

ФАКУЛЬТЕТ ПОЧВОВЕДЕНИЯ

На правах рукописи

КРАСИЛЬНИКОВ ПАВЕЛ ВЛАДИМИРОВИЧ

**ТАЕЖНОЕ ПОЧВООБРАЗОВАНИЕ И ВЫВЕТРИВАНИЕ
НА СУЛЬФИДСОДЕРЖАЩИХ ПОРОДАХ
(НА ПРИМЕРЕ КАРЕЛИИ)**

Специальность 03.00.27 - почвоведение

АВТОРЕФЕРАТ

**диссертации на соискание ученой степени
кандидата биологических наук**

Москва - 1996

Работа выполнена на кафедре географии почв факультета почвоведения Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова и лаборатории экологии и географии почв Института биологии Карельского научного центра РАН.

Научный руководитель: доктор биологических наук,
профессор С.А. Шоба

Официальные оппоненты: доктор биологических наук,
профессор Ф.Р. Зийдельман

кандидат географических
наук с.н.с. С.В. Горячкин

Ведущее учреждение: Санкт-Петербургский госу-
дарственный университет

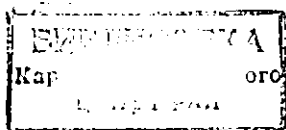
Защита состоится "3" декабря 1996 г. в 15 час.30 мин. в ауд.
М-2 на заседании диссертационного совета К 053.05.16 МГУ им.
М.В. Ломоносова по адресу: 119899, Москва, Воробьевы горы,
МГУ, факультет почвоведения, Ученый совет.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке
факультета почвоведения МГУ и библиотеке Карельского
научного центра РАН (г.Петрозаводск).

147929к

Автореферат разослан "23" октября 1996 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Г.В. Мотузова

Введение

Актуальность работы. Почвы на сульфидсодержащих породах, впервые описанные Карлом Линнеем, в настоящее время обнаружены по всему миру, от экватора до Арктики и Антарктиды. Окисление сульфидов в почвенном профиле приводит к выделению свободной серной кислоты.

Присутствие сильной минеральной кислоты в почве приводит к тому, что биогеохимические условия почвообразования в этих почвах существенно отличаются от обычных. Это выражается как в исключительно кислой реакции почвенного раствора, так и в образовании целого ряда серосодержащих минеральных фаз. Эти почвы принято объединять во внетаксономическую группу сульфатнокислых.

Несмотря на определенный интерес к этой группе почв в последние десятилетия, до настоящего времени остается ряд дискуссионных и малоисследованных вопросов в сульфатнокислом почвообразовании: не детализированы представления о почвообразовании на сульфидсодержащих породах различного вещественного состава и в различных биоклиматических условиях; не решен вопрос о путях преобразования слоистых силикатов под действием серной кислоты, не разработана диагностика и номенклатура сульфатнокислых почв и т.п.. Кроме того, подавляющее большинство публикаций посвящено почвам маршей и мангров, часто содержащих пирит. Вполне оправданный интерес к маршевым и мангровым сульфатнокислым почвам накладывает определенные ограничения на исследования роли окисления сульфидов на свойства почв. Эти ограничения связаны с тем, что все маршевые и мангровые почвы являются гидроморфными. В то же время известно, что на сульфидсодержащих осадочных, метаморфических и метасоматически измененных породах формируются мезоморфные почвы, свойства которых изучены крайне слабо. В таежной зоне подобные почвы практически не исследовались.

По нашему мнению, исследование мезоморфных и полугидроморфных почв позволит более ясно представить закономерности генезиса и географии почв на сульфидсодержащих породах.

Цель исследования. Установить закономерности почвообразования и пути трансформации минеральной массы почвы на сульфидсодержащих породах.

Поставленная цель определила следующие задачи:

1. Дать характеристику морфологических, физико-химических, химических свойств и минералогического состава тон-

кодисперсных фракций мезоморфных и полугидроморфных почв на различных сульфидсодержащих породах в условиях северной и средней тайги Карелии.

2. Установить пути трансформации слоистых силикатов под действием протекающего в почвах сульфатнокислого процесса.

3. Дать морфологическую, микроморфологическую и минералогическую характеристику новообразованных серо- и железосодержащих минералов в исследуемых почвах.

4. Определить место мезоморфных и полугидроморфных сульфатнокислых почв таежно-лесной зоны в отечественной почвенной классификации.

5. Установить закономерности сульфатнокислого почвообразования в различных биоклиматических обстановках.

Научная новизна. Обосновано существование сульфатнокислых почв в Карелии. Выявлены основные почвообразовательные процессы в почвах на сульфидсодержащих породах: закисление и ожелезнение (частный случай внутрпочвенного метаморфизма). Установлены основные новообразованные продукты сульфатнокислого процесса в почвах.

Установлено, что трансформация минеральной массы в почве описывается наложением двух слабо взаимодействующих кор выветривания: зональной гидрослюдистой и зоны окисления сульфидных месторождений (ЗОСМ), особой коры выветривания. Показан локальный характер действия серной кислоты на почвенные минералы.

Установлена неоднородность геохимической обстановки почвенных горизонтов, что приводит к различным путям трансформации слоистых силикатов в пределах одного горизонта.

Предложено выделение почв на сульфидсодержащих породах в отечественной классификации на уровне рода.

Практическая ценность. Естественные сульфатнокислые почвы служат моделью долговременного воздействия сильной минеральной кислоты на почву. На основании изучения этой природной модели можно прогнозировать воздействие на почву серной кислоты в различных техногенных обстановках.

Апробация работы. Материалы диссертации докладывались на школе-семинаре молодых ученых "Современные проблемы почвоведения и экологии" (Красновидово, 1993), Международном симпозиуме "Структура почвенного покрова" (Москва, 1993), Втором делегатском съезде Российского Общества почвоведов (Санкт-Петербург, 1996) и 10 Международном конгрессе по почвенной микроморфологии (Москва, 1996). Работа рассматривалась на со-

вместном расширенном заседании лаборатории экологии и географии почв Института биологии Карельского НЦ РАН и Карельского отделения Российского общества почвоведов в марте 1996 г. и на заседании кафедры географии почв факультета почвоведения МГУ в апреле 1996г.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 9 работ.

Объем работы. Диссертация изложена на 89 страницах машинописного текста, включает 8 таблиц и рисунков. Диссертация состоит из введения, 6 глав и выводов. Список литературы включает 128 наименования, в том числе 124 на иностранных языках. Приложение содержит 32 страниц машинописного текста, 8 страниц таблиц и 27 страниц рисунков.

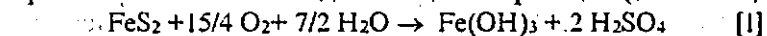
СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Глава 1. Современные представления о генезисе и географии почв на сульфидсодержащих породах

Сульфиды - важная группа рудных минералов. В настоящее время известно более 250 минеральных видов, распространение из которых имеют около 20 (Миловский, Кононов, 1982). Наиболее распространенные сульфиды железа включают пирит (FeS_2 , кубическая сингония), марказит (FeS_2 , сингония ромбическая), группу пирротина (общая формула Fe_{1-x}S , сингония моноклиновая или гексагональная), грейгит (Fe_3S_4) и макзинавит (Fe_{1+x}S). Из этих минералов устойчивым в гипергенных (восстановительных) условиях является только пирит, с готовностью замещающий остальные сульфиды железа. Наиболее распространенные сульфиды других металлов: галенит (PbS), сфалерит (ZnS), халькопирит (CuFeS_2), пентландит ($(\text{Ni}, \text{Fe})_9\text{S}_8$) и др.

