

На правах рукописи



Красильников Павел Владимирович

ГЕНЕЗИС И ГЕОГРАФИЯ ПОЧВ ГОРНЫХ ЛЕСОВ ЮЖНОЙ МЕКСИКИ

03.00.27 – «почвоведение»

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
доктора биологических наук

Петрозаводск 2008

Работа выполнена в лаборатории Экологии и географии почв Института биологии Карельского научного центра Российской академии наук

Научный консультант:

д.г.н., проф.
ТАРГУЛЬЯН Виктор Оганесович

Официальные оппоненты:

д.б.н., проф. М. Н. Строганова
д.г.н., с.н.с. С. В. Горячкин
д.б.н. С. В. Губин

Ведущая организация

Почвенный институт им. В. В. Докучаева

Защита состоится 25 октября 2008 г. на заседании Диссертационного совета Д.053.05.31. в 15 ч. 30 мин. в ауд. М-2 факультета Почвоведения Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова 119992, Москва ГСП-2, Воробьёвы горы, МГУ
Тел.: 939-24-67

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Факультета почвоведения МГУ им. М. В. Ломоносова

Автореферат разослан «10» июля 2008 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



А. С. Никифорова

Актуальность работы. Большинство работ, посвящённых почвообразованию в тропиках, основано на анализе профилей, развитых в равнинных, относительно тектонически-стабильных областях, таких как экваториальные районы Африки, Амазония и равнинные районы Юго-Восточной Азии. До настоящего времени наши знания о почвах горных систем тропического пояса довольно фрагментарны, особенно с точки зрения почвенной географии. Между тем горные земли потенциально имеют высокую ценность для лесоводства и агролесоводства (например, для ряда систем выращивания кофе под пологом древесной растительности), а также для охраны вод и биологических ресурсов. Поэтому исследование почвенного покрова горных тропических лесов представляет не только большой научный интерес, но и имеет высокую практическую значимость. Эта значимость особенно велика в таких странах, как Мексика, где горы занимают более половины территории, и потому неизбежно представляют собой объект хозяйственного освоения.

Научная ценность исследования складывается из нескольких аспектов. Во-первых, работа имеет ресурсоведческую значимость: ранее почвы горных тропических лесов юга Мексики не исследовались с почвенно-географической точки зрения. Географо-генетическая характеристика почв и почвенного покрова этих малоисследованных территорий показала неадекватность ранее существовавших представлений как о преобладании ферралитного почвообразования на всей территории Южной Мексики, так и о безусловном доминировании в горных системах региона маломощных каменистых почв (Лептосолей). Во-вторых, исследование решает фундаментальную задачу генезиса и географии почв: выявление генезиса почвенных тел, составляющий почвенный покров, и процессов, регулирующих организацию почвенного покрова в пространстве. Наконец, исследование почв горных лесных экосистем тропиков может дать ценные сведения об экологических функциях почв в целом. В частности, почвенный покров горных тропических малонарушенных экосистем представляет собой оптимальный полигон для исследований связи почвенного разнообразия и биоразнообразия.

Цели и задачи. Целью работы было выявление генетических особенностей почвообразования и закономерностей пространственной организации почв в переменновлажных горных тропических и горных туманных лесах Южной Мексики. В рамках данной цели были поставлены следующие задачи:

1. Дать характеристику основных почвенных групп, характерных для упомянутых биоклиматических поясов.
2. Выявить вклад латеральных склоновых процессов в формирование почв и почвенного покрова в изученных высотных поясах.
3. Выявить закономерности в изменении свойств почв и организации почвенного покрова по высотному градиенту внутри почвенно-биоклиматических высотных поясов.
4. Определить значение разнообразия почвенного покрова для видового разнообразия древесных растений.

Объекты и районы исследований. Полевые работы проводились в 2001–2007 годах на территории Мексики, в штатах Оахака, Пуэбла, Мичоакан, Мехико и Веракрус. Преимущественно исследования были привязаны к физиоко-географической провинции Сьерра Мадре дель Сур, занимающей значительную часть Южной Мексики.

Защищаемые положения:

1. Зрелый зональный тип почвенного профиля в поясе переменновлажных горных лесов представляет собой результат действия процессов длительного и глубоко проникающего ферриаллитного выветривания и наложенных на этот фон процессов текстурной дифференциации. Сочетание этих групп процессов формирует красноцветные глинистые текстурно-дифференцированные почвы (Алисоли).

2. Пространственное распространение зрелых почв в этом горном поясе сильно ограничено повсеместными денудационно-аккумулятивными латеральными процессами, омолаживающими профиль зрелых почв или путем срезания наиболее выветрелых элювиальных горизонтов, или путем привноса менее выветрелого делювиально-коллювиального материала на поверхность. Вследствие этого широкое распространение в этом поясе получают более молодые, менее выветрелые и слабо текстурно-дифференцированные почвы (Умбрисоли, Камбисоли и Алисоли лёгкого гранулометрического состава).
3. Выявлен высотный градиент в свойствах ферсалилитных почв и в организации почвенного покрова внутри пояса переменного-влажных тропических горных лесов, который выражается в том, что: а) в верхней части пояса формируются наиболее выветрелые почвы, без признаков иллювиирования глины, а на нижней – глинистые почвы с отчётливой текстурной дифференциацией, б) с высотой внутри пояса относительно увеличивается площадь, занимаемая выветрелыми ферсалилитными почвами, и уменьшается