

На правах рукописи

**Махонина Галина Ивановна**

**НАЧАЛЬНЫЕ ПРОЦЕССЫ ПОЧВООБРАЗОВАНИЯ  
В ТЕХНОГЕННЫХ ЭКОСИСТЕМАХ УРАЛА**

**Специальность 03.00.27. – почвоведение**

*Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
доктора биологических наук*

**Томск-2004**

Работа выполнена в Уральском государственном университете им. А.М. Горького

Официальные оппоненты: доктор биологических наук  
Арчгова И.Б.  
доктор биологических наук, профессор  
Капелькина Л.П.  
доктор биологических наук, профессор  
Дергачева М.И.

Ведущая организация: Институт экологии растений и животных Уральского Отделения РАН (Екатеринбург)

Защита состоится 2004 г. в час. на заседании диссертационного совета Д-212.267.09  
в Томском государственном университете по адресу: 634050, Томск, пр. Ленина, 36, Главный корпус

С диссертацией можно ознакомиться в Научной библиотеке Томского государственного университета

Автореферат разослан

2004 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета  
доктор биологических наук

С.П. Кулижский

**Актуальность темы.** Прошедший век характеризовался особенно интенсивным и разнообразным воздействием на природные экосистемы. Экологические последствия таких воздействий привели к необходимости обратить особое внимание на охрану природы и разработку специальных научно-обоснованных мероприятий по восстановлению разрушенных ландшафтов. Особенно значительные нарушения земельных ресурсов, вплоть до полного уничтожения почв на значительных площадях, наблюдаются в районах горнодобывающей промышленности, к которым относится Урал, особенно там, где преобладает карьерный способ добычи полезных ископаемых. Это требует разработки комплекса мер по возвращению в пригодном для использования виде земель отработанных территорий. Поэтому биологическая рекультивация таких земель является весьма актуальной проблемой. На Урале длительное время промышленные отвалы рекультивирующему воздействию не подвергались и на них шли процессы естественного восстановления биоценозов и почв. Состояние биоценозов на самозарастающих отвалах дает ценную информацию о пригодности пород для биологической рекультивации, может способствовать выбору направления рекультивации и составлению прогнозов скорости восстановления биоценозов и почв для вновь разрабатываемых месторождений.

Основу теоретического почвоведения составляет положение о переходе любой горной породы в почвенное тело под естественным воздействием на нее основных факторов почвообразования (ФП): климата, живых организмов, рельефа и времени. Несмотря на имеющийся огромный материал, характеризующий разные типы почв, роль времени в формировании их изучена явно недостаточно, что отмечают все исследователи. Имеющиеся периодизации жизни почвы (Захаров, 1931; Герасимов, 1956; Таргульян, 1982; Зонн, 1987, Иенни, 1948; и др.) не подкреплены четкими количественными критериями из-за сложности почвы как природного объекта и недостатка фактических материалов. Необходимость дальнейшей разработки этой проблемы на фактологической основе другого уровня, очевидна.

Разновозрастные самозарастающие промышленные отвалы являются очень удобными объектами для изучения динамики формирования современных биогеоценозов, а также первоначального периода развития (онтогенеза) почв. Почвы на датированных отвалах горных пород, разных элементов рельефа, возраста, типов растительности и нахождения их в разных климатических условиях позволяют вычлнить влияние каждого ФП при близости других (правило монофакторности), что очень редко можно найти в природных условиях. Такой подход может служить основой для развития учения об экологии почв как самостоятельного раздела почвоведения в понимании И.А. Соколова (1993).

Добыча полезных ископаемых на Урале началась очень давно и поэтому исследования почв на отвалах разновозрастных древних рудников, используя хроноряды почв от настоящего времени до нескольких тысячелетий назад, позволит выявлять скорость восстановления почвенного покрова и закономерности его развития в техногенных экосистемах. В этом контексте познание первоначальных процессов формирования и развития (онтогенеза) почв на нарушенных землях может рассматриваться как самостоятельное направление в почвоведении, разрабатывающее проблему становления и эволюции почв.

**Цель работы.** Разработать и обосновать концепцию первичного почвообразования и развития (онтогенеза) почв на породах разного состава в техногенных экосистемах основных природных зон Урала и оценить их пригодность для биологической рекультивации.

**Задачи исследований.** Изучить основные свойства пород техногенных экосистем Урала, выявить зависимость характеристик почв от их химического состава и оценить их пригодность для биологической рекультивации.

Определить макро- и микроэлементный состав травянистых растений естественно восстанавливающихся биогеоценозов на отвалах разных месторождений и провести их экологическую экспертизу.

Исследовать состав и свойства формирующихся почв разного возраста и выявить динамику начальных процессов почвообразования с учетом состояния растительного покрова на разных почвообразующих породах в лесной, лесостепной и степной зонах Урала.

Обосновать концептуальную модель первоначального формирования и развития почв на породах разного химического состава в техногенных экосистемах основных природных зон Урала.

**Объекты исследований:** почвы, формирующиеся на естественно зарастающих разновозрастных отвалах разного химического состава 70 месторождений, расположенных в таежной, лесостепной и степной зонах Урала.

**Научная новизна.** Впервые на основе единых методических и методологических подходов дан детальный анализ педогенеза в течение первых 200 лет на разных по составу породах в техногенных экосистемах лесных, лесостепных и степных условий Урала.

Впервые на примере Урала показана обогащенность пород в отвалах 70 разных месторождений дробными макро- и микроэлементами и их геохимическими спутниками, приводящая к значительному

(выше ПДК) накоплению таких элементов в травянистых растениях, что необходимо учитывать при составлении рекомендаций для выбора способов биологической рекультивации и использования растительной продукции.

Впервые выявлены закономерности начального развития горизонтов в почвах, формирующихся на разных почвообразующих породах в условиях таежной, лесостепной и степной зонах Урала.

Для количественного вычленения влияния времени почвообразования на развитие почв в онтогенезе впервые использован коэффициент дифференциации (Кд).

Установлено, что в первые 200 лет формирования почвенного профиля в техногенных экосистемах почвы проходят стадию внутреннего развития (эмбриогенеза), когда легко фиксируемые аналитическими методами незначительные количественные изменения еще не перешли в качественные, заметные в морфологическом облике почв (кроме горизонта А<sub>0</sub> и небольшой мощности горизонта А).

Выявлено, что характер изменений в профиле почв соответствует зональной направленности почвообразования, а начальные стадии онтогенеза для ныне экспонированных моногенетичных зрелых зональных типов почв на соответствующих породах были подобными.

Показано, что формирующиеся почвы (эмбриоземы) отличаются от фоновых не только меньшими запасами гумуса, но и менее «зрелыми» в химическом отношении (менее конденсированными) по сравнению с фоновыми гуминовыми кислотами, что свидетельствует о существовании периода развития в системе гумусовых веществ.

Выявлено, что даже при одинаковой мощности подстилок в развивающихся и фоновых почвах, зольный состав подстилок в первых отличается меньшим содержанием биофильных элементов, что также может свидетельствовать о незаконченности периода развития в формировании важнейшего органогенного горизонта к 200 годам.

Впервые показана динамика формирования в онтогенезе частных почвенных профилей: гумусового, щелочно-кислотного, текстурного и др., а также обоснована возможность применения их при исследовании более старых почв (на поверхностях археологических памятников возрастом от 400 до 5000 лет).

**Вклад автора.** Автору принадлежат постановка проблемы, идея использования самозарастающих разновозрастных отвалов для изучения периода развития (онтогенеза) почв на разных породах и в разных климатических условиях Урала, обоснование необходимости макро- и микроэлементной оценки состава горных пород в отвалах и в растениях с целью проведения биологической рекультивации, разработка программ исследований, обобщение полученных материалов и обоснование выводов, а также разработка и обоснование концепции первоначального формирования и развития почв в техногенных экосистемах.

**Защищаемые положения.** 1. Процессы превращения пород отвалов в почвенное тело в течение первых 200 лет почвообразования фиксируются в основном аналитическими методами, поскольку время формирования педогенных признаков меньше, чем характерное время (ХВ) образования почвенных горизонтов.

2. Соотношения элементов в горизонтах вымывания и вмывания, определяемые по коэффициентам дифференциации (Кд), позволяют решать проблемы, связанные с дифференциацией почвенного профиля на генетические горизонты, фиксировать стадии развития почв во времени и степень приближения их к таковым у зрелых почв.

3. Почвы на отвалах разных месторождений, отличаясь повышенным содержанием добываемых химических элементов и их геохимических спутников, существенно влияют на химический состав растений, накапливаясь в них выше ПДК, вследствие чего на этих почвах следует выращивать растения, не идущие в пищу домашним животным и человеку, то есть технические культуры.

**Теоретическая и практическая значимость работы.** Концептуальная модель первоначального формирования и развития (онтогенеза) почв на нарушенных землях развивает представление о начальных стадиях постлитогенного почвообразования и вносит существенный вклад в проблему становления и эволюции почв.

Полученные материалы и выводы могут быть использованы при разработке рекомендаций для проведения биологической рекультивации отвалов разных типов месторождений, а также будут способствовать составлению прогнозов поведения обработанных территорий с целью планирования и освоения месторождений.

Теоретические и практические разработки автора могут использоваться при чтении лекций по генезису, эволюции, охране и рекультивации почв в Вузах соответствующего профиля.

**Публикации и апробация работы.** По теме исследования опубликовано 82 работы, из них 4 монографии, в том числе – одна коллективная. Результаты исследований докладывались на Всесоюзных (Все-российских) и Международных конференциях и симпозиумах, посвященных проблемам освоения и ре-

культивации нарушенных земель, охраны окружающей среды, антропогенного почвообразования, в том числе: Бургас, Солнечный берег, 1983; Уфа, 1973; Новосибирск, 1974; Донецк, 1975; Свердловск, 1975; Тарту, 1975; Москва, 1976; Свердловск, 1976; Киев, 1976; Москва, 1977; Москва, 1978; Новосибирск, 1979; Кемерово, 1982; Москва, 1982; Свердловск, 1983; Новосибирск, 1985; Якутск, 1986; Москва, 1987; Свердловск, 1988; Новосибирск, 1989; СЭВ, Конин (Польша), 1989; Братислава, 1989; Донецк, 1990; Киев, 1990; Днепропетровск, 1990; Казань, 1991; Москва, 1997; Екатеринбург, 1993, 1996, 1998, 2000, 2001, 2002, 2003.

**Структура работы.** Диссертационная работа состоит из введения, 7 глав, выводов и списка литературы. Она изложена на страницах машинописного текста, содержит таблиц, рисунков, список литературы из названий, в том числе иностранных авторов.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

### **1. ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ**

Основными объектами исследований были почвы, формирующиеся на разновозрастных (0-200 лет) естественно зарастающих промышленных отвалах, образованных при добыче 70 полезных ископаемых карьерным способом. Всего в таежной, лесостепной и степной зонах Урала были обследованы 27 месторождений железа, 5 – никеля, 7 – меди, 5 – золота, 2 – асбеста, 2 – талька, 2 – известняков, 4 – огнеупорных глин, 6 – песков, 10 – угля. По своим параметрам отвалы представляют собой аккумулятивные формы мезо- и макрорельефа (высота от 1-2 до 120 м, площадь от 1 до 1000 га), подобные таковым в предгорно-холмистых провинциях Урала. Сходство дополняет очень сильная каменность пород в отвалах (20-90%).

Методологический подход при изучении динамики развития почвенных профилей заключался в составлении хронорядов почв, формирующихся на разных почвообразующих породах и анализе их морфологических и аналитических характеристик, используя принцип монофакторности. Для вычленения роли времени был использован коэффициент дифференциации ( $K_d$ ), представляющий собой отношение содержания того или иного показателя (элемента, соединения) в горизонте накопления или вымывания к таковому в почвообразующей породе или к горизонту вымывания. Изучение физико-химических свойств почв, гранулометрического, и валового составов, качественного состава гумуса проводилось с использованием общепринятых в почвоведении методов. Материалы статистически обработаны (Дмитриев, 1990).

### **2. ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКИЙ ОЧЕРК РАЙОНОВ РАБОТ**

В главе описываются основные характеристики климата, растительности и почв в районах работ, составленные на основе специальных монографических источников.