Сульфиды присутствуют во всех группах пород: магматических, метаморфических и осадочных. Особо развит процесс образования пирита в современных (плейстоценовых и голоценовых) отложениях. Пирит формируется в приморских областях в прибрежной зоне в восстановительных условиях (Rickard, 1973). Источником железа для него является континентальный сток, а серы - сульфаты в морской воде (Engler, Patrick, 1973, van Breemen, 1987c). Источником серы также может быть органическое вещество, поскольку белки содержат до 1,5% серы. Восстановление серы и железа с образованием сульфидов происходит в результате деятельности сульфатредуцирующих бактерий - *Desulfovibrio* и *Desulfotomaculum* (Rickard, 1973). Множество работ посвящено

механизмам окисления сульфидов. Для нас имеет первостепенное значение механизм окисления пирита как наиболее распространенного сульфида. В гипергенных условиях в окислении сульфидов задействованы как чисто химические, так и биологические механизмы. Гипергенное окисление пирита в естественных условиях принято записывать в виде обобщенной реакции (Nordstrom, 1982):



Данная реакция представляет только начальные и конечные продукты окисления пирита. Однако механизм окисления пирита существенно более сложен. Было установлено, что окисление пирита производится не кислородом, а гидрокомплексом трехвалентного железа, при этом в растворе на начальных стадиях присутствуют сульфит, тиосульфаты и полиитионаты.

Окисление сульфидов в гипергенных условиях протекает с участием микробиоты. Активно окисляют сульфиды и серу тионовые бактерии: *Thiobacillus ferrooxidans*, *Th. thiooxidans*, *Th. thio-parus*, *Th. denitrificans*, *Th. neapolitanus*, *Th. thiocyanooxidans* (Кулебакин, 1978). Лучше других изучены бактерии *Th. ferrooxidans*. Это ацидофильные литотрофные бактерии, относящиеся к порядку *Pseudomonadales*. Роль *Th. ferrooxidans* сводится главным образом к окислению двухвалентного железа в растворе (Bloomfield, 1972, 1973). Поскольку пирит окисляется гидрокомплексом трехвалентного железа, скорость образования последнего в растворе имеет значение для всей реакции.

При окислении сульфидов железа теоретически возможно образование целого ряда сульфатов, однако обычно сообщается о присутствии в почвах ярозита ($\text{KFe}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$), натроярозита ($\text{NaFe}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$) и гипса (van Breemen, 1973a). В аридных условиях в профилях почв образуются тенардит (Na_2SO_4) и мирабилит ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$) (Merritt et al, 1985). Эти же минералы были обнаружены в виде выцветов на поверхности маршевых сульфатнокислых почв побережья Финляндии (Kivinen, 1944).

Особо богатый набор минералов гипергенного происхождения обнаруживается в зоне окисления сульфидных месторождений (ЗОСМ). Закономерности ее формирования как особой коры выветривания были описаны академиком С.С. Смирновым (1955). Согласно его воззрениям в зоне окисления происходит следующая смена минералов (идеальная последовательность): сульфаты - карбонаты - фосфаты - силикаты - ванадаты - оксиды. Реально оксиды и гидрооксиды металлов необязательно образуются только по прохождению всех этапов; было показано, что они могут образовываться

непосредственно из сульфатов и карбонатов (Бугельский, 1962).

На сульфидосодержащих породах в окислительных гипергенных условиях формируются почвы, которые принято объединять во внетаксономическую группу сульфатнокислых.

Под сульфатнокислыми почвами в широком смысле понимают "почвы, в которых в результате почвообразовательных процессов серная кислота может выделяться, выделяется или выделялась в количествах, оказывающих длительное воздействие на основные почвенные характеристики" (Pons, 1973). Соответственно, эти почвы подразделяются на потенциальные сульфатнокислые (содержащие еще не окислившиеся сульфиды), актуальные сульфатнокислые (в которых процесс окисления происходит в настоящее время) и пост-сульфатнокислые (в которых процесс окисления завершился, но диагностируется ряд остаточных свойств). Чаще же, однако, термин "сульфатнокислые почвы" используют в узком смысле, понимая под ними "кошачьи глины", почвы маршей и мангров, имеющие желтые ярозитовые пятна и крайне низкие значения pH. Мы будем в дальнейшем использовать более широкое определение.

В настоящее время площадь, занимаемая сульфатнокислыми почвами на современных морских отложениях, оценивается от 12,5 до 20 млн. га (Kawalec, 1973, Pons, van Breemen, 1982).

Типичный профиль сульфатнокислой почвы выглядит следующим образом (van Breemen, 1973a). Внизу залегает почвообразующая порода, насыщенная водой, содержащая неокислившийся пирит. Как правило, реакция среды в этом горизонте близка к нейтральной. Над ним находится горизонт активного окисления пирита, имеющий низкие (иногда ниже 1) значения pH и ярко-желтые ярозитовые пятна. Наконец, в развитых сульфатнокислых почвах верхние горизонты представляют из себя охристые образования с умеренно кислой реакцией среды.

Сульфатнокислые почвы во внебереговых районах до недавнего времени считались крайне экзотическим объектом; Полман насчитал всего шесть упоминаний о подобных почвах (Roelma, 1973). Однако широкое распространение древних сульфидосодержащих отложений позволяет предположить существенно более широкое их распространение. В последние десятилетия появилось множество работ, в которых давалась характеристика почв на сульфидосодержащих древних морских отложениях во всех климатических областях.

В отличие от почв на осадочных сульфидсодержащих породах морского генезиса, которые связаны с современными и древними побережьями и несут признаки современного или палеогидроморфизма, распространение почв на гидротермально-измененных породах зависит только от эндогенных процессов, и эти почвы чаще бывают мезоморфными. К сожалению, работы по этим объектам единичны.

До настоящего времени нет единого представления о пути трансформации слоистых силикатов в почве при развитии сульфатнокислого процесса. Фактологически подтверждаются три варианта: а) трансформационная деградация с потерей заряда, б) малоселективное растворение с потерей кристаллической структуры, в) внедрение гидроксида алюминия в межплоскостные промежутки вермикулитов и смектитов с образованием хлоритоподобных минералов. Неизвестно, какой из путей реализуется в почве, или же имеют место все три механизма.

В отечественной классификации отсутствуют таксоны, которые можно отнести к сульфатнокислым почвам, за исключением торфяно-болотных низинных сульфатнокислых почв, выделяемых на уровне рода (Классификация..., 1977). Разные авторы выделяли минеральные сульфатнокислые почвы под разными названиями: квасцовые глины (Яковлев, 1941), кислые засоленные (Фридланд, Караева, 1962), кислые сульфатные (Словцева, 1975), торфяно-глеевые кислые сульфидные (Крым, 1984). Описывая кислые глеевые почвы с окислительно-восстановительным и восстановительным режимом, Глазовская (1972) выделяла семейство кислых глеевых квасцовых, или кислых тионовых почв (с.117-120). Отметим, что все названия относятся исключительно к почвам гидроморфным.

