г.В. Микроэлементный состав почвообразующих пород трех типов ландшафтов среднетаежной подзоны Карелии // Ломоносов 2009: XVI Международная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых по фундаментальным наукам; секция «Почвоведение». Тезисы докладов. Москва, 2009. С.4-6.
12. Ахметова Г.В. Особенности содержания микроэлементов в лесных почвах трех типов ландшафтов среднетаежной подзоны Карелии // Вестник Московского Государственного Университета Леса. Лесной вестник. 2009. (в печати)
13. Ахметова Г.В. Особенности внутрипрофильной миграции микроэлементов и радиальные геохимические барьеры в почвах ландшафтов среднетаежной подзоны Карелии // Эколого-геохимические и биологические закономерности почвообразования в таежных лесных экосистемах. Петрозаводск: Карельский Научный Центр РАН, 2009. С. 30-44.

Формат 60×84 $\frac{1}{16}$. Бумага офсетная. Гарнитура «Times».
Уч.-изд. л. 1,1. Усл. печ. л. 1,3. Подписано в печать 14.10.09.
Тираж 100 экз. Изд. № 61. Заказ № 825.

Карельский научный центр РАН
Редакционно-издательский отдел
185003, Петрозаводск, пр. А. Невского, 50