### **3. СВОЙСТВА ПОРОД В ОТВАЛАХ И ИХ ПРИГОДНОСТЬ ДЛЯ БИОЛОГИЧЕСКОЙ РЕКУЛЬТИВАЦИИ**

Согласно ГОСТу 17.5.1.03-86 «Классификация вскрышных и вмещающих пород для биологической рекультивации земель» к особо важным свойствам пород отнесены: величина рН водной вытяжки, засоленность, емкость поглощения, содержание обменного натрия, гранулометрический состав. Однако для полной оценки своеобразия формирующихся почв новых экотопов показателей ГОСТа недостаточно, так как в отвалах, как и самих месторождениях, повышено содержание добываемых элементов и их геохимических спутников. Поэтому дополнительно определялся валовой, а также макро- и микроэлементный состав мелкозема пород в отвалах. На основе сравнительного анализа валового состава пород в отвалах и среднего состава рыхлых осадочных пород, изучаемые породы были объединены в группы: обогащенные железом, магнием, кальцием, углем, кремнием, алюминием, нормальные (по своему макросоставу наиболее близкие к среднему составу рыхлых осадочных пород), и породы с повышенным содержанием сульфатной и сульфидной серы. Эти особенности пород учитывались при изучении начальных процессов почвообразования.

Известно, что вокруг рудного поля существуют ореолы рассеяния, иногда столь существенные, что по ним можно обнаружить само месторождение. В почвах и растениях над неразработанными месторождениями, залегающими относительно неглубоко от земной поверхности, повышено содержание микроэлементов до такого уровня, что это вызывает заболевания у растений, животных и человека, в связи с чем проводится биогеохимическое районирование территорий, выявляются эндемические заболевания (Ковальский, 1974; Малюга, 1963). По существующей технологии ведения вскрышных работ породы, на разрабатываемых месторождениях, наиболее близко расположенные к добываемому элементу и его геохимическим спутникам, будут находиться на поверхности отвалов. Это отражается на химическом составе произрастающих на них растений. Определение основных макроэлементов (N, P, K, Na, Ca, Mg, Fe) и 11 микроэлементов (Co, Ni, Mn, Ti, Cr, V, Cu, Zn, Mo, B, Pb) в 103 видах травянистых растений и сравнение их состава со средним содержанием в растениях и с ПДК показало, что в растениях в повышенных количествах находятся добываемые элементы и их геохимические спутники. Превышение над средними значениями или ПДК достигает 2-380 раз (табл. 1).

**Таблица 1.** Среднее содержание некоторых микроэлементов в растениях на отвалах разных месторождений (Махонина, 1987).

| Элемент                              | ПДК/норма | Месторождения |     |     |    |     |    |        |
|--------------------------------------|-----------|---------------|-----|-----|----|-----|----|--------|
|                                      |           | Fe            | Ni  | Mg  | Al | C   | Si | Cu     |
| мг/кг сухого вещества                |           |               |     |     |    |     |    |        |
| Кобальт                              | 1         | 30            | 50  | 74  | 7  | 6   | 41 | 6      |
| Хром                                 | 5         | 52            | 72  | 38  | 8  | 39  | 13 | Не опр |
| 1·10 <sup>-3</sup> % в золе растений |           |               |     |     |    |     |    |        |
| Ванадий                              | 5         | 508           | 280 | 13  | 13 | 15  | 18 | Не опр |
| Никель                               | 1         | 243           | 380 | 345 | 8  | 129 | 50 | Не опр |

Следовательно, химический состав травянистых растений четко отражает особенности химизма пород в отвалах и свидетельствует об экологической опасности использования таких растений в пищу домашним животным и человеку. Рационально на таких отвалах выращивать технические культуры. В связи с этим необходимо дополнить существующий ГОСТ 17.5.1.03-86 еще одним показателем, оценивающим на каждом месторождении качество растительной продукции, используя известные санитарно-гигиенические нормы (Махонина, 1987). В главе приведены также средние величины кларков концентраций: КК1 – по отношению к среднему содержанию микроэлементов в осадочных породах и КК2 – по отношению к среднему содержанию элементов в наземных растениях.

#### 4. ПОЧВЫ И ВРЕМЯ

В главе описываются современные представления о роли времени в развитии почвенного профиля. Все исследователи согласно утверждают о недостаточной изученности этого фактора. Существующие периодизации жизни почвы недостаточно подкреплены фактическими материалами. Особенно слабо изучен период первоначального развития почв.

В последнее время интерес к проблеме «почвы и время» возрос в практическом плане, в связи со значительными потерями почвенного покрова при разработке полезных ископаемых карьерным способом. Исследования формирующегося почвенного покрова при естественном зарастании отвалов ограничены преимущественно 20-30 годами почвообразования, что явно не охватывает весь период развития почв. В работах (Таранов, Комиссаров, 1974; Махонина, 1976; Фаткулин, 1980; Таранов и др., 1984; Етеревская, 1989; Гаджиев и др., 1992; Козыбаева, 1994; и др.) указывается на довольно быстрые изменения, происходящие в формирующихся почвах, хотя они еще незначительны, и почвы по своим свойствам далеки от зрелых фоновых. По мнению А.Н. Геннадиева (1990), необходимо продолжать эти исследования, так как «темпы разработки теоретических вопросов эволюции почв заметно превосходит приток новых фактических данных, и при сохранении такого положения может возникнуть ситуация отрыва концептуальных построений от эмпирической основы».

#### 5. ФОРМИРОВАНИЕ ФИТОЦЕНОЗОВ

Формирование фитоценозов на отвалах при естественном зарастании идет по типу первичных сукцессий. В них выделяют несколько сингенетических стадий: пионерная группировка (одновидовая или смешанная), простая группировка (одновидовая или смешанная) и сложная – предшествующая появлению закрытого фитоценоза. Длительность существования каждой стадии зависит от окружения отвалов, физических и химических свойств пород, климатических условий. Нормальный ход сингенетических сукцессий часто нарушается, так как на отвалы вывозят бытовой мусор, прокладывают дороги, складывают технический лом, что влияет на состояние растительного покрова. На двухсотлетних отвалах, которые не использовались человеком, в таежно-лесной зоне сформировались практически закрытые фитоценозы (Махонина, Чибрик, 1978; Махонина и др., 1982; и др.). Динамика формирования фитоценозов в техногенных экосистемах Урала обобщена в работе Т.С. Чибрик и Ю.А. Елькина (1991).

#### 6. ПОЧВООБРАЗОВАНИЕ НА САМОЗАРАСТАЮЩИХ ОТВАЛАХ

При изучении начальных стадий почвообразования прослеживалась динамика формирования разных свойств почв в пределах 200 лет. В настоящей главе дается анализ полученных результатов.

**6.1. Морфология почв.** Известно, что во внешнем облике почвенного профиля (морфологии) отражаются физические и химические изменения, которые претерпевает любая горная порода в процессе почвообразования. Описание морфологического облика почв на ранних стадиях почвообразования позволяет выявить возникновение, проявление и развитие почвенных горизонтов, т.е. наблюдать начало процесса обособления почвенного тела от материнской породы.

В лесной, лесостепной и степной зонах первым почвенным горизонтом, который сразу становится заметным, является лесная подстилка или степной войлок. Их формирование тесно связано с характером

распределения растений. В начале формирования фитоценозов в зависимости от стадии их развития распределение растений на отвалах является неравномерным и изменяется от рассеянного, через рассеянно-групповое до равномерного (диффузного). На отвалах до 10-летнего возраста на стадии простой и смешанной пионерной группировки растений опад небольшой и представлен надземными органами бурьянистых растений. Покрытие почвы такой подстилкой может рассматриваться как фрагментарное (<20% по Сапожникову, 1984). В простых смешанных группировках (10–20 лет) мощность рыхлого слоя опада может достигать 2 см. В сложных растительных группировках лесных фитоценозов (старше 20 лет) слой опада увеличивается до 2,5 см, а распределение его можно характеризовать как очаговое (51–70%). При близком стоянии отдельных групп растений подстилки начинают покрывать большие площади (покрытие прерывистое, < 90%). И только на старых отвалах (100–200 лет) с почти сформированным фитоценозом, подстилка образует практически самостоятельный горизонт мощностью от 3 до 7 см (покрытие сплошное, >90%, прерываемое лишь на выходах больших валунов). Мощность подстилки зависит от распределения растений, густоты стояния, перемещениями по элементам микрорельефа.

Морфологическое строение подгоризонтов подстилок в целом аналогично таковому зональных биоценозов. У наиболее молодых почв (до 10 лет) подгоризонты не выделяются. С увеличением возраста почв до 15–20 лет в подстилке выделяется два подгоризонта: АО1 – опад предыдущего года и АО2 – более разложившийся опад. Подгоризонт АО3 иногда можно выделить у почв 50 – 60 лет и старше. У 100 – 200-летних почв подгоризонт АО3 постепенно переходит в гумусовый горизонт А, поэтому его можно выделить как АО3А.

В соответствии с поступлением и распределением надземного и подземного опада идет образование гумусового горизонта, который придает почвам темную окраску. На самых ранних стадиях почвообразования при незначительном содержании гумуса выделить по цвету и определить мощность гумусового горизонта затруднительно, вследствие того, что: в составе гумуса преобладают фульвокислоты; гуминовые кислоты у молодых почв светлее, чем у фоновых; окраска почвообразующих пород, как правило, перекрывает небольшие потемнения, связанные с накоплением гумусовых веществ, и они практически незаметны. Поэтому только в самой верхней части профиля морфологически выделяется гумусовый горизонт А. Переход его в следующий обычно резкий, граница перехода ровная. Мощность его зависит от возраста почв. У 0–10-летних почв горизонт А имеет минимальную мощность (1–3 мм), к 10–20 годам она достигает 0,5–1,5 см, а степень его потемнения зависит от цвета почвообразующих пород. На 20–50-летних отвалах горизонт А увеличивается до 2 см. В лесных биоценозах над ним уже сформирован слой подстилки до 2–3 см. На отвалах 80–200 лет мощность горизонта А колеблется в пределах 2–6 см. Под горизонтом А формируется переходный гумусовый горизонт В, но идентифицируется он только при послойном химическом анализе проб на содержание гумуса. Мощность этого горизонта обычно соответствует слою максимального скопления корней (до 20 см).

На ранних стадиях почвообразования структура почв выражена слабо и у почв 0–10 лет она практически отсутствует, у 10–20-летних почв – непрочно мелкокомковатая или пылеватая в гумусовом горизонте, у 20–50-летних – непрочная мелкокомковатая или комковатая. У почв старше 50 лет структура обычно комковатая, непрочная. Ее образованию мешает небольшое содержание гумуса, глинистых частиц и сильная каменистость пород. По сложению молодые почвы могут быть отнесены к типу «рыхлого каменистого сложения», при котором почва состоит из обломков камней, не связанных между собой, составляющих более половины почвенной массы и пересыпанных мелкоземом (Розанов, 1983). В качестве включений в почвах отвалов встречаются остатки техногенной деятельности человека (провода, куски тросов, цемента, бытовой мусор и др.). Новообразования на начальных стадиях выделить очень трудно. Распределение корневых систем по почвенному профилю зависит от стадии формирования фитоценоза, основная масса их сосредоточена в верхнем 20 см слое, а в почвах наибольшего абсолютного возраста корни единично встречаются на глубине 80–90 см.

Таким образом, профиль почв, имеющих возраст от 0 до 200 лет, выражен слабо. В соответствии с периодизацией жизни почвы по С.А. Захарову (1931), основанной на образовании и развитии гумусовых горизонтов, изученные нами почвы находятся на первой стадии развития. По Б.Г. Розанову (1983) почвы с таким строением профиля относятся к группе простых, к типу примитивных. По В.О. Таргульяну (1982) почвы возраста до 20 лет находятся на предпочвенной стадии (когда биота уже есть, но почвенный профиль не обособился), после 20 лет – стадии первичных и юных почв, развивающихся под первичными сукцессиями биоты (что соответствует началу обособления почвенных горизонтов и началу роста почвы вглубь). В зарубежных классификациях такие почвы называют литосолями или регосолями.