Американская почвенная классификация (Keys to Soil Taxonomy, 1994) дает следующие критерии сульфурового горизонта, являющегося диагностическим для сульфатнокислых почв: рН водной вытяжки (1:1) < 3,5 и наличие пятен ярозита или содержание водорастворимых сульфатов > 0,05%. Канадская классификация дает идентичные критерии (дополнительно оговаривается содержание общей серы; в ней сульфатнокислые почвы объединяются в минералогическую семью, характеризующую наличием ярозита. В американской Soil Taxonomy в трех порядках (Histosols, Inceptisols и Entisols) выделяется 7 больших групп и 16 подгрупп почв, в которых проявляется или может проявиться сульфатнокислый процесс. Только один подпорядок (Typic Sulfochrepts) относится к мезоморфным почвам.

В легенде к Почвенной карте мира ФАО-ЮНЕСКО выделяется две почвенные единицы, относящиеся к сульфатнокислым почвам: Тиониковые Флювисоли и Тиониковые Глейсоли. Критерий их выделения: наличие сульфурового горизонта мощностью не менее 15 см (рН водной вытяжки (1:1) < 3,5 и наличие пятен ярозита).

В главе делаются следующие выводы:

1. На сульфидсодержащих породах формируются почвы, характеризующиеся высокой кислотностью и наличием ряда серосодержащих соединений (прежде всего ярозита), объединяемые во внетаксономическую группу сульфатнокислых почв.

2. Сульфатнокислые почвы распространены повсеместно, от самых низких до самых высоких широт, что позволяет рассматривать их как интразональные.

3. Распространение сульфатнокислых почв неравномерно: большая часть их связана с областями голоценового образования сульфидов (прежде всего с маршами и манграми).

4. Несмотря на большое количество работ, посвященных сульфатнокислому почвообразованию, недостаточно изучены закономерности мезоморфного почвообразования на сульфидсодержащих породах. Для таежно-лесной зоны подобные исследования вообще отсутствуют.

5. До настоящего времени окончательно не установлены пути трансформации слоистых силикатов при сульфатнокислом процессе.

6. В отечественной почвенной классификации сульфатнокислые почвы не отражены. В американской Soil Taxonomy и легенде к Почвенной карте мира ФАО-ЮНЕСКО отражаются преимущественно гидроморфные почвы. Попыток типизировать сульфатнокислые почвы по свойствам и вещественному составу не проводилось.

Глава 2. Географические закономерности почвообразования на сульфидсодержащих породах

1. Роль материнской породы в сульфатнокислом почвообразовании

При сульфатнокислом процессе имеет значение два показателя почвообразующей породы. Первый показатель - содержание и морфология сульфидов. Второй показатель - способность породы нейтрализовать кислоту.

Поскольку окисление сульфидов - поверхностная реакция, первостепенное значение для ее скорости и полноты протекания имеет удельная поверхность сульфида. Экспериментальные исследования показали, что увеличение удельной поверхности пирита в 2 раза увеличивает скорость реакции в 1,5 раз (Pugh et al., 1984). Максимальная скорость окисления так называемых фрамбондов, шарообразных сростков мельчайших кристаллов пирита (Jeng, 1990). Подобные образования распространены во всех осадочных пиритсодержащих породах; ранее их считали биогенными образованиями, теперь же известно, что такая форма диктуется кристаллохимическими законами (Love, Amstutz, 1966).

Современная концепция способности почвы нейтрализовать кислоту (ANC - acid neutralising capacity) (Сokolova, 1991) была разработана ван Бременом именно на примере сульфатнокислых почв. Было подсчитано, что кислота, образующаяся при окислении 1% пиритной серы, нейтрализуется 3% карбоната кальция (Pons et al., 1982). Сметитовые глины нейтрализуют до 0,5% пиритной серы (там же). Повышенная по сравнению с Северной Европой кислотность сульфатнокислых почв тропиков связана с преимущественно каолиновым составом иллитной фракции последних, в то время как прибрежные отложения Швеции богаты гидрослюдами (Oborn, 1991).

2. Роль климата в сульфатнокислом почвообразовании

Чтобы лучше понять, как на окисление сульфидов влияет климат, следует обратиться к воззрениям литологов на формирование зон окисления сульфидных месторождений (ЗОСМ). При исследовании зон окисления в контрастных климатических условиях Бугельский (1962) пришел к следующим выводам. Химические реакции, действующие на сульфатной стадии и стадии формирования гидрооксидов в ЗОСМ являются экзотермическими, поэтому могут протекать при любом количестве поступающего солнечного тепла. Отмечалось развитие окислительного процесса даже в толще вечной мерзлоты (Шварцев, 1963). В карбонатной стадии и стадии сложных солей (последняя стадия не имеет значения для зон окисления сульфидов железа) действованы эндотермические реакции, поэтому карбонаты формируются только при достаточном количестве поступающего тепла. Количество осадков также существенно для формирования ЗОСМ: при большом количестве осадков легкорастворимые минералы теряются из профиля коры выветривания. Если не происходит постоянного пополнения запасов сульфатов и карбонатов в профиле, то при большом количестве осадков вымывается все, кроме оксидов и гидрооксидов же-

леза. Таким образом, полный профиль ЗОСМ встречается чаще всего в умеренно засушливых теплых областях. В холодных областях карбонаты не образуются из-за недостатка энергии. Во влажных областях сульфаты и карбонаты вымываются.

Таблица 1.

Зависимость вещественного состава почв, связанного с окислением сульфидов, от климатических условий (основные продукты)

Климат	Аридный	Семиаридный и семигумидный	Гумидный
Холодный	Гипс, ярозит	Гипс, ярозит	Гидроксиды железа, ярозит
Умеренный	Гипс, легко-растворимые сульфаты	Гипс, ярозит	Гидроксиды железа, ярозит
Жаркий	Сода, кальцит	Гипс, кальцит, ярозит	Гидроксиды железа, ярозит

В Табл.1 приводится состав новообразованных продуктов сульфатнокислых почв в различных биоклиматических областях (по литературным данным), что подтверждает правильность вышеприведенной схемы.

3. Структуры почвенного покрова

Поскольку сульфатнокислое почвообразование связано с наличием сульфидов в почвообразующих породах, при этом сульфатнокислые почвы существенно отличаются по свойствам от фоновых, мы должны описать структуры почвенного покрова, характерные для сульфатнокислых почв, к мозаикам.

Глава 3. Объекты и методы

2.1. Объекты исследований

Нами было исследовано четыре участка, на каждом из которых было заложено по несколько разрезов. В общей сложности описан и проанализирован 21 почвенный профиль.

Первый участок: "мыс Картеш".

Географическое положение: северная часть Чупинской губы, Кандалакшский залив Белого моря, 66°20' с.ш., 33°40' в.д. На исследованной территории распространены кианит-гранат-

биотитовые и амфиболитовые гнейсы керетской и хетоламбинской свит беломорской серии. На территории развито гидротермальное сульфидное оруденение "Кивгуба", относимое к Саамской металлогенетической эпохе (Архей). Оруденение носит жильный характер, руды временами достигают мощности 1-1,4 м. Присутствуют такие рудные минералы, как пирит, пирротин, кобальтоносный пирит, халькопирит, сфалерит и пентландит (Щипцов и др., 1991). На обследованном участке четвертичные отложения не встречаются.