**6.2. Физические свойства почв.** Основу любой почвы составляет ее твердая фаза, имеющая определенные физические свойства, наследуемые от почвообразующей породы. Особенностью пород в отвалах

ряда месторождений (железородных, никелевых, медных и др.) является повышенное содержание железа, что приводит к увеличению плотности твердой фазы до 2,8–3,5 г/см<sup>3</sup>. В породах нерудных месторождений и вскрышных четвертичных плотность твердой фазы почвы соответствует таковой в фоновых почвах (2,4–2,8 г/см<sup>3</sup>). С увеличением времени почвообразования в почвенном профиле постепенно уменьшается плотность твердой фазы, особенно в верхних 7–10 см, т.е. там, где в большей мере накапливается органическое вещество. Так, в 200-летней почве Сысертского железорудного месторождения изменение плотности твердой фазы по профилю с глубины 8–10 см до 50–60 см происходит следующим образом: 2,40 – 2,87 – 2,97 – 3,02 – 3,00 – 3,03 г/см<sup>3</sup>. В целом плотность твердой фазы почвы на начальных стадиях почвообразования в первую очередь зависит от содержания гумуса. Аналогичные зависимости наблюдаются и для плотности скелетной части почвы (объемного веса).

Таким образом, формирование почвенного профиля на ранних стадиях почвообразования сопровождается закономерными профильными изменениями удельного и объемного весов почв.

Особенностью практически всех пород в отвалах является их очень сильная каменистость (20–90%), которая обусловлена присутствием обломков горных пород разных размеров: от частиц более 3 мм до 1,5–2 м в диаметре. Неравномерное перемешивание каменистых и мелкоземных пород при складировании в отвалы приводит к дифференциации верхних слоев по степени каменистости, что создает определенную пестроту экологических условий. Как выявлено, в лесной зоне травянистые растения чаще всего закрепляются на участках с меньшей каменистостью, а древесные – с большей.

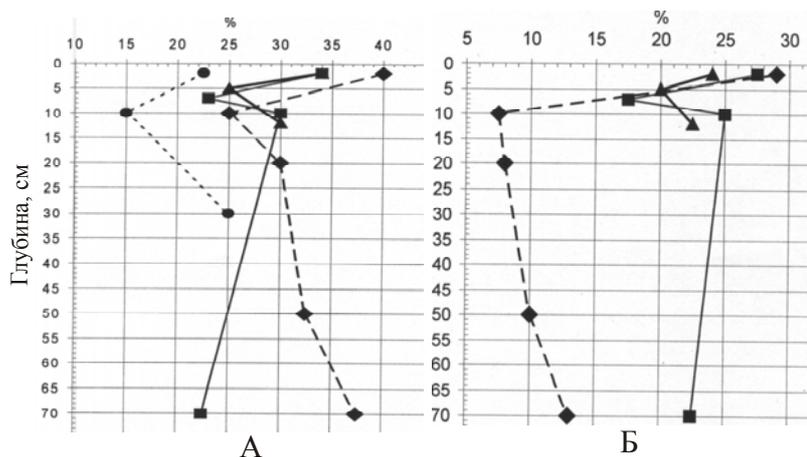
На основе анализа материалов по гранулометрическому составу мелкозема разновозрастных почв, формирующихся на отвалах разных месторождений в подзоне южной тайги, было выделено четыре типа в профильном распределении физической глины: 1 тип - с постепенным снижением фракции физической глины от верхнего горизонта к нижнему, 2 тип – с постепенным увеличением, 3 тип – с S-образным распределением с минимумом в середине профиля, 4 тип – с максимумом содержания физической глины в середине профиля (табл. 1).

**Таблица 2.** Процентное соотношение разных типов профильного распределения физической глины в разновозрастных группах почв южной тайги

| Гранулометрический состав | Возраст почв, лет | Типы распределения |      |      |      |
|---------------------------|-------------------|--------------------|------|------|------|
|                           |                   | 1                  | 2    | 3    | 4    |
| Супеси                    | 0–50              | 13,0               | 6,7  | 20,0 | 26,8 |
|                           | 50–150            | 0,0                | 0,0  | 26,8 | 6,7  |
| Легкие суглинки           | 0–50              | 11,1               | 0,0  | 14,8 | 7,4  |
|                           | 50–150            | 11,1               | 14,8 | 37,0 | 3,8  |
| Средние суглинки          | 0–50              | 8,3                | 0,0  | 8,3  | 16,6 |
|                           | 50–150            | 0,0                | 8,3  | 50,2 | 8,3  |
| Тяжелые суглинки          | 0–50              | 0,0                | 16,6 | 8,3  | 0,0  |
|                           | 50–100            | 16,6               | 16,6 | 33,6 | 8,3  |

Была проведена оценка соотношения разных типов распределения фракций во времени (0-50 и 50-150 лет) на разных по гранулометрическому составу породах в процентах от общего числа почвенных профилей в пределах одной классификационной единицы гранулометрического состава. Найдено, что доля почв с наиболее простым первым типом распределения со временем уменьшается, а остальных типов – возрастают, что свидетельствует об энергичных процессах перемещения физической глины. Особенно выделяется третий тип (S-образное распределение), который характерен и для зрелых почв в таежной зоне.

Примеры этого типа распределения у разновозрастных почв приведены на рис. 1



**Рис. 1.**Изменение во времени профильного распределения фракций физической глины (А) и ила (Б) разновозрастных почв

С увеличением времени почвообразования процессы перемещения тонких частиц вглубь профиля усиливаются, и минимум содержания тонких фракций фиксируется во времени в более глубоких слоях. В почве возраста 15 лет минимальное содержание физической глины находится на глубине 5 см, 50 – 7 см, 100 – 10 см. В лесостепной зоне наблюдаются аналогичные изменения во времени в профилях почв по гранулометрическому составу, но элювиальный горизонт у почв со сходным возрастом и гранулометрическим составом залегает выше, что можно объяснить разной интенсивностью промывания почв в таежной и лесостепной зонах. В условиях степной зоны профильные изменения в содержании физической глины незначительны. По В.О. Таргульяну, И.А. Соколову (1978) ХВ дифференциации профиля почв по илу составляет тысячи и десятки тысяч лет. В техногенных экосистемах она проявляется уже на ранних стадиях почвообразования.

**6.3. Гумусное состояние почв.** Особенности складирования, физических и химических свойств пород, отсутствие полностью ровных территорий, связанное с движением и работой машин и влияющее на сложный рисунок микро- и нанорельефа, а также неравномерность распределения семенных зачатков, зависящая от окружения отвалов, их высоты, направления ветров, возможности закрепления семян, определяют мозаичность почвенного покрова уже на начальных стадиях формирования биоценозов и почв на отвалах. В дальнейшем на формирование почвенного покрова также влияют пестрота видового состава растений, их биомасса, стадии сингенетических сукцессий.

Гумусонакопление. Для изучения особенностей гумусонакопления закладывались разрезы почв под отдельными группировками растений, на разных по составу и возрасту отвалах, а также элементах микро-рельефа.

Полученные результаты показали существование тесных взаимосвязей между указанными факторами. Так, выявляется более высокое накопление гумуса за один и тот же временной отрезок на участках, занятых высшими растениями в сравнении с «голыми», т.е. без высших растений, хотя и на «голых» участках за счет деятельности низших форм растений идет постепенное увеличение содержания гумуса. Из древесных видов (сосна, береза) гумуса больше накапливается под березой (в слое 0-2 см – 2,58%С) в сравнении с соснами (1,29%С) на 10-летней почве Естюнинского железорудного месторождения. Под травянистыми растениями гумуса больше накапливается под злаками (0,67 – 0,48 – 0,23%С по слоям 0-2, 2-7 и 7-20 см) и меньше всего под разнотравьем (0,50 – 0,33 – 0,18%С). Под бобовыми содержание гумуса (0,50 – 0,33 – 0,18%С) имеет промежуточное значение. Однако, если группировки не моновидовые, то гумуса больше накапливается под злаково-бобовыми, чем под злаково-разнотравными. Например, на 24-летней почве Баженовского месторождения асбеста под злаково-бобовой группировкой содержание гумуса по слоям 0-2, 2-7, 7-20 см составило: 2,9 – 1,9 – 0,7%С, а под злаково-разнотравной соответственно тем же слоям — 1,9 – 1,35 – 0,2%С.

Микропонижения зарастают в первую очередь, что связано с большей влажностью таких мест, большим содержанием мелкозема и лучшей задержкой в них семенных зачатков. Соответственно наибольшее количество гумуса, при прочих равных условиях, накапливается в микропонижениях, а наименьшее – на вершинах повышений. Так, например, в 10-летних почвах, формирующихся под бобово-злаковыми группировками на Естюнинском месторождении железа, в понижениях содержание гумуса в слое 0-20 см находится в пределах  $0,59 \pm 0,07\%С$ , на ровных участках –  $0,39 \pm 0,04\%С$ . Различия в гумусонакоплении на разных элементах рельефа сохраняются и у почв большего возраста. Например, в 80–100-летних почвах содержание гумуса в микропонижениях составляет 1,13%С, на повышениях – 0,39%С. Влияет на гумусонако-

ление также гранулометрический состав почв. Как и в полноразвитых почвах, наибольшее количество гумуса наблюдается на тяжелосуглинистых почвах и наименьшее – на супесчаных (рис.2).

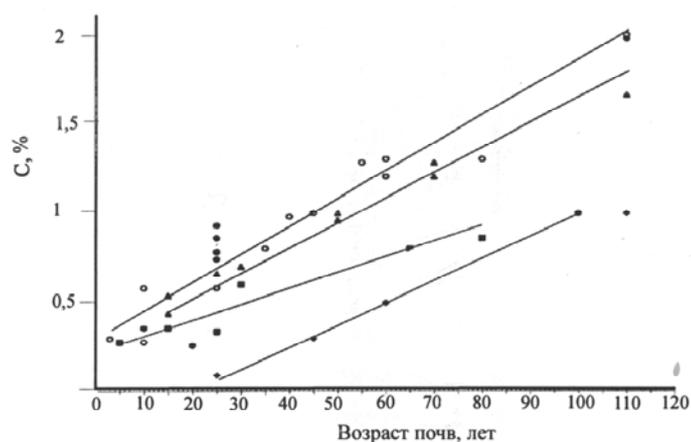


Рис. 2. Содержание углерода в слое 0-20 см почв на породах разного гранулометрического состава:  
 ◆ - супесь; ■ - легкие суглинки; ▲ - средние суглинки;  
 ○ - тяжелые суглинки; ● - глины

С увеличением времени почвообразования содержание гумуса в молодых почвах в целом растет, хотя и не совсем пропорционально времени (рис. 3).

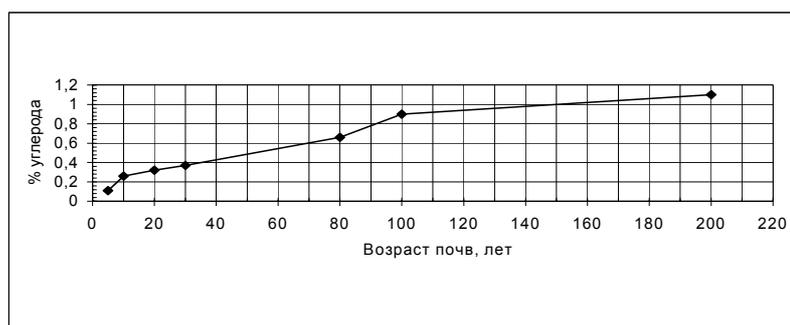


Рис. 3. Содержание углерода в слое 0-20 см разновозрастных почв

Накопление гумуса на ранних стадиях почвообразования в значительной степени зависит от сингенетических стадий формирования фитоценоза, поэтому протекает ступенчато. Для выяснения влияния климатических условий был выбран ряд одновозрастных почв на отвалах железорудных месторождений, расположенных в лесной и степной зонах, породы которых близки по валовому составу, величине рН, гранулометрическому составу (Махонина, 2002).

Результаты показывают (табл. 3), что лучшие условия для гумусонакопления приурочены к степной зоне, что согласуется с особенностями содержания гумуса в почвах зонально-генетического ряда.

**Таблица 3.** Среднее содержание органического углерода в слое 0-20 см молодых почв разных природных зон, %

| Зона, подзона | Возраст почв, лет |           |           |           |           |
|---------------|-------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|               | 0-5               | 5-10      | 10-20     | 20-30     | 40-60     |
| Лесная        |                   |           |           |           |           |
| средняя тайга | 0,1±0,02          | 0,12±0,02 | 0,28±0,03 | 0,40±0,03 | 0,52±0,07 |
| южная тайга   | 0,23±0,04         | 0,29±0,03 | 0,32±0,02 | 0,50±0,05 | —         |
| Степная       | 0,30±0,06         | 0,36±0,06 | 0,57±0,03 | 0,72±0,07 | —         |

Запасы гумуса (в т/га) даже у 80-200-летних почв по сравнению с фоновыми меньше в 2-4 раза. Скорость гумусонакопления (т/га/год) с увеличением времени почвообразования уменьшается от 0,3-0,5 т/га/год у 5-летних почв до 0,17-0,2 т/га/год у 100-200-летних. Если принять, что средняя скорость гумусо-

накопления у 100-200-летних почв в будущем существенно не уменьшится, можно определить ХВ, необходимое для восстановления на промышленных отвалах запаса гумуса, соответствующего зональному. В таежной зоне ХВ колеблется в пределах 380-880 лет, в лесостепи – 750-1480 лет. Полученное ХВ накопления гумуса в целом согласуется с данными ряда авторов, использовавших другие методы (Ковда, 1973).

Профильное распределение гумуса. На начальных стадиях почвообразования кривые распределения гумуса соответствуют регрессивно-аккумулятивному подтипу по Б.Г. Розанову или грубогумусному – по Л.Н. Александровой (рис. 4). Из рисунка видно, что с увеличением возраста почв до 200 лет характер распределения сохраняется, а кривые распределения как бы погружаются вглубь профиля. Иначе говоря, гумусовый горизонт растет сверху вниз. Наибольший прирост гумуса и изменение в распределении наблюдаются в верхних 20-30 см, глубже они происходят значительно медленнее.

В общем, на начальных стадиях почвообразования содержание гумуса зависит от видового состава растений, элементов микрорельефа, свойств почвообразующих пород, климатических условий, стадии развития фитоценоза, времени почвообразования (Махонина, 1990).

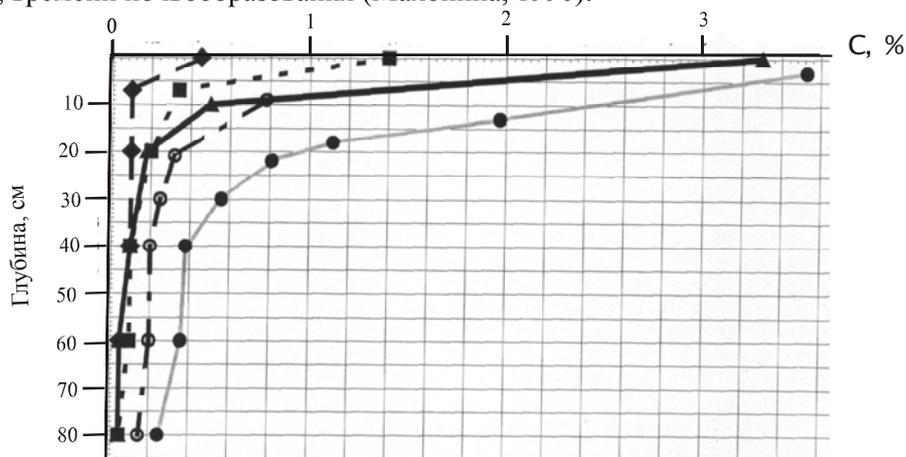


Рис. 4. Профильное распределение органического углерода разновозрастных легкосуглинистых почв под хвойными породами в подзоне южной тайги  
 Обозначения: —◆— - 20-30 лет; —■— - 30-40 лет;  
 —▲— - 70-80 лет; —○— - 100 лет; —●— - 200 лет

Групповой состав гумуса. Те же зависимости, обнаруживаются и при изучении группового и фракционного состава гумуса молодых почв. Так, например, на соотношения между ГК и ФК влияет видовой состав растительных группировок. Практически для всех почв можно составить ряд, в котором содержание ГК по отношению к ФК в гумусовом горизонте А возрастает в ряду: сосняки → злаковые → разнотравные → бобовые. При прочих сходных условиях увеличивается содержание ГК в почвах микропонижений в сравнении с повышенными и ровными участками.

Долевые соотношения между ГК и ФК в гумусовом горизонте представлены на рис. 5 в координатах общего содержания  $C_{гк}$  и  $C_{фк}$  в % от общего углерода, из которого видно, что соотношение  $C_{гк}$  и  $C_{фк}$  на отвалах разных пород различно, состав гумуса в молодых почвах изменчив, что свидетельствует о его несформированности, хотя в них уже проявляются зональные особенности соотношения между ГК и ФК (Махонина, 1992).

Влияние состава почвообразующих пород проявляется в большем накоплении ГК на карбонатных породах, чем на магниезиальных и песчаных (Махонина, 1974).

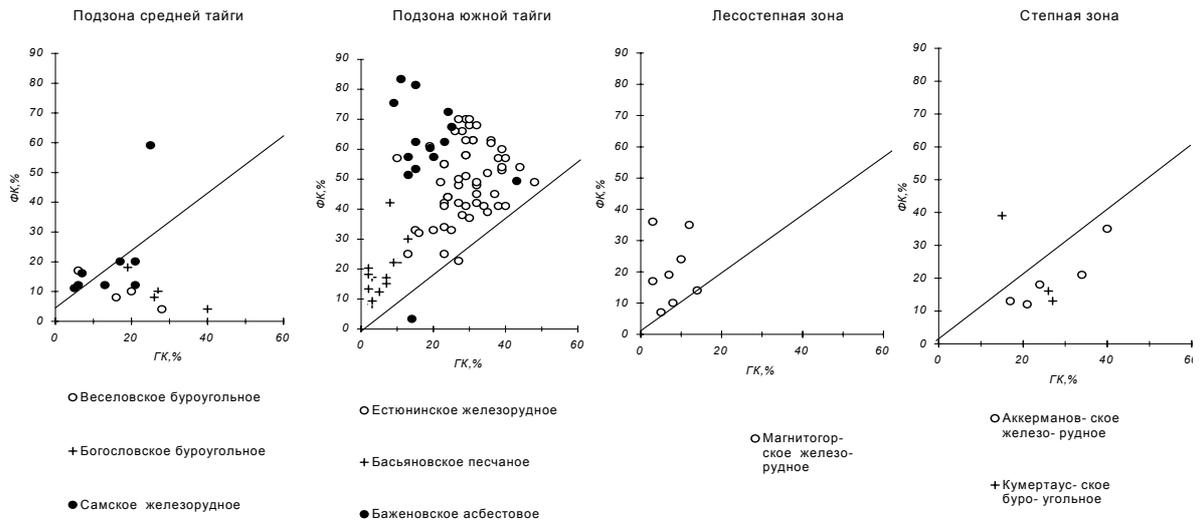


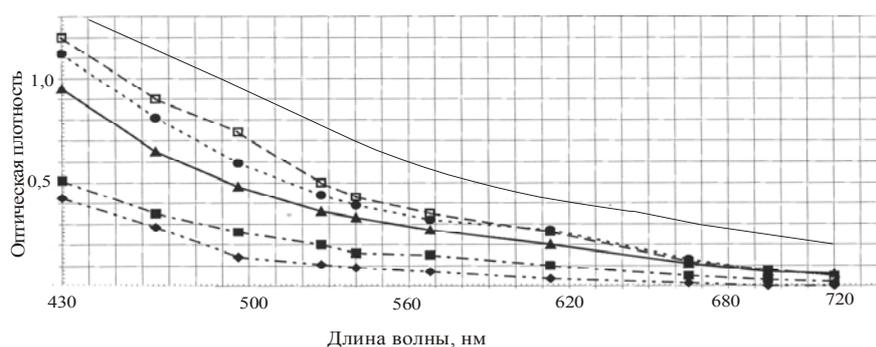
Рис. 5. Соотношение ГК/ФК разновозрастных почв в гумусовом горизонте А на отвалах разных месторождений (ГК и ФК, % к общему углероду)

Сравнение внутрипрофильного распределения ГК и ФК в разных почвенно-климатических зонах под разными растительными группировками и на разных почвообразующих породах показало, что в пределах первых 30–40 лет в почвах лесной и лесостепной зон преобладают ФК по всему профилю. У более старых почв (> 60 лет), формирующихся под сосняками с хорошо развитым травянистым ярусом, в верхней части профиля на уровне 0–5–7 см больше ГК. Глубже их содержание уменьшается, а ФК – возрастает. Исключения составляют почвы на песчаных породах, у которых даже у 150-летних почв в составе гумуса преобладают ФК. Небольшому преобладанию ГК над ФК в верхнем 2-см слое способствуют бобовые группировки. У более молодых почв (до 30–40 лет) ГК обнаруживаются до глубины 5–20 см, у более старых – до 40–60 см. Практически, в таежной зоне мы наблюдаем два типа распределения ГК и ФК по профилям почв. В самых молодых в составе гумуса преобладают ФК (первый тип) и это соответствует зональным особенностям профильного распределения этих кислот. В более старых почвах (до 200 лет) в верхней (до 20 см) части профиля наблюдается сдвиг в сторону преимущественного образования ГК, а глубже – по-прежнему ФК (второй тип).

Влияют на групповой состав гумуса и климатические условия. В степной зоне в пределах первых 30 лет на карбонатных породах в составе гумуса преобладают ГК над ФК (1,25–2), в подзоне южной тайги эти соотношения меньше. 100-летние почвы на легкосуглинистых породах в подзонах южной тайги ( $C_{ГК}:C_{ФК}$  0,46–,76) и лесостепи ( $C_{ГК}:C_{ФК}$  1,67–1,89) также различны по этой характеристике, т.е. за одно и то же время под однотипными растительными группировками (сосняки разнотравные) в лесостепной зоне образуется больше ГК, чем в таежной зоне, что еще раз свидетельствует о важности климатических условий для направления процессов гумификации.

**Фракционный состав гумуса почв.** На соотношение основных фракций ГК и ФК большое влияние оказывает состав почвообразующих пород. На породах бедных основаниями (песчаных, ожелезненных) нет или очень мало черных ГК, тогда как на карбонатных или магниезиальных – эта фракция преобладает. С увеличением времени почвообразования растет доля ГК «типовых молекул» (Дергачева, 1984) и проявляются типичные зональные особенности в соотношении фракций гуминовых и фульвокислот.

**Оптические плотности гуминовых кислот.** По сложившимся представлениям оптические плотности ГК характеризуют особенности строения их молекул, и более молодые в химическом отношении макромолекулы ГК оптически менее плотны, т.е. Е-величины ГК признаны хорошим диагностическим показателем строения ГК. Мы воспользовались этим показателем для характеристики разновозрастных почв на стадии онтогенеза (рис. 6). Из рисунка видно, что в целом с увеличением времени почвообразования оптические плотности ГК растут, но еще не достигают фоновых значений, т.е. в формировании структуры молекул ГК наблюдается свой период онтогенеза, не заканчивающийся в 200 годах. На Е-величины ГК ( $E^{ГК}$ ) оказывают влияние состав растительных группировок (бобовые > злаковые > лиственные > хвойные), изменение микро-рельефа (понижение > ровный участок > повышение), климатические условия (северная тайга < средняя тайга < южная тайга < лесостепь > степь), т.е. формирование системы гумусовых веществ зависит от основных ФП (Махонина, 1989).