Фоновые мезоморфные почвы представлены главным образом подзолами иллювиально-железистыми, реже иллювиально-гумусово-железистыми на моренных и водно-ледниковых песках и супесях. На вершинах сельг почвообразование на элювии и элювио-делювии коренных пород развито слабо; но трещинам формируются маломощные "карликовые" подзолы и подбуры (Красильников и др., 1993).

На обследованном участке на гидротермально измененных породах формируются интенсивно окрашенные в красные и охристые цвета профили буроземов грубогумусных сульфатнокислых супесчаных на элювии гнейсов.

Второй участок: "Соколозеро".

Географическое положение: восточное побережье оз. Соколозеро (Иовское водохранилище), северо-восточная часть Лоухского района Республики Карелия, 66°25' с.ш., 30°35' в.д. Для участка характерны коренные породы вулканогенного происхождения и интрузивные массивы. Сульфидное рудообразование относится к более молодой, чем Саамская, Карельской металлогенетической эпохе (Архей). Основной рудный минерал - халькопирит, образовавшийся в результате поствулканической фумарольно-гидросульфатной деятельности базальтового вулканизма (Щипцов и др., 1991). Четвертичные отложения представлены маломощным фрагментарным чехлом песчано-супесчаной морены.

Фоновые почвы участка представляют из себя песчаные подзолы иллювиально-железистые и подбуры на морене. Исследованные почвы формируются на морене, обогащенной дериватами подстилающих сульфидсодержащих пород. Поскольку исследованные почвы отличаются от фоновых только по более интенсивной прокраске горизонтов оксидами и гидрооксидами железа, они выделялись на уровне разряда как подзолы (или подбуры) иллювиально-железистые песчаные на сульфидсодержащей морене.

Третий участок: "Хаутаваара".

Географическое положение: юго-западная часть Суоярвского района Республики Карелия, 15 км к северу от пос. Хау-

таваара, 62°10' с.ш., 32°50' в.д. Подстилающие породы представлены преимущественно метаморфизованными вулканогенными породами, туфами, графитистыми сланцами, эпидозитами Лопийской эпохи (Архей), прорываемыми более молодыми интрузиями различного состава. Образование крупных рудных тел, выходящих на поверхность, связано с метаморфическим преобразованием вулканогенных пород, вызвавшим дифференциацию сульфидных минералов в рудные выделения. Четвертичные отложения представлены конечными песчано-супесчаными моренами различной мощности. Непосредственно на участке исследований мощность моренных отложений составляет 1,0-1,5 метров.

Фоновые почвы участка - дерново-подзолисто-глееватые песчаные на морене. Участие сульфидов в почвообразовании выражается в наличие фрагментарных красноцветных горизонтов в профиле. В профиле непосредственно над рудным телом отсутствует горизонт А2, а нижний горизонт, постоянно насыщенный влагой, имеет интенсивную охристую окраску. Исследованные почвы выделялись как дерново-подзолисто-глееватые сульфатнокислые песчаные на морене.

Четвертый участок: "Зажогно-Максово".

Географическое положение: Заонежский полуостров (Медвежьегорский район Республики Карелия), около 5 км к югу от пос. Толвуя, 62°25' с.ш., 35°10' в.д. Коренные породы участка представлены углеродсодержащими (шунгитовыми) сланцами Нижнепротерозойского возраста. В соответствии с классификацией шунгитсодержащих пород (Шунгиты Карелии..., 1975) эти сланцы относятся к III-IV группам (10-35% шунгитового вещества) типа Б (среднекремнистая силикатная основа, состоящая преимущественно из кварца, полевых шпатов и слюд). Непосредственно на участке исследований четвертичные отложения отсутствуют.

Фоновые почвы представлены дерновыми литогенными шунгитовыми почвами на элювии шунгитовых сланцев. На сульфидсодержащих шунгитах некоторые профили имеют типичную для шунгитовых почв темно-серую окраску, и окисление сульфидов диагностируется только по единичным охристым, красным и желтым пятнам на щелбе. В этом случае почвы назывались дерновыми литогенными шунгитовыми типичными среднесуглинистыми на элювии сульфидсодержащих шунгитовых сланцев. Другие же профили имеют интенсивную охристую, красную или желтую окраску, и мы их определили как дерновые литогенные шунгитовые железистые среднесуглинистые на элювии сульфидсодержащих шунгитовых сланцев.

2.2. Методы исследований

Полевое описание почв объектов "Хаутаваара" и "Зажогнио-Максово" производилось автором, объектов "мыс Картеш" и "Соколозеро" сотрудницей кафедры географии почв факультета почвоведения МГУ В.М.Сафоновой. Цвета почвенных горизонтов определялись в поле по атласу Манселла (Munsell Soil Colour Charts, 1975). Образцы из почв отбирались по генетическим горизонтам. Полевое описание почв дополнялось материалами камерального изучения образцов под бинокулярным микроскопом.

Также отбирались образцы ненарушенного строения для изготовления плоскопараллельных шлифов. Микроморфологическое описание производилось по общеупотребимым методикам (Парфенова, Ярилова, 1977). При микрофотографировании шлифов помощь оказывал доцент каф. географии почв С.Н.Седов.

Химические анализы были выполнены в лаборатории экологии и географии почв Института биологии КНЦ РАН аналитиками А.А.Матулайтине, В.А.Тершиной, Н.Н.Донсковой, Л.В.Ивановой, Г.И.Черкашиной и Т.В.Жилиной по общеупотребимым методикам.

Илистые фракции из почв выделялись отмучиванием по Горбунову (1971). Пробы снимались в ориентированных образцах в воздушно-сухом состоянии, после прокаливания до 550°C и после насыщения многоатомным спиртом (этиленгликолем для объектов "мыс Картеш" и "Хаутаваара" и глицерином для объекта "Зажогнио-Максово"). Рентген-дифрактометрические исследования части образцов (объекты "мыс Картеш" и "Хаутаваара") проведены на универсальном рентген-дифрактометре HZG-4, излучение медное, $\text{K}\alpha_{1,2}$, фильтрованное никелем. В качестве детектора отраженных квантов использовался сцинтилляционный блок детектирования БДС-6. Режим работы аппарата: напряжение на трубке 30 кВ, анодный ток 25 мА; скорость вращения гониометра $2^{\circ}/\text{мин.}(2\Theta)$, скорость протяжки диаграммы 600 мм/час.; предел измерения 2000 имп./сек., постоянная времени 2 сек. Ориентированные образцы с мыса Картеш снимались без обработки и после обработки по Мера-Джексону. Съемка производилась в лаборатории минералогии почв Почвенного института им.В.В.Докучаева доктором с.-х. наук Н.П.Чижиковой. Другая часть образцов (объект "Зажогнио-Максово") исследовалась на универсальном рентген-дифрактометре ДРОН-3, излучение медное, $\text{K}\alpha_{1,2}$. Применялся графитовый монохроматор. Режим работы аппарата: напряжение на трубке 30 кВ, анодный ток 25 мА, скорость вращения гониомет-

ра $1^{\circ}/\text{мин.}(2\Theta)$, скорость протяжки диаграммы 600 мм/час., предел измерения 400 имп./с, постоянная времени 2 с. Съемка производилась научным сотрудником лаб. физических методов исследований Института геологии КНЦ РАН А.М.Софроновым. Им же были сняты неориентированные образцы илистых фракций нескольких почвенных горизонтов и образец ярозита с мыса Картеш.