**Рис.6.** Оптические плотности ГК-1 разновозрастных почв на отвалах железорудных месторождений под сосняками разнотравными, при концентрации ГК 0,136 мг/мл С в гумусовом горизонте А (подзона южной тайги)

—◆— 50 лет —■— 80 лет —▲— 80-100 лет —●— 100 лет —□— 150 лет ——— Фон

**6.4. Азотное состояние почв.** Отсыпанные в отвалы породы практически азота (N) не содержит (0,002 – 0,01%). Появление азота в почвах связано с поселением на них свободноживущих и находящихся в симбиозе с высшими растениями микроорганизмов. Определение потенциальной активности азотфиксации, по М.М Умарову (1982), показало, что в молодых почвах идет фиксация N свободноживущими микроорганизмами; уровень ее наиболее интенсивен в верхнем 0–2 см слое и резко (в 3–5 раз) уменьшается в глубь профиля. Азотфиксация идет как на участках не занятых высшими растениями, так и более интенсивно (в 4–10 раз) под ними. С возрастом активность азотфиксации возрастает в 3,7–4,8 раза, но то же время в 380 раз меньше, чем в ненарушенных почвах. В целом содержание N в молодых почвах еще не велико и

значительно меньше, чем в фоновых. В лесной зоне накопление N происходит, прежде всего, в подстилках, где оно практически соответствует фоновому (0,8–1,3%), а в гумусовом горизонте с колебаниями, зависящими от возраста почв (от 0,03 до 0,2%). Наилучшие условия для накопления азота создаются в лесостепной зоне. На север и юг от этой зоны количество этого элемента снижается в 1,5 – 2 раза. Отношение C/N, характеризующее обогащенность гумуса азотом, в сравнении с фоновыми почвами, в начале периода развития больше, но уже к 100–200 годам соответствует зональным. Запасы N в молодых почвах еще невелики (1,5–17 ц/га), в 2 – 20 раз меньше, чем в почвах соответствующих зон, а скорость накопления его в почве невелика (Махонина, Тихомирова, 1990; Махонина, 2003).

**6.5. Фосфатное состояние почв.** Валовое содержание фосфатов в породах отвалов колеблется в пределах 0,01–0,25% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, что согласуется с содержанием их в основных горных породах и почвах – 0,03–0,64% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (Войткевич и др., 1977; Гинзбург, 1981; Фирсова, 1977).

Количество доступных растениям форм фосфатов постепенно увеличивается во времени. Так, например, в ряду 3-15-24-53-летних почв под травянистыми группировками в гумусовом горизонте А количество P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> увеличивалось следующим образом: 6,3–12,5–19,0–30,6 мг/100 г почвы. Используемые растениями фосфаты после их отмирания накапливаются в верхних горизонтах, способствуя постепенному увеличению доли органических фосфатов. В возрастном ряду почв 3–7–12–18 лет на породах Магнитогорского железорудного месторождения содержание органических форм P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> постепенно увеличивалось в слое до 0–20 см 2,82→23,68→38,58→56,0%, достигая в конце фоновых значений. В процессе почвообразования за счет биогенного накопления P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, особенно в верхних горизонтах почв, растет его валовое содержание. Так, в 10-летней почве на месторождении талька в слоях 0–2, 2–7 и 7–20 см оно составляет 86–59–59 мг/100 г почвы, а через 35 лет – возрастает до 183–95–74 мг/100 г почвы (Махонина, 1989).

**6.6. Щелочно-кислотные условия почвообразования.** В результате процессов выветривания и образования гумусовых кислот в молодых почвах, формирующихся на разных почвообразующих породах, происходит постепенное подкисление всего почвенного профиля, но особенно сильно оно проявляется в его верхней части (рис.7).

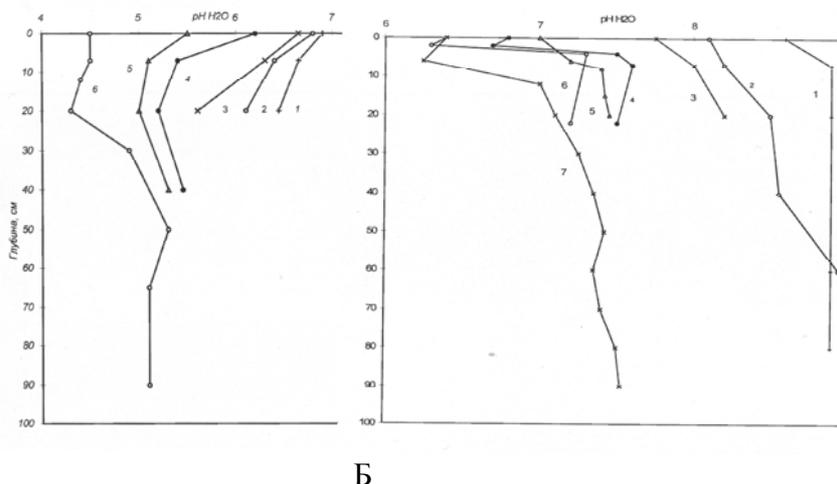


Рис. Профильный ход кривых pH H<sub>2</sub>O разновозрастных почв на отвалах: А – песчаных месторождений (возраст почв, лет: 1– 3; 2– 10; 3–16; 4–19; 5–25; 6– 100); Б – магнизиальных месторождений (возраст почв, лет: 1– 1; 2– 10; 3–15; 4–24; 5–30; 6– 42; 7–80)

С увеличением времени почвообразования увеличивается и степень подкисления. В ряду почв: 0–10→20–30→50–80→80–100 →100–200 лет на ожелезненных породах Кд по степени подкисления соответственно возрастам почв имеет величины: 1,82→ 2,24→ 5,42→ 13,72→ 44,03 при фоновом его значении – 204. У почв того же возраста на магнизиальных породах Кд образует следующий ряд: 1,84–3,23–13,87–30,25 при фоновом Кд –148. На карбонатных породах в возрастном ряду почв 0–10, 20–30 и 80–100 лет Кд меньше: 1,62–1,87–20,9 при фоновом – 120. Таким образом, за 200 лет почвообразования степень подкисления почв еще не достигла фоновых значений и, следовательно, щелочно-кислотная система находится на стадии развития.

**6.7. Емкость катионного обмена (ЕКО).** В молодых почвах ЕКО зависит от гранулометрического и минералогического состава, pH, содержания гумуса и др. (Махонина, Аверьянова, 1992). Так, с утяжелением гранулометрического состава в ряду: супесь →легкий суглинок→тяжелый суглинок →глины – ЕКО увеличивается по отношению к супеси в 2 – 2,7 – 5,7 раза. В хорошо дифференцированных по гранулометрическому составу профилях ЕКО изменяется в согласии с содержанием частиц < 0,01 мм. С увеличением содержания гумуса ЕКО растет, что объясняется намного большей ЕКО гумусовых кислот (в 10–30 раз) по сравнению с любыми минералами С увеличением возраста почв ЕКО растет (Махонина, 2003).

**6.8. Валовой состав почв.** Во всех почвенных профилях наблюдаются изменения в валовом содержании определенных элементов, которое соответствует распределению разных фракций гранулометрического состава. В частности, распределение кремния соответствует распределению фракций крупного и среднего песка, алюминия и железа – илистым частицам или фракции мелкой пыли. В профильном распределении кальция и магния не наблюдается связи с таковым какой-либо фракции. Возможно, эти элементы перемещаются по профилю в виде ионных растворов. На основе этих сравнений можно предполагать, что первоначальные изменения в валовом составе молодых почв в первую очередь могут быть связаны с перемещениями отдельных фракций мелкозема, которые происходят в процессе перемешивания и усадки пород после отсыпки отвалов. При этом слои с меньшим или большим содержанием разных элементов находятся на разной глубине. У более старых почв (старше 50 лет) резкая усадка пород уже закончилась и в более явном виде начинает проявляться действие биологического круговорота. Разница в возрасте 50- и 80-летних почв подтверждается и коэффициентами дифференциации, соответственно: для железа 0,73 – 0,66, для алюминия 0,69 – 0,49; для кальция 0,45 – 0,34; для магния 0,61 – 0,55. Принципиально такие изменения в валовом составе почв наблюдаются во всех природных зонах, хотя наименьшие – соответствуют степной зоне с ее непромываемым типом водного режима.

Зольный состав подстилок находится на стадии формирования, так как содержание элементов в них меньше, чем в фоновых подстилках (Махонина, 2003). С течением времени видна тенденция к приближению зольного состава к фоновым показателям.

**6.9. Групповой состав железа.** В породах отвалов железорудных и некоторых других месторождений резко повышено содержание валового железа (16–60%). Почвы, образующиеся на таких породах, могут быть отнесены, в соответствии с классификацией С.А. Зонна (1982), к ферраллитным и ферритным, не характерным для умеренно холодного (лесная зона) и теплого (степная зона) климата, т.е. почвы на ожелезненных породах отвалов представляют собой своеобразную группу, образующуюся в техногенных экосистемах. Согласно этому автору (Зонн, 1982), для каждой природной зоны и типа почв характерно определенное соотношение между разными формами железа. Результаты свидетельствуют об отсутствии полного соответствия по соотношению разных групп железа в почвах на отвалах – фоновым. Особенностью молодых почв на ожелезненных породах является меньшее, чем у фоновых почв, содержание аморфного железа (по Тамму). Так как его содержание считается показателем длительности процессов почвообразования в конкретных климатических условиях, то небольшое его количество в молодых почвах может быть объяснено именно малым временем почвообразования. С увеличением времени почвообразования общее содержание аморфных и связанных с органическим веществом почвы форм железа увеличивается, хотя его количество в почвах 100-200-летнего возраста еще не достигает фоновых значений. Кд по аморфному железу соответствует возрасту почв и может быть использован для выявления различий в возрасте почв при прочих близких условиях (Махонина, 2003).

**7. Концептуальная модель разновозрастных почв в период онтогенеза.** В таблицах 4-9 приведены сводные характеристики разновозрастных почв, формирующихся на разных почвообразующих породах и расположенных в разных климатических зонах Урала, по средним арифметическим значениям. В работе даны статистически обработанные материалы. Для краткости в таблицах названия месторождений обозначены символами добываемых элементов: Fe – железорудные месторождения; Mg – магнезиальные породы (асбест, тальк); Ca – карбонатные породы; H – нормальные, отвечающие среднему составу осадочных пород; Si – песчаные месторождения; C – углеродосодержащие отвалы (угольные месторождения); Ni – никелевые месторождения; Cu – медные месторождения; Al – месторождения огнеупорных глин.

Общая направленность почвообразования на начальных стадиях соответствует восстановлению зональных почв, несмотря на некоторое своеобразие протекания процесса, связанное с особенностями состава почвообразующих пород. Первые 200 лет почвы проходят самую раннюю стадию развития (онтогенеза), когда наблюдаемые небольшие количественные изменения еще не перешли в качественные, визуально легко заметные. Длительность этой стадии до конца еще не определена, не изучены последовательности проявления тех или иных процессов почвообразования в макроморфологическом облике почв. Однако, как ясно было из выше изложенного материала, дифференциация породы, т.е. формирование профиля как совокупности взаимосвязанных горизонтов начинается задолго до появления первых визуально определяемых признаков.

Данные показывают постепенность в формировании горизонта подстилки в лесной зоне и гумусовых горизонтов – во всех остальных условиях, постепенное увеличение содержания гумуса и азота, т.е. тех соединений, каковых не было в исходных породах. С увеличением времени почвообразования повсеместно происходит постепенное подкисление верхних горизонтов почв, формируются элювиальные и иллювиальные горизонты в лесной и лесостепной зонах, растет глубина подкисления всего почвенного профиля (табл. 4–9).

**Таблица 4.** Характеристика фоновой и разновозрастных почв на отвалах Первого Северного железорудного месторождения в подзоне северной тайги

| Показатели                                | 5–10 лет  | 20–30 лет | Фоновые почвы |
|---|-----------|-----------|---------------|
| Мощность A <sub>0</sub> , см              | нет       | 1         | 4 - 9         |
| Мощность A, см                            | 2         | 2         | 4 - 17        |
| Мощность A+B, см                          | 2         | 7         | 20 - 50       |
| % гумуса в гор., A                        | 0,55      | 1,27      | 6,30          |
| C <sub>ГК</sub> /C <sub>ФК</sub> в гор. A | не опр.   | 0,75      | 0,76          |
| E-величины ГК в гор. A.*                  | не опр.   | 6,05      | не опр.       |
| % азота в гор. A                          | 0,15      | 0,27      | 0,42          |
| Пределы рН <sub>H2O</sub> в профиле       | 6,15–7,58 | 4,75–7,85 | 3,4–4,3       |
| Степень подкисления, Кд**                 | 3,16      | 3,29      | весь профиль  |
| Глубина подкисления, см**                 | 20        | 20        | 80            |

\*Здесь и в других таблицах E-величины (E<sup>ГК</sup>) получены при 430 нм и 1 мг/мл C<sub>ГК</sub>

\*\*В последующих таблицах показатель Кд по степени подкисления будет обозначаться как Кдсп, глубина, на которую происходит подкисление – Гп, см.

**Таблица 5.** Характеристика фоновых почв в подзоне южной тайги

| Показатели*                               | Породы    |          |         |            |
|---|-----------|----------|---------|------------|
|   | Fe        | Mg       | Ca      | Нормальные |
| A <sub>0</sub> , см                       | 1-5       | 4-5      | Не опр. | 2-7        |
| A, см                                     | 8-18      | 5-10     | Не опр. | 6-15       |
| A+B, см                                   | 8-40      | 40       | Не опр. | 40-50      |
| % гумуса в гор. A                         | 3,63-9,86 | 3,5-11,5 | Не опр. | 6-16       |
| C <sub>ГК</sub> /C <sub>ФК</sub> в гор. A | 1,03      | 0,66     | Не опр. | 0,77       |
| E <sup>ГК</sup> в гор. A                  | 9,6       | Не опр.  | 13,9    | 18,9       |
| % N в гор. A                              | не опр.   | не опр.  | Не опр. | 0,44       |
| Пределы рН <sub>H2O</sub>                 | 4,5-7,0   | 4,3-6,6  | Не опр. | 4,3-7,0    |
| Кдсп                                      | 316       | 199,5    | Не опр. | 500,0      |
| ЕКО, Кд                                   | 0,41      | 0,21     | Не опр. | 0,18       |

\*Здесь и в последующих таблицах приводятся сокращенные названия показателей

**Таблица 6.** Характеристика фоновых и разновозрастных почв на отвалах разных месторождений в подзоне средней тайги

| Показатели почвы                         | 1–10 лет    |           | 20-30 лет |           | 40-50 лет | 80-100 лет | Фоновые     |
|--|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|-------------|
|  | Fe          | C         | Fe        | C         | Fe        | Fe         |             |
| A <sub>0</sub> , см                      | нет         | нет       | 1         | 2         | 2-3       | 4-6        | 4-9         |
| гор. A, см                               | 2           | 2         | 2         | 2         | 2         | 6-7        | 4-17        |
| A+B, см                                  | 2           | 7         | 2         | 20        | 7-10      | 20         | 20-50       |
| % гумуса в A                             | 0,40        | 0,94      | 1,59      | 3,02      | 3,27      | 3,51       | 6,13        |
| C <sub>ГК</sub> /C <sub>ФК</sub> в. A    | 0,34        | 0,61      | 0,53      | не опр.   | 0,40      | 0,32       | 0,76        |
| E <sup>ГК</sup> в A,                     | 5,98        | не опр.   | 8,83      | не опр.   | 7,50      | не опр.    | 10,50       |
| % азота в. A                             | 0,03        | 0,09      | 0,09      | 0,16      | не опр.   | 0,25       | 0,42        |
| Пределы рН <sub>KCl</sub> в профиле почв | 5,15 - 6,68 | 5,80–7,60 | не опр.   | не опр.   | не опр.   | не опр.    | 3,40 – 4,30 |
| Пределы рН <sub>H2O</sub> в профиле почв | не опр.     | не опр.   | 4,60-6,66 | 4,41-5,78 | 5,50–6,95 | 5,80–6,71  | 5,00 – 7,20 |
| Кдсп                                     | 7,54        | 3,56      | 2,08      | 5,71      | 2,48      | 5,49       | не опр.     |
| Гп, см                                   | > 20        | 2-7       | 20        | 20        | 30        | 40         | 80          |
| ЕКО, Кд                                  | не опр.     | не опр.   | не опр.   | не опр.   | 0,62      | 0,46       | 0,32        |

**Таблица 7.** Характеристика разновозрастных почв на отвалах разных месторождений в подзоне южной тайги

| Показатели почвы                     | 1–10-лет |      |      |         | 20–30-лет |      |         |      | 40-80-лет |      |
|--------------------------------------|----------|------|------|---------|-----------|------|---------|------|-----------|------|
|                                      | Mg       | H    | Fe   | Ca      | Fe        | Mg   | Ca      | H    | Mg        | H    |
| A <sub>0</sub> , см                  | нет      | нет  | нет  | нет     | 2         | 2    | 2-3     | 2    | 2-4       | 2    |
| A, см                                | нет      | нет  | нет  | нет     | 2         | 2    | 4-7     | 2    | 2         | 2    |
| A+B, см                              | 2        | 2    | 2    | 2       | 12        | 10   | 20      | 7    | 2-7       | 6    |
| % гумуса в A                         | 0,82     | 0,43 | 0,95 | 1,76    | 1,84      | 1,46 | 3,02    | 1,35 | 1,75      | 3,53 |
| C <sub>ГК</sub> /C <sub>ФК</sub> в A | 0,17     | 0,36 | 0,65 | 0,42    | 0,55      | 0,33 | 0,92    | 0,43 | 0,61      | 0,80 |
| E <sup>ГК</sup> в. A                 | 1,26     | 5,46 | 6,43 | не опр. | 6,92      | 3,14 | не опр. | 6,54 | 3,52      | 5,53 |

|                           |        |      |      |      |      |        |      |      |        |         |
|---------------------------|--------|------|------|------|------|--------|------|------|--------|---------|
| % N в А                   | не опр | 0,1  | 0,08 | 0,16 | 0,12 | не опр | 0,24 | 0,13 | не опр | 0,24    |
| Пределы рН <sub>H2O</sub> | 7,31   | 6,10 | 6,65 | 7,0- | 5,88 | 7,38   | 7,30 | 6,44 | 6,81   | не опр. |
|                           | -8,9   | -6,9 | -7,9 | 7,8  | -6,8 | -8,5   | -7,9 | -6,9 | -8,1   |         |
| Кд                        | 1,84   | 1,93 | 1,82 | 1,62 | 2,24 | 3,23   | 1,87 | 3,64 | 13,8   | 5,33    |
| Гп, см                    | 7      | 7    | 7    | 7    | 20   | 20     | 20   | 20   | 40     | 40      |
| ЕКО, Кд                   | 0,84   | 0,85 | 0,91 | 0,89 | 0,87 | 0,85   | 1,19 | 0,87 | 0,84   | 0,7     |

Продолжение табл. 7

| Показатели почвы                     | 40 – 80 лет |        | 80 – 100 лет |        |      | 100 - 200-летние почвы |      |       |        |        |
|--------------------------------------|-------------|--------|--------------|--------|------|------------------------|------|-------|--------|--------|
|                                      | Fe          | Ca     | C            | Mg     | N    | Fe                     | Ca   | Fe    | Si     | H      |
| A <sub>0</sub> , см                  | 4           | 4-6    | 1-2          | 4-6    | 3-5  | 4-5                    | 2-8  | 4-6   | 5-6    | 4-6    |
| A, см                                | 4           | 2-10   | -            | 4-5    | 4-6  | 4-5                    | 5-9  | 5-9   | 5-6    | 5-9    |
| A+B, см                              | 10-12       | 15-36  | не опр       | 15-35  | 13   | 18-20                  | 5-18 | 20-22 | 9-13   | 10-20  |
| % гумуса                             | 2,58        | 4,73   | не опр       | 3,98   | 5,09 | 3,91                   | 3,31 | 4,65  | 2,15   | 6,35   |
| C <sub>TK</sub> :C <sub>фк</sub> в А | 0,51        | 1,19   | не опр       | 1,1    | 0,89 | 0,44                   | 0,67 | 0,52  | 0,42   | 1,12   |
| E <sup>TK</sup> в гор. А             | 3,63        | 2,67   | не опр       | не опр | 7,59 | 5,0                    | 8,67 | 4,86  | 1,5    | 8,3    |
| % N в А                              | 0,16        | 0,34   | не опр       | 0,32   | 0,27 | 0,21                   | 0,10 | 0,27  | 0,11   | 0,30   |
| Пределы рН <sub>H2O</sub>            | 4,3-        | 7,3-   | 2,3-         | 6,3-   | 5,3- | 4,4-                   | 5,59 | 4,0-  | 4,07   | не опр |
|                                      | 6,4         | 7,96   | 3,25         | 7,78   | 6,2  | 6,0                    | -7,6 | 7,0   | -6,3   |        |
| Кдсп                                 | 5,42        | 6,76   | 2,25         | 30,2   | 2,7  | 13,7                   | 100  | 44,0  | 5,7    | 6,8    |
| Гп, см                               | 40-50       | 40     | >            | >      | до   | до                     | до   | >     | до     | >      |
|                                      |             |        | 120          | 20     | 40   | 60                     | 60   | 60    | 120    | 40     |
| ЕКО, Кд                              | 0,77        | не опр | не опр       | 0,74   | 0,66 | 0,74                   | 0,80 | 0,64  | не опр | 0,53   |

Таблица 8 Характеристика фоновых и разновозрастных почв на отвалах разных месторождений в лесостепной зоне

| Показатели почвы                     | 1 – 10 лет |        |        | 10-20 лет | 20-30 лет | 30 лет | 50-70 лет | 100-200 лет | Фоновые   |
|--------------------------------------|------------|--------|--------|-----------|-----------|--------|-----------|-------------|-----------|
|                                      | Fe         | Al     | C      | C         | Al        | Fe     | Al        | Si          |           |
| A <sub>0</sub> , см                  | нет        | нет    | нет    | нет       | нет       | нет    | 2-3       | нет         | -         |
| A, см                                | 2          | 2      | 2      | 2         | 2         | 2      | 2         | 6           | 30-45     |
| A+B, см                              | 2          | 2      | 2      | 2         | 2         | 7      | 7         | 6           | 60        |
| % гумуса                             | 1,42       | 0,95   | 5,03   | 8,55      | 1,52      | 4,06   | 9,46      | 1,67        | 9-16      |
| C <sub>TK</sub> :C <sub>фк</sub> в А | 0,52       | 0,22   | 0,71   | 0,91      | 0,15      | 0,57   | 0,14      | 1,14        | 1,90      |
| E <sup>TK</sup> в А                  | 12,1       | 1,62   | не опр | не опр.   | 1,00      | 17,4   | 6,62      | 3,47        | не опр    |
| % N в А                              | 0,17       | 0,12   | 0,12   | 0,27      | 0,17      | 0,41   | 0,29      | 0,36        | 0,25-0,35 |
| Пределы рН <sub>H2O</sub>            | 7,4-       | 6,8-   | 7,0-   | 6,6-      | 7,96-     | 7,5-   | 6,63-     | 6,4-        | 7,60-     |
|                                      | 7,59       | 8,30   | 8,10   | 7,80      | 8,6       | 7,98   | 8,6       | 7,51        | 7,8       |
| Кдсп                                 | 1,56       | 2,21   | 2,44   | 3,93      | 1,87      | 1,69   | 5,25      | 6,99        | не опр    |
| Гп, см                               | 2          | 2      | 7-20   | 7-20      | 7-20      | 7-20   | до 20     | до 30       | не опр    |
| ЕКО, Кд                              | 1,57       | не опр | не опр | не опр.   | не опр.   | не опр | 0,87      | 0,18        | не опр    |

Таблица 9. Характеристика 1–30-летних почв на отвалах разных месторождений в степной зоне

| Показатели почв                      | 1 – 10 лет |        |        |        |      | 10-20 лет | 20-30лет |      |        | Фон    |
|--------------------------------------|------------|--------|--------|--------|------|-----------|----------|------|--------|--------|
|                                      | C          | Ni     | Al     | Cu     | Fe   | Ni        | Cu       | Fe   | Al     |        |
| A, см                                | 2          | 2      | 2      | 2      | 2    | 2         | 2        | 2    | 2      | 55     |
| A+B, см                              | 2          | 2      | 2      | 2      | 7    | 2         | 20       | 20   | 2-7    | не опр |
| % гумуса                             | 1,83       | 0,71   | 0,34   | 0,59   | 0,73 | 0,11      | 2,89     | 2,41 | 0,7    | 4,2    |
| C <sub>TK</sub> :C <sub>фк</sub> в А | 1,37       | не опр | не опр | не опр | 1,09 | не опр    | 1,53     | 1,47 | не опр | 1,44   |
| E <sup>TK</sup> в А                  | не опр     | не опр | не опр | не опр | 1,43 | не опр    | 4,19     | 2,10 | не опр | 7,62   |
| % N в А                              | 0,14       | 0,06   | 0,02   | 0,13   | 0,05 | 0,04      | 0,19     | 0,11 | 0,10   | 0,33   |

|                              |      |              |             |              |              |              |              |              |             |        |
|------------------------------|------|--------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------|--------|
| Пределы<br>рН <sub>H2O</sub> | -    | 6,85<br>-7,7 | 7,4-<br>8,5 | 7,9-<br>8,47 | 6,55<br>-7,7 | 7,65<br>-7,7 | 7,4-<br>7,72 | 6,15<br>-7,7 | 7,3-<br>7,6 | 8,1    |
| Кдсп                         | 5,03 | 1,75         | 1,59        | 3,22         | 3,75         | 1,08         | 5,33         | 3,33         | 1,34        | не опр |
| Гп, см                       | 7    | 2            | 7           | 20           | 2-7          | 2            | 2-20         | 2-7          | 2-20        | не опр |

В целом все изменения, происходящие в почвенных профилях, не достигают по характеристикам значений, наблюдаемых в фоновых почвах, т.е. за 200 лет почвообразования ни один из изучаемых показателей не достиг степени проявлений, характерных для полноразвитых почв.