Илистые фракции почв параллельно изучались методом инфракрасной спектроскопии. Съемка спектров пропускания производилась на инфракрасном спектрометре Specord M-80 (Carl Zeiss, Jena) в области от 5,0 до 31,3 мкм ($2000-320\text{ см}^{-1}$). Использовалась шелловая программа 12, время интегрирования 3 секунды, шаг 4 см. При подготовке образцов применялся метод прессованных таблеток с KBr, при этом на 2 мг образца бралось 500 мг бромистого калия. В нескольких случаях (при изучении образцов, окрашенных шунгитом, интенсивно поглощающих инфракрасное излучение) навеска вещества уменьшалась до 1 мг. Масса таблетки 150 мг. Съемка спектров производилась заведующим лабораторией физических методов исследований института геологии КНЦ РАН А.Н.Терновым и сотрудницей лаборатории лесного почвоведения О.Н.Бахмет.

Мелкозем из ряда почвенных горизонтов и образцы сульфидов и ярозита были исследованы методом Мессбауэровской спектроскопии (ядерного гамма-резонанса) для идентификации и количественной оценки содержания соединений железа. Спектры были получены и интерпретированы сотрудником лаборатории радиоспектроскопии и магнитных методов ВИМС В.В.Коровушкиным. Мессбауэровские измерения проводились при комнатной температуре на спектрометре ЯГРС-4М с источником Co^{2+} в матрице хрома. Использовались порошковые пробы крупностью 0,05-0,07 мм. Калибровка шкалы скоростей проводилась по ЯГР-спектру $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$. Изомерный сдвиг рассчитывался относительно нержавеющей стали. Спектры были разложены на составляющие с использованием лоренцевской формы линий поглощения. Площади составляющих ЯГР-спектра, ответственные за определенные валентные и минеральные формы железа, определялись планиметром. Вероятности резонансного эффекта железа присутствующих фаз и валентных форм принимались равными.

Из ряда горизонтов были отобраны с помощью бинокулярного микроскопа песчаные зерна для исследования на сканирующем электронном микроскопе. Исследование проводилось на микроскопе марки HSM-2A (Hitachi), сопряженном с рентгеновским микроанализатором. В субмикроскопических исследованиях

принимали участие сотрудники каф. географии почв С.Н.Седов и В.М.Сафонова.

Выборочно из почв мыса Картеш были отобраны образцы на микробиологический анализ. Анализ производился сотрудником Института почвоведения А.А.Семиколенных. Образцы суспензировались на магнитной мешалке в водной среде (200 об/мин в течение 10 мин). Для качественного определения серных бактерий, растущих на среде с тиосульфатом, применялась жидкая среда Байеринка с антибиотиком ряда нистатина для подавления деятельности грибов, зараженная почвенной суспензией для получения накопительной культурой. После появления пленки молекулярной серы на поверхности, свидетельствующей о начале развития процессов окисления серы, производился посев из накопительной культуры на агаризованную среду аналогичного состава. Для количественного учета бактерий применялся метод предельных разведений на аналогичной среде. Посевы инкубировались при 23°C в течение 15 дней (оптимум был установлен по скорости роста в накопительной культуре). Для определения ацидофильных серных бактерий применялась агаризованная среда Ваксмана с серой и кислотным индикатором. Рост ацидофильных серобактерий наблюдался по изменению окраски индикатора. Производился полуколичественный подсчет колоний на чашках через 15 дней после начала инкубации.

Глава 4. Вещественный состав и свойства тасжных почв на сульфидсодержащих породах (на примере Карелни)

1. Мыс Картеш

Исследовались буроземы грубогумусные сульфатнокислые на элювии гнейсов, проработанных гидротермальной сульфидной минерализацией. Почвы представляют из себя чередование интенсивно окрашенных в охристые и красные цвета горизонтов. Мощность профилей колеблется от 20 до 65 см.

Исследованные почвы имеют супесчаный гранулометрический состав. Валовой силикатный анализ мелкозема отражает неоднородность почвообразующей породы. Высоко содержание общей серы, количество которой достигает в некоторых горизонтах 4%.

Почвы характеризуются низкими значениями рН, в большинстве горизонтов находящимися в пределах 3-4. Высоко содержание обменного водорода и алюминия (до 20 смоль(+)/кг каждого из элементов). Содержание обменных оснований низкое, кальций

присутствует в некоторых горизонтах в следовых количествах. Высоко содержание железа, извлекаемого дитионит-щитрат-бикарбонатной и кислой оксалатной вытяжками. В то же время алюминия и кремния оксалатная вытяжка извлекает существенно меньше. Пирофосфатной вытяжкой извлекается существенно меньше железа, чем оксалатной; алюминий в пирофосфатной вытяжке присутствует в следовых количествах.

Таблица 2

Полуколичественная оценка содержания глинистых минералов в почвенных фракциях буроземов грубогумусных сульфатнокислых супесчаных на элювии гнейсов: 1- в илстой фракции, 2- в мелкой пыли, 3- в средней пыли. *cl*- хлорит, *m*- слюда, *v*- вермикулит, *s*-сметтит, *cl-v*- хлорит-вермикулит, *v-s*- вермикулит-сметтит, *m-v*- слюда-вермикулит, *cl-s*- хлорит-сметтит

Разрез,	Фракция	<i>cl</i>	<i>m</i>	<i>v</i>	<i>s</i>	<i>cl-s</i>	<i>v-s</i>	<i>m-v</i>	<i>cl-v</i>
<i>горизонт</i>									
212 В	1		x	x	x			x	x
	2		x	xx			x	x	x
	3		x			x		x	
213 В1	1		xx				x	x	
	2		x			x		x	
	3	x	x			x		x	
213 В2	1		x				x		
214 В1	1		x		x	x		x	
214 В2	1		x						
	2		x			x		x	
	3	x	x			x		x	
216 В1	1	x	x	xx			x		
	2		x				xx		
	3	x		xx			x		

Здесь и далее: + -присутствует в малых количествах, ++ -присутствует в значительных количествах

Рентгеновскими исследованиями, подтвержденными результатами ИК-спектроскопии, показано, что в тонкодисперсных фракциях почв присутствует ряд продуктов деградационной трансформации хлоритов и триоктаэдрических слюд (Табл.2).

Трансформация в отдельных случаях доходит до стадии разбухающего минерала. Все минералы слабо окристаллизованы.

Исследование мелкозема почв методом Мессбауэровской спектроскопии показало присутствие гематита различной размерности и окристаллизованности в красноцветных горизонтах и гетита в охристых горизонтах (Табл.3.).

Микроморфологические исследования показали, что почвы имеют своеобразную микроструктуру, сходную со структурой тропических ферраллитных почв. Железисто-глинистая плазма основы бурого и красного цвета состоит из сгустков тонкодисперсных гидроксидов железа. Высоко содержание обломков амфиболов и плагиоклазов различной степени выветренности. Наблюдалось разрушение биотита в почве, идущее по двум путям: обесцвечивание и ожелезнение.

Исследования на сканирующем электронном микроскопе показали локальный характер выветривания в почве; в одном горизонте встречались и корродированные, и неизмененные зерна плагиоклазов. Были обнаружены микроскопические новообразования гипса и ярозита. Обнаружено, что в подстилке и минеральных горизонтах непосредственно под ней происходит разрушение гематитовых пленок на песчаных зернах и щебне. При растворении большей части пленки на поверхности минерала отмечается наличие куполообразных останцов гематита.

Таблица 3

Процентное соотношение соединений железа в горизонтах буроземов грубогумусных сульфатнокислых супесчаных на элювии гнейсов (по данным Мессбауэровской спектроскопии)

Разрез, горизонт, глубина, см	214 B1	214 B2	215 B1	215 R
Fe (III) гематита 1	53	6,1	51,9	
Fe (III) гематита 2	15,5		14,1	
Fe магнетита	6,6		13	
Fe(III) гетита				97
Fe(II) силикатов	3,9	3,4	4,3	3
Fe(III) тонкодисперсных гидроксидов+ силикатов	21	90,5	16,7	

Микробиологическое исследование показало наличие специфических литотрофных серных бактерий в почве и постепенное убывание их количества по направлению к дневной поверхности (Табл.4).

Таблица 4

Полуколичественное определение содержания нейтрофильных и ацидофильных бактерий в буроземах грубогумусных сульфатнокислых супесчаных на элювии гнейсов
+++ "много", ++ "среднее количество", + "мало", +/- "единично или наличие сомнительно", - "не выделяются"

Горизонт, глубина, см	Среда с тиосульфатом (нейтрофильные бактерии)	Среда с молекулярной серой (ацидофильные бактерии)
Разрез 214		
B1f 6-20	+/-	+/-
B2f 20-40	+++	+
B3f 40-65	+++	++
Разрез 216		
B1f 18-22	+/-	+
B2f 21-29	+	-
B3f 50-60	+++	++

2. Сокологоро.

Подзолы иллювиально-железистые песчаные на сульфидсодержащей морене по морфологии сходны со слабоподзоленными песчаными почвами, формирующимися на бессульфидной морене, которые принято называть оподзоленными подбурами. Морфологические признаки сульфатнокислого процесса выражаются в более интенсивной прокраске всех почвенных горизонтов. По своим химическим свойствам подзолы на сульфидсодержащей морене мало отличаются от типичных почв Северной Карелии. Значения pH водной вытяжки изменяются в пределах 5,0-5,6. Содержание обменного водорода низкое, обменного алюминия среднее (около 1-4 смоль(+)/кг). Содержание обменных оснований среднее, содержание кальция выше, чем магния. Содержание железа и алюминия, извлекаемых кислой оксалатной вытяжкой, высокое, при этом в некоторых горизонтах алюминия извлекается больше, чем железа. Содержание кремния в той же вытяжке низкое.

147929K

3. Хаутаваара.

На участке над сульфидными рудными телами формируются дерново-подзолисто-глеевые сульфатнокислые песчаные почвы на морене. Морфологическое отличие их от фоновых почв выражается в слабой развитости (или отсутствии) элювиального горизонта, интенсивной красной или охристой окраске верхнего иллювиального подгоризонта и яркой охристой окраске глеевого горизонта на контакте с рудой. Почвы имеют песчаный механический состав по всему профилю. Результаты валового силикатного анализа показывают накопление алюминия и железа в поверхностных горизонтах и на контакте с рудным телом в почвенных профилях непосредственно над рудой. В профилях, удаленных от рудного тела на несколько метров, распределение полуторных окислов элювиально-иллювиальное. Содержание серы высоко во всех профилях. Профиль над рудным телом имеет сильноокислую реакцию на всех глубинах (рН водной вытяжки от 3,2 до 3,8), другие профили имеют среднекислую реакцию (рН водной вытяжки 4,3-4,9). Содержание обменных водорода и алюминия выше, чем в минеральных горизонтах большинства песчаных почв Карелии. Содержание обменных оснований среднее при преобладании кальция.

Рентгеновское исследование, подкрепленное результатами ИК-спектроскопии, показало наличие продуктов деградиционной трансформации биотита и присутствующего в меньших количествах хлорита. Основными продуктами трансформации являются вермикулит и смешанослойный слюда-вермикулит. Все слоистые силикаты слабо окристаллизованы.

Исследование руды и мелкозема почв методом Мессбауэровской спектроскопии показало постепенное преобразование пирротиновой руды в пирит, а затем в гидроксиды железа. В почве присутствует преимущественно гетит и малое количество ярозита, морфологически не диагностируемое.

Исследования на сканирующем электронном микроскопе позволили установить образование каверн травления на песчаных кварцевых и эпидотовых зернах.

Таблица 5

Полуколичественная оценка содержания глинистых минералов в илстой фракции дерново-подзолисто-глееватых сульфатнокислых песчаных почв на морене: cl- хлорит, m- слюда, v- вермикулит, s- смектит, cl-v- хлорит-вермикулит, v-s- вермикулит-смектит, m-v- слюда-вермикулит, m-s- слюда-смектит

Разрез,	cl	m	v	s	m-s	v-s	m-v	cl-v
горизонт								
1/93 A1		x			xx			
B1f	x	x		xx		x		
B2		x					xx	x
R		x			xx			
2/93 A1		x	x					x
Bf		x					xx	
3/93 A1		x	x				x	x
Bf		x	x				x	
4/93 A1	x		xx					x
A2	x	x		x	xx		x	x
Bf	x	x	xx					x
5/93 A1		x			xx		xx	
B1f	x	x	xx				x	
B2	x	x	xx				x	x
B3f	x	x		x			x	
6/93 A1	xx	x	xx				x	
Bf	x	x	xx				x	x
7/93 A1	x			x	xx			
A2	x		x	xx	x			x
Bf	x	x	xx		xx			x
R	x		xx		x			x

Таблица 6

Процентное соотношение соединений железа в руде и иллювиальном горизонте дерново-подзолисто-глеяватой сульфатно-кислой песчаной почвы (по данным Мессбауэровской спектроскопии)

Разрез, горизонт, глубина, см	Руда, 8 см	Руда, 3 см	Руда, 1 см	1.93, ВЗf 40-55 см.
Fe(III) гетита			5	
Fe(II) силикатов				15
Fe(III) тонкодисперсных гидроксидов + силикатов			90	75
Fe ярозита				15
Fe пирита		87,2	35,3	5
Fe пирротина		12,8	64,7	

4. Зажогоино-Максово.

На участке распространены дерновые литогенные шунгитовые почвы суглинистого и глинистого гранулометрического состава. Дерновые литогенные шунгитовые типичные суглинистые почвы на элювии сульфидсодержащих шунгитовых сланцев имеют слабодифференцированный темноцветный профиль с включениями щебня и глыб, покрытых желтыми, охристыми и красными пленками. Дерновые литогенные шунгитовые железистые почвы имеют профиль с иллювиальным горизонтом красного или желтого цвета, контрастирующим с темно-серыми гумус-аккумулятивным горизонтом и почвообразующей породой.

Результаты валового силикатного анализа показывают, что в ожелезненных профилях железо распределяется элювиально, а алюминий имеет некоторую тенденцию к накоплению в поверхностных и нижних почвенных горизонтах. Содержание серы выше, чем в других почвах Карелии, однако существенно ниже, чем в других исследованных объектах. Только в одном желтоцветном горизонте ее содержание поднимается до 3,9% в пересчете на сульфат.

Реакция среды близка к нейтральной в темноцветных профилях и среднекислая в ожелезненных. Только в желтоцветном (ярозитовом) горизонте рН водной вытяжки равен 4,5, а солевой

вытяжки 2,9. Содержание обменного водорода низкое в темноцветных профилях и части горизонтов ожелезненных почв. Содержание обменного алюминия низкое в темноцветных профилях и высокое в ожелезненных. Содержание обменных оснований высокое в ожелезненных профилях и очень высокое в темноцветных.

Кислой оксалатной вытяжкой извлекается сравнительно большое количество железа (для шунгитовых почв Карелии). Содержание алюминия в той же вытяжке сравнимо с железом, а кремния извлекается мало. Пирофосфатной вытяжкой извлекается значительное количество железа и малое количество алюминия.

Таблица 7

Полуколичественная оценка содержания глинистых минералов в илстой фракции дерновых литогенных шунгитовых типичных (разрезы 1/94, 2/94 и 3/94) и железистых (разрезы 4/94 и 5/94) суглинистых на элювии сульфидсодержащих шунгитовых сланцев:

Cl- хлорит, m- слюда, v-вермикулит, s-сметтит, cl-v- хлорит-вермикулит, v-s- вермикулит-сметтит, m-v- слюда-вермикулит, m-s- слюда-сметтит

Разрез, горизонт	cl	m	v	s	m-s	m-v	cl-v
1/94 A 1	x	xx	xx		x		
B		xx	xx			x	
2/94 A 1		xx	xx		x		
B		xx	xx				
3/94 A 1	x	xx	xx		x		x
B	x	xx	xx			xx	
4/94 A 1	x	xx	xx		x		
B f			xx			x	x
B C		xx				xx	
5/94 A 1		x	xx			xx	
B 1 f		x	xx				
B j	x	xx	xx			xx	
B 2 f	x	xx	xx			xx	
B C	x	x	xx	x		x	

Рентгеновскими исследованиями, подтвержденными данными ИК-спектроскопии, было установлено присутствие в почве

продуктов деградации флогопита и содержащегося в малых количествах хлорита. Основными продуктами деградации являются вермикулит и смешанослойный слюда-вермикулит с тенденцией к упорядоченности.

Исследование мелкоземов почв методом Мессбауэровской спектроскопии показало преобладание тонкодисперсных гидроксидов железа (преимущественно гетита) в охристых горизонтах. Желтоцветный горизонт содержит преимущественно ярозит.

Микроморфологическое исследование плоскопараллельных шлифов почв участка показало автохтонный характер охристых и красноцветных пленок на щебне и мелкоземе. Была также отмечена частичная ориентация плазмы в почвенных горизонтах, что указывает на суспензионную миграцию вещества в профилях.

Таблица 8

Процентное соотношение соединений железа в дерновой литогенной шунгитовой железистой среднесуглинистой почвы на элювии сульфидсодержащих шунгитовых сланцев (по данным Мессбауэровской спектроскопии).

Разрез, гори- зонт, глубина, см	5ш/94, Bj,	5ш/94 B2f,	5ш/94, BC,
	30-50 см	50-95 см	95-115 см
Fe(III) гетита)		10	15
Fe(II) силикатов	20	5	5
Fe(III) тонкодисперс- ных гидроксидов + силикатов		75	70
Fe ярозита	80	5	5
Fe пирита		5	5

Исследования на сканирующем электронном микроскопе позволили показать характер железистых пленок в изученных почвах: плотные трещиноватые пленки преимущественно гематитового состава образуются на поверхности рыхлых гетит-ярозитовых пленок. Установлен кавернозный характер разрушения шунгитовых сланцев под действием серной кислоты. Также зафиксирована морфология ярозитовых новообразований в почвах.

Глава 5. Пути трансформации минеральной массы почв при сульфатнокислом процессе

Исходя из представлений о зоне окисления сульфидных месторождений, мы определили последовательность преобразования продуктов окисления сульфидов железа в почвах таежной зоны. Основным метастабильным продуктом окисления сульфидов железа в таежных почвах является ярозит. Гипс образуется в незначительных количествах и может быть обнаружен только микроморфологически. Но и ярозит не образует макроморфологически выраженных скоплений. Обычно он присутствует в виде примесей к гетитовым пленкам, покрывающим щебень и песчаные зерна. В редких случаях он выделяется в отдельный морфон или образует натечные формы на скалах. Основным морфологическим признаком сульфатнокислого почвообразования в таежной зоне является интенсивное ожелезнение всего почвенного профиля и особенно образование красноцветных продуктов (гематита). Хотя высказывалось мнение о первичности образования гематита по отношению к гетиту при окислении сульфидов, наши данные позволяют усомниться в этом. Наличие хорошо окристаллизованного гематита в почвах (образование которого при быстро протекающем окислении сульфидов невозможно) и формирование компактных гематитовых пленок поверх рыхлых гетит-ярозитовых пленок позволяет предположить, что гематит образуется главным образом за счет гидролиза ярозита. Возможна также перекристаллизация медленно растворяющегося гетита в гематит через кислый раствор.

Выветривание слоистых силикатов, как следует из наших данных, во всех почвах идет по пути деградационной трансформации. Распространенное мнение о разрушении кристаллической структуры глинистых минералов под действием серной кислоты связано, с одной стороны, с тем, что пленки тонкодисперсных гидроксидов железа препятствуют получению отчетливой дифракционной картины. После обработки илов реактивом Мера-Джексона интенсивность рефлексов возрастает. С другой стороны, выделение серной кислоты в непосредственной близости от минерала может привести к его разрушению. Субмикроскопические исследования показывают локальный характер травления полевых шпатов: часть из них имеет глубокие каверны травления, а часть не имеет таковых вообще. Это позволило нам предположить, что травление минерала происходит непосредственно в области выделения кислоты, далее же кислота быстро нейтрализуется. Этим можно объяснить различие в дифрактограммах илстых и пылева-

тых фракций из разных горизонтов. В горизонтах с высоким начальным содержанием сульфидов количество разрушенных слоистых силикатов выше, что сказывается на интенсивности соответствующих рефлексов на дифрактограмме. Фактически в почвах осуществляется два механизма выветривания слоистых силикатов: трансформационная деградация и полное разрушение, преобладание того или иного из которых связано с начальным содержанием сульфидов и богатством почвообразующей породе. В почвах на элювии шунгитовых сланцев, например, основной "удар" кислоты принимает на себя углерод шунгитов, поэтому механизм разрушения слоистых силикатов не реализуется в этих почвах. Богатство почвообразующих пород влияет и на ход деградационной трансформации. Чем богаче порода, тем более упорядоченные смешанослойные структуры обнаруживаются в почве.

Внедрение гидроксидов алюминия в межплоскостные промежутки слоистых силикатов с низким зарядом на слое теоретически возможно, поскольку активность алюминия в растворе высока. Однако это возможно только при сравнительно высоких значениях pH, поскольку при высокой активности водорода алюминий не полимеризуется. По нашим данным однозначно решить этот вопрос невозможно, поскольку во всех исследованных почвах изначально присутствует некоторое количество хлорита. Не в пользу присутствия алюминиевых полимеров говорят низкие значения алюминия, извлекаемого кислой оксалатной вытяжкой, в почвах участков "мыс Картеш" и "Хаутаваара". В почвах на элювии шунгитовых сланцев наличие подобных структур возможно, поскольку величина pH благоприятствует их образованию, оксалатной вытяжкой извлекается значительное количество алюминия, а в ИК-спектре присутствует полоса, соответствующая алюминию в подобной координации.

Реально следует признать, что роль окисления сульфидов в выветривании слоистых силикатов не столь велика. Основным процессом, определяющим состав глинистых минералов, остается характерный для таежных почв процесс деградационной трансформации с потерей заряда на слое. Отличие состоит в том, что в большинстве почв тайги этот процесс особенно активно проявляется в подзолистом горизонте, в исследованных же почвах он распространяется на весь профиль.

В связи с этим можно сделать вывод, что выветривание сульфидов и силикатов слабо сопряжено. Фактически мы имеем дело с совмещением в пространстве двух почти независимых кор

выветривания: зональной гидрослюдистой и зоны окисления сульфидных месторождений.

Глава 6. Диагностика и номенклатура таежных почв на сульфидсодержащих породах

Согласно международной практике, принято выделять сульфатнокислые почвы по кислой реакции среды, наличию пятен ярозита и, в некоторых случаях, содержанию серы. Реакция среды является бесспорным признаком. Мы предлагаем использовать граничное значение водного pH в 4,25, как считал Де Каймп (De Kimp et al., 1988b). Определение содержания серы достаточно трудоемкий лабораторный анализ, поэтому может использоваться для уточнения диагностики почвы при необходимости. Минимальное содержание серы для определения почвы в качестве сульфатнокислой, в соответствии с Soil Taxonomy, принимается нами 0,5% (выраженной в виде молекулярной серы). Наличие морфологически выраженных пятен ярозита не может являться диагностическим признаком для сульфатнокислых почв таежной зоны. Поэтому нами разработаны диагностические показатели горизонта В сульфатнокислых почв северной и средней тайги. Этот горизонт должен отвечать следующим требованиям:

иметь красную или охристую окраску (не желтее 7.5YR);

иметь насыщенность основаниями менее 20%;

иметь отношение алюминия к железу, извлекаемых кислой оксалатной вытяжкой по Тамму, не менее 10.

Согласно этим критериям, почвы мыса Картеш и участка Хаутаваара (частично) являются сульфатнокислыми, а почвы участков Соколозеро и Зажогно-Максово не являются таковыми.

Полезным диагностическим критерием для сульфатнокислых почв является также наличие литотрофных серных бактерий.

Поскольку в отечественной почвенной классификации не отражены сульфатнокислые почвы, встал вопрос об их таксономической принадлежности. Учитывая большое разнообразие почв на сульфидсодержащих отложениях, мы сочли нецелесообразным выделение отдельного типа сульфатнокислых почв. Поскольку их своеобразие связано с локальными условиями почвообразования (с породами), их следует выделять на уровне рода в соответствующих типах.

Хроматически дифференцированные почвы участка Зажогно-Максово, поскольку существенно отличаются по морфологии и свойствам от дерновых литогенных шунгитовых почв, должны выделяться в род дерновых литогенных шунгитовых железистых почв.

Дерновые литогенные шунгитовые почвы, не отличающиеся существенно от развитых на бессульфидных породах ни по морфологии, ни по химическим свойствам, выделяются на уровне разряда, с указанием наличия сульфидов в почвообразующей породе. Также и подзолы иллювиально-железистые песчаные участка Соколозеро не выделяются в отдельный род; на уровне разряда указывается на присутствие сульфидов в морене.

ВЫВОДЫ

1. На территории Карелии под влиянием окисления сульфидов, содержащихся в почвообразующей породе, формируются интразональные сульфатнокислые почвы, имеющие охристый или красноцветный профиль, высокую кислотность и низкую насыщенность основаниями, относящиеся к буроземному, подзолному и болотно-подзолному типам.

2. В результате окисления сульфидов в профиле образуются ярозит, гипс, оксиды и гидроксиды железа. Ярозит и гипс не формируют макроморфологически выраженных скоплений в почвенном профиле. В условиях Карелии основными продуктами сульфатнокислого процесса являются гетит и гематит. Гематит вторичен по отношению к ярозиту и гетиту.

3. Предлагается схема общих географических закономерностей распространения сульфатнокислых почв на карте мира. Состав продуктов окисления сульфидов регулируется климатом. Наличие в профиле карбонатных новообразований лимитируется поступлением солнечной радиации. Наличие легкорастворимых солей, карбонатов и гипса ограничивается промывным водным режимом.

4. Выветривание слоистых силикатов идет по пути деградационной трансформации с потерей заряда на слое. В случае высокого содержания сульфидов и низкой способности породы нейтрализовать кислоту происходит локальное разрушение кристаллической решетки глинистых минералов.

5. По трансформации минеральной массы профиль сульфатнокислой почвы представляет из себя наложение двух кор выветривания: зональной гидрослюдистой и зоны окисления суль-

фидных месторождений. Выветривание, связанное с действием серной кислоты, имеет локальный характер.

6. Предлагается диагностировать сульфатнокислые почвы таежной зоны по следующим свойствам горизонта В: низким значениям водного pH, низкой насыщенности основаниями, наличию новообразованного гематита и низкому отношению алюминия к железу в кислой оксалатной вытяжке. Предлагается выделять сульфатнокислые почвы на уровне рода в ряде типов почв.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Сульфатнокислые почвы Северной Карелии// в сб. Современные проблемы почвоведения и экологии. Тез. докл. школы-семинара молодых ученых, Красновигово, май 1993 г. М. 1993. С.43. (в соавторстве).

2. Линейные элементы структуры почвенного покрова сельговых ландшафтов Карельского берега Белого моря// Мат-лы Международного симп. "Структура почвенного покрова", Москва, 6-11 сентября 1993 г. М. 1993. С.145-149. (в соавторстве).

3. Сульфатнокислый процесс в почвах Карелии// в сб. Контроль состояния и регуляция функций биосистем на разных уровнях организации (под ред. О.В.Толстогузова). Петрозаводск. 1993. С. 126-135. (в соавторстве).

4. Сульфатнокислое выветривание в почвах Северной Карелии// Почвоведение. 1995. № 6, С.740-746. (в соавторстве).

5. Влияние сульфидных рудных тел на почвообразование// в сб. Контроль состояния и регуляция функций биосистем (под ред. С.Н.Дроздова). Петрозаводск. 1995. С.51-66.

6. Автоморфное сульфатнокислое почвообразование и выветривание на гидротермальных жилах в Северной Карелии// в сб. Экология и география почв Карелии (под ред. О.В.Толстогузова). Петрозаводск. 1995. С.18-34. (в соавторстве).

7. Роль окисления сульфидов в генезисе дерновых шунгитовых железистых почв Карелии// Почвоведение. 1996. № 6. С. 743-753. (в соавторстве).

8. Трансформация слоистых силикатов, сопутствующая окислению сульфидов в почвах// Тезисы докладов II съезда общества почвоведов (27-30 июня 1996 г., Санкт-Петербург). 1996. Книга 2. С. 368-369.

9. Micromorphological diagnostics of sulfides oxidation in soils of Karelia// Soil Micromorphology. Abstracts of 10th Int. working meeting on soil micromorphology, Moscow, Russia, July 8-13, 1996. Moscow, 1996. P.50. (в соавторстве).

Сдано в производство 24.09.1996 г.

Формат 60 x 84 ¹/₁₆

Тираж 100 экз.

Зак. №24. Уч.-изд. л. 2,0.

185610, г.Петрозаводск, ул.Пушкинская, 11.

Карельский научный центр РАН.