Таким образом, даже 200-летние почвы находятся еще на стадии развития (онтогенеза).

К особенностям свойств почв на стадии онтогенеза можно отнести не только меньшее содержание гумуса, но и иное строение макромолекул ГК. Судя по их оптическим плотностям, в макромолекулах ГК менее выражено ядро и более развиты боковые цепи, т.е. ГК развивающихся почв менее конденсированные (зрелые) по сравнению с фоновыми ГК, близки к ФК и, по-видимому, могут считаться предшественниками ГК, на что указывала ранее М.М. Кононова (1963).

В составе формирующихся подстилок содержится меньше зольных элементов в сравнении с таковым зрелых почв, что также свидетельствует о том, что они находятся еще на стадии развития. В наших исследованиях мы специально ограничивались изучением почвообразования на выровненных поверхностях отвалов (автохтонный тренд педолитогенеза по В.О. Таргульяну, 1982), чтобы исключить удаление твердого материала из почв или его привнос. По предложенной В.О. Таргульяном общей модели саморазвития почв, изучаемые нами 0 – 200-летние почвы находятся над предпочвеной стадии, когда биота уже есть, но почвенный профиль еще не обособился, (чему соответствуют изученные нами почвы 0 – 20 лет) и стадии первичных и юных почв, развивающихся под первичными сукцессиями биоты, когда происходит начало обособления почвенных горизонтов и начало роста почвы вглубь (чему соответствуют — 20–40-летние). Более старые почвы (более 40–50 лет) можно отнести к стадии развивающихся почв, с ростом почвы вглубь и дифференциацией на горизонты. Однако рост почвы вглубь и дифференциация профиля на горизонты наблюдалась и выделялась нами в основном по данным химических анализов, поскольку морфологическая дифференциация на ранних стадиях онтогенеза почв отсутствует. Дифференциация профиля на генетические горизонты по морфологии была введена лишь по сформировавшемуся горизонту подстилки и гумусовому горизонту А, начиная с возраста 50 лет. По С.А. Захарову (1931) изученные нами почвы относятся к первой стадии развития.

Таким образом, развитие почвенного профиля в техногенных ландшафтах происходит очень медленно, поскольку даже 200-летние почвы относятся к слабообразованным.

Использованный нами метод Кд для выявления процессов развития почв, который позволил выявить на количественном уровне степень дифференциации почвенного профиля развивающихся молодых почв, был применен в дальнейшем при изучении более старых почв (400–5000 лет), сформированных на дневных поверхностях земляных археологических памятников (Махонина, 1995, 1997, 2001; Коркина, Махонина, 2002; Korkina, Makhonina, Bolshakow, 2001; Махонина, Коркина, 2002).

Полученные результаты показали информативность этого метода при изучении подзолистых песчаных почв, сформировавшихся на оборонительных сооружениях разновременных археологических памятников в подзоне северной и средней тайги Западной Сибири. С увеличением возраста почв Кд по отдельным показателям уменьшаются. Уменьшение Кд происходит по экспоненциальной кривой; при этом разные почвенные показатели Кд достигают фоновых значений за разное время. Так, например, более 5000 лет требуется для того, чтобы степень дифференциации (Кд) подзолистых почв по валовому железу и илу стала близкой таковой в фоновых подзолистых почвах. Значения Кд по валовому кальцию, фосфору и алюминию приближаются к фоновым через 2500–3000 лет, Кд по аморфному железу (согласно Тамму) становится близок фоновым значениям через 2500 лет. Оптические плотности ГК-1 и ГК-2 достигли фоновых величин через 1,5 тысячи лет в подзолистых почвах под сосняками. Под ельниками эти показатели меньше в горизонте А2 даже в почвах, имеющих возраст 3000 лет. Это еще раз подтверждает, что развитие почвенного тела – процесс очень сложный и длительный, и исследованные нами почвы, имеющие возраст до 200 лет, находятся на самой ранней стадии онтогенеза. Для получения более полного представления о закономерностях формирования почвенных профилей необходимо продолжать это направление исследования.

## ВЫВОДЫ

1. Разработана концепция развития почвенного профиля и изменения его во времени в первые 200 лет почвообразования на породах разного химического состава в техногенных экосистемах на примере лесных, лесостепных и степных условий Урала.

2. Особенностью пород в отвалах разрабатываемых месторождений на Урале является их очень сильная каменистость, делающая отвалы малопригодными по физическим свойствам для сельскохозяйственно-

го использования и обогащенность пород добываемыми химическими элементами и их геохимическими спутниками. Повышенные количества элементов и особенно тяжелых металлов приводят к избыточному накоплению их растениями (выше ПДК), что делает растения не пригодными по санитарно-гигиеническим нормам для использования домашними животными и человеком. В связи с этим при биологической рекультивации на отвалах рационально выращивать лишь технические культуры.

3. Проявление всех процессов почвообразования выявляется только по признакам педогенеза, которые, как правило, морфологически не выражены или выражены слабо, но четко фиксируются аналитически.

4. С поселением живых организмов на отвалах начинается постепенное формирование почвенного покрова, особенности которого определяются видовым составом растений, мозаичностью их распределения, возрастом, стадией развития фитоценозов. Так же как и в ненарушенных почвах, на состояние почвенного покрова оказывают влияние рельеф, состав горных пород, время почвообразования. Определяющими являются климатические условия. В целом направление первичного почвообразования на отвалах соответствует зональному. Начальные стадии постлитогенного формирования ныне существующих зрелых зональных ненарушенных почв были аналогичны тем, которые проходят при первичном почвообразовании почвы на соответствующих породах.

5. С увеличением времени почвообразования от нуля-момента до 200 лет постепенно растет мощность подстилки (достигая к 200 годам фоновых величин), возрастает мощность гумусового горизонта (хотя он и не достигает фоновых значений), а также усиливается дифференциация почвенного профиля, которая при этом выявляется только чувствительными химическими методами анализа.

6. Для обнаружения характера перемещения веществ по почвенному профилю во времени и выявления степени выраженности этого процесса впервые были использованы одновременно два принципа: монофакторности (сравнение почв близких по всем показателям, кроме изучаемого), а также сравнений и аналогий (сравнение формирующихся и зональных почвенных профилей с определением степени их сходства по коэффициентам дифференциации).

7. В условиях лесной и лесостепной зоны с их промывным и периодически промывным типами водного режима ясно выражено начало формирования элювиальных и иллювиальных горизонтов, что фиксируется по S-образной форме профильного распределения илистой фракции и фракции физической глины, профильного хода кривой ЕКО, величин рН и т.д. Степень дифференциации профиля, фиксируемая по Кд отдельных показателей, постепенно увеличивается, не достигая, однако, по Кд фоновых ненарушенных почв.

8. В процессе первоначального развития (онтогенеза) почв наблюдается изменение во времени частных почвенных профилей: гумусового, щелочно-кислотного, текстурного и др. В почвах на всех почвообразующих породах происходит постепенное подкисление почвенного профиля, особенно в верхней его части, где сосредоточена основная масса органического вещества. Степень подкисления зависит от первоначальной реакции среды почвообразующих пород. С увеличением времени почвообразования достаточно быстро происходит накопление азота, обменного калия и доступных растениям форм  $P_2O_5$  в верхнем горизонте, что связано как с биогенным накоплением этих элементов, так и с процессами разрушения минеральных соединений почвы.

9. Групповой состав гумуса, его профильное распределение и соотношение ГК и ФК зависят от видового состава растительных группировок (под травянистыми, особенно бобовыми, больше образуется гуминовых кислот), в целом же – соответствуют зональным особенностям. На фракционный состав гумуса большое влияние оказывает состав почвообразующих пород. В лесной зоне доля ГК-1 больше на железистых, магниезиальных, песчаных породах и меньше – на карбонатных. В степной зоне на всех породах преобладают ГК фракции 2, что характерно и для зрелых почв.

11. Макромолекулы гуминовых кислот молодых почв, формирующихся на ранних стадиях почвообразования (до 200 лет), в химическом отношении являются менее «зрелыми» (менее конденсированными) по сравнению с фоновыми, что свидетельствует о существовании периода развития в системе гумусовых веществ, не закончившегося к 200 годам почвообразования.

12. В зольном составе подстилок отражаются особенности химического состава почвообразующих пород, а также существует период развития (онтогенеза) в его формировании.

13. В групповом составе железа на разных отвалах доля аморфных форм незначительна, постепенно растет с увеличением времени почвообразования и в монофакторных хронорядках может быть использована для сравнительной оценки почв по возрасту.

14. Обоснована возможность применения методологических подходов и методических приемов при анализе как изменений почв при первичном становлении почвенного профиля, так и исследовании хронорядов почв большего абсолютного возраста (на примере почв, формирующихся на точно датированных поверхностях археологических памятников возрастом от 400 до 5000 лет).

## Список основных работ по теме диссертации

### Монографии:

1. Махонина Г.И. Химический состав растений на промышленных отвалах Урала. - Свердловск: Изд-во Уральского университета, 1987. – 177 с.
2. Махонина Г.И. (соавтор) Экология и рекультивация техногенных ландшафтов. - Новосибирск: Изд-во Наука. Сиб. отд-ние, 1992. – 305 с.
3. Махонина Г.И., Коркина И.Н. Формирование подзолистых почв на археологических памятниках в Западной Сибири. – Екатеринбург: Академкнига, 2002. – 264 с.
4. Махонина Г.И. Экологические аспекты почвообразования техногенных экосистем Урала. - Екатеринбург: Изд-во Уральского университета, 2003. – 356 с.

### Научные статьи:

1. Колесников Б.П., Пикалова Г.М., Махонина Г.И., Чибрик Т.С., Левит С.Я. Рекультивация на Урале // Разработка способов рекультивации ландшафта. - Бургас; Солнечный берег, 1973. - С. 88-93.
2. Махонина Г.И. Состав гумуса почв, образующихся на бурогольных отвалах при естественном зарастании // Проблемы рекультивации земель в СССР. - Новосибирск, 1974. - С. 205-208.
3. Махонина Г.И., Чибрик Т.С. Агрохимическая и геоботаническая характеристика гидроотвалов Челябинского бурогольного бассейна // Растения и промышленная среда. - Свердловск, 1974. - С. 127-137.
4. Махонина Г.И., Чибрик Т.С. Начальные этапы почвообразования на отвалах Кумертаусского бурогольного разреза при естественном зарастании растительностью // Растения и промышленная среда. - Свердловск, 1974. - С. 116-126.
5. Махонина Г.И., Чибрик Т.С. Естественное восстановление и вопросы рекультивации отвалов месторождений огнеупорных глин Южного Урала // Рекультивация земель, нарушенных при добыче полезных ископаемых: Тез. докл. координ. совещ. - Тарту, 1975. - С. 158-163.
6. Колесников Б.П., Пикалова П.М., Чибрик Т.С., Махонина Г.И., Шилова И.И. Исследования по рекультивации техногенных ландшафтов промышленных отвалов на Урале // Рекультивация ландшафтов, нарушенных промышленной деятельностью. Докл. VI Международ. симпоз. - М., 1976. - С. 17-23.
7. Колесников Б.П., Махонина Г.И., Чибрик Т.С. Естественное формирование почвенного и растительного покровов и вопросы рекультивации Челябинского угольного бассейна // Растения и промышленная среда. - Свердловск, 1976. - С. 70-123.
8. Колесников Б.П., Пикалова П.М., Чибрик Т.С., Махонина Г.И. Исследования по рекультивации промышленных отвалов на Урале в девятой пятилетке // Растения и промышленная среда. - Свердловск, 1976. - С. 3-9.
9. Махонина Г.И. Первичные стадии почвообразования на промышленных отвалах Урала // Освоение нарушенных земель. - М., 1976. - С. 44-56.
10. Махонина Г.И. Химический состав растений, выросших на промышленных отвалах Урала // Материалы по экологии и физиологии растений уральской флоры. - Свердловск, 1976. - С. 140-146.
11. Колесников Б.П., Махонина Г.И., Чибрик Т.С. Естественное формирование почвенного и растительного покровов на отвалах Челябинского бурогольного бассейна // Растения и промышленная среда. – Свердловск, 1976. – С. 70-122.
12. Махонина Г.И., Чибрик Т.С., Ужегова И.А. Процессы естественного восстановления почвенного и растительного покрова на отвалах Магнитогорского железорудного месторождения // Освоения нарушенных земель. - М., 1976. - С. 27-43.
13. Махонина Г.И., Чибрик Т.С., Ужегова И.А. Процессы естественного восстановления почвенного и растительного покровов на отвалах Аккермановского железорудного месторождения: (Степная зона Зауралья) // Растения и промышленная среда. - Свердловск, 1976. - Вып. 4. - С. 132-143.
14. Махонина Г.И., Стецюра Н.А. К вопросу о методах определения подвижных форм фосфора в золе отвалов тепловых электростанций Урала // Растения и промышленная среда. - Свердловск, 1976. - С. 47-55.
15. Махонина Г.И. Начальные процессы почвообразования на промышленных отвалах Урала // Размещение производительных сил Урала. Межвуз. сб. - Свердловск, 1977. - С. 86-90.
16. Махонина Г.И., Чибрик Т.С. К характеристике начальных этапов почвообразования при естественном зарастании отвалов Веселовского бурогольного месторождения // Растения и промышленная среда. - Свердловск, 1978. - С.72-83.
17. Махонина Г.И., Чибрик Т.С. Агрохимическая и геоботаническая характеристика терриконов угольных шахт Урала // Растения и промышленная среда. - Свердловск, 1978. Вып. 5. - С. 93-125.
18. Махонина Г.И. Начальные процессы почвообразования на отвалах Баженовского месторождения асбеста при их самозарастании // Растения и промышленная среда. - Свердловск, 1979. - С. 82-101.
19. Махонина Г.И. Начальные процессы почвообразования на породных отвалах Липовского месторождения никеля // Почвообразование и техногенных ландшафтах. - Новосибирск, 1979. - С. 123-139.
20. Махонина Г.И., Ахметьянова Л.Т. Минеральный состав растений, выросших на золоотвалах тепловых электростанций Урала // Растения и промышленная среда. - Свердловск, 1979. - Вып. 6. - С. 73-81.
21. Махонина Г.И. Начальные процессы почвообразования на отвалах Верхнеуфалейского никелевого месторождения // Растения и промышленная среда. - Свердловск, 1980. - С. 101-110.
22. Махонина Г.И., Галкина Л.М. Химический состав растений выросших на промышленных отвалах трех железорудных месторождений Урала // Растения и промышленная среда. - Свердловск, 1980. - С. 116-130.

23. Махонина Г.И. Химический состав травянистых растений на отвалах железорудных месторождений Урала // Почвообразование в антропогенных условиях. - Свердловск, 1981. - С. 47-59.
24. Ужегова И.А., Махонина Г.И. Начальные процессы почвообразования на отвалах Полуночного и Высокогорского железорудных месторождений // Почвообразование в антропогенных условиях. - Свердловск, 1981. - С. 60-70.
25. Махонина Г.И., Ужегова И.А., Катаева В.Н. Формирование растительного и почвенного покровов на отвалах Самского и Галкинского месторождений бурых железняков // Биогеоэкологические исследования на Урале. - Свердловск, 1982. - С. 152-170.
26. Ужегова И.А., Махонина Г.И. Особенности накопления гумуса и азота на отвалах железорудных месторождений в разных почвенно-климатических зонах Урала // Биогеоэкологические исследования на Урале. - Свердловск, 1982. - С. 171-186.
27. Ужегова И.А., Махонина Г.И. Накопление гумуса на отвалах железорудных месторождений Урала // Охрана окружающей среды в районах с интенсивно развивающейся промышленностью: Тез. докл. Всесоюз. конф. - Кемерово, 1982. - С. 69-70.
28. Ужегова И.А., Махонина Г.И. Валовой состав почв, формирующихся на отвалах железорудных месторождений Урала // Рекультивация земель в СССР: Тез. докл. Всесоюз. науч.-техн. конф. - Москва, сент. 1982: В 2 т. - М., 1982. Т. 2. - С. 73-75.
29. Ужегова И.А., Махонина Г.И. Начальные процессы почвообразования на отвалах Первоуральского месторождения железных руд // Почвоведение. 1984. № 11. - С. 14-21.
30. Махонина Г.И. Азотфиксация как диагностический показатель биологического состояния молодых почв техногенных экосистем Урала // Микробиоценозы почв при антропогенном воздействии. - Новосибирск, 1985. - С. 21-28.
31. Махонина Г.И. Химический состав кормовых трав на рекультивированных отвалах Веселовско-Богословского бурогольного месторождения // Растения и промышленная среда. - Свердловск, 1985. - С. 81-91.
32. Махонина Г.И., Данилов В.Н., Еремкина Т.В., Исмуханова Г.Н., Секретова Н.Н. Биологическая активность пород на рекультивированных отвалах Веселовско-Богословского бурогольного месторождения и золоотвала Верхне-Тагильской ГРЭС // Растения и промышленная среда. - Свердловск, 1985. - С. 70-80.
33. Махонина Г.И., Ефремова Н.С. Химический состав растений на отвалах Кизеловского угольного месторождения // Структура и динамика биогеоценозов Урала. - Свердловск, 1985. - С. 132-143.
34. Махонина Г.И., Ужегова И.А. Восстановление растительного и почвенного покрова на промышленных отвалах // Биологические проблемы Севера: Тез. докл. XI Всесоюз. симпозиум. - Якутск, 1986. - С. 93-94.
35. Махонина Г.И. Тяжелые металлы и биологическая рекультивация промышленных отвалов Урала // Тяжелые металлы в окружающей среде и охрана природы: Тез. докл. 2-й Всесоюз. конф. - М., 1987. - С. 122-123.
36. Махонина Г.И. Почвообразование в техногенных ландшафтах Урала // Экологическая кооперация: Информ. бюл. по пробл. III: «Охрана экосистем (биогеоценозов) и ландшафта». - Братислава, 1989. - Вып. 3-4. - С. 73.
37. Махонина Г.И. Фосфатное состояние молодых почв на промышленных отвалах Урала // Растения и промышленная среда. - Свердловск, 1989. - С. 81-86.
38. Махонина Г.И. Почвообразование в техногенных ландшафтах Урала // Разработка способов рекультивации ландшафтов, нарушенных промышленной деятельностью: Сб. докл. науч. семинара в рамках темы III: З. СЭВ. - Копенгаген, 1989. - С. 161-176.
39. Махонина Г.И., Чибрик Т.С., Левит С.Я., Пасынкова М.В., Терехова Э.Б., Пикалова Г.М., Шилова И.И. Основные итоги и задачи биологической рекультивации нарушенных земель на Урале // Тез. докл. VIII Всесоюз. Съезда почвоведов, Новосибирск, 14-18 авг. 1989 г. - Новосибирск, 1989. - Кн. 6. - С. 190-195.
40. Махонина Г.И. Скорость гумусонакопления на самозарастающих отвалах Урала // Растения и промышленная среда. - Свердловск, 1990. - С. 22-33.
41. Махонина Г.И., Тихомирова Е.Б. Азот в почвах техногенных экосистем Урала // Растения и промышленная среда. - Свердловск, 1990. - С. 34-44.
42. Махонина Г.И. Формирование системы гумусовых веществ у молодых почв техногенных экосистем Урала // Растения и промышленная среда. - Екатеринбург, 1992. - С. 101-111.
43. Махонина Г.И., Аверьянова Л.И. Катионообменная способность молодых почв в техногенных ландшафтах Урала // Растения и промышленная среда. - Екатеринбург, 1992. - С. 112-119.
44. Махонина Г.И. К вопросу о восстановлении почвенного покрова на оборонительных сооружениях древних городищ // Экологические проблемы земледелия Среднего Урала. - Екатеринбург, 1995. - С. 88-98.
45. Махонина Г.И. Почвообразование в техногенных экосистемах Урала // Биологическая рекультивация нарушенных земель: Тез. докл. Междунар. совещ., 26-29 авг. 1996 г. - Екатеринбург, 1996. - С. 103-104.
46. Махонина Г.И. Оценка особенностей элементного химического состава растительности в техногенных ландшафтах Урала // Биологическая рекультивация нарушенных земель: Тез. докл. Междунар. совещ., 26-29 авг. 1996. - Екатеринбург, 1996. - С. 102-103.
47. Махонина Г.И. Почвы // Культура зауральских скотоводов на рубеже эр: Гаевский могильник Саргатской общности: Антропологическое исследование. - Екатеринбург, 1997. - С. 126-129.
48. Махонина Г.И. Почвообразование в антропогенно-преобразованных ландшафтах Западной Сибири // Проблемы антропогенного почвообразования: Тез. докл. Междунар. конф., 16-21 июня 1997. - М., 1997. - С. 125-127.
49. Махонина Г.И. Почвообразование в техногенных экосистемах Урала // Проблемы антропогенного почвообразования: Тез. докл. Междунар. конф., 16-21 июня 1997 г. - М., 1997. - С. 284-287.
50. Махонина Г.И. Почвы на Гаевских курганах // Экологические исследования на Урале. - Екатеринбург, 1997. - С. 56-63.

51. Махонина Г.И. Формирование и состав лесных подстилок сосняков на промышленных отвалах южной тайги Урала // Экологические исследования на Урале. – Екатеринбург, 1997. – С. 45-55.

52. Чибрик Т.С., Махонина Г.И., Радченко Т.А., Лукина Н.В., Филимонова Е.И., Глазырина М.А., Пасынкова М.В. Экологические основы и методы создания устойчивых и продуктивных биогеоценозов (экосистем) на нарушенных промышленностью землях // Результаты научных работ, полученные за 2001 год. Аннотационные отчеты. Региональный конкурс. – РФФИ «Урал-2001». – С. 242-244.

53. Махонина Г.И., Коркина И.Н. Скорость восстановления почвенного покрова на антропогенно-нарушенных землях (на примере археологических памятников Западной Сибири). – Экология, 2001. - № 1. – С. 14-19.

54. Чибрик Т.С., Махонина Г.И., Радченко Т.А., Лукина М.В., Филимонова Е.И., Глазырина М.А. Экологические основы и методы создания устойчивых и продуктивных биогеоценозов (экосистем) на нарушенных промышленностью землях // Результаты научных работ, полученные за 2002 год. Аннотационные отчеты. Региональный конкурс. - РФФИ «Урал» Свердловская область. – С. 380-382.

55. Махонина Г.И., Коркина И.Н. Развитие подзолистых почв на археологических памятниках в подзоне средней тайги Западной Сибири // Почвоведение, 2002. - № 8. – С. 917-928.

56. Махонина Г.И. Почвы на археологических памятниках Барсовой горы // Барсова гора. – Сургут, 2002. – С. 152-158.

57. Махонина Г.И. Экологические аспекты почвообразования в техногенных экосистемах Урала // Известия Уральского государственного университета. – Екатеринбург, 2002. - № 23. – С. 145-153.

58. Махонина Г.И. Свойства пород промышленных отвалов Урала и их пригодность для биологической рекультивации // Биологическая рекультивация нарушенных земель. Материалы Международного совещания. Екатеринбург, 3-7 июня 2002. – Екатеринбург, УрО РАН, 2003. – С. 311-323.

59. Махонина Г.И. Оценка пригодности пород отвалов разных месторождений Урала для биологической рекультивации // Экологические проблемы промышленных регионов. Материалы Международной конференции. – Екатеринбург, 2003. – С. 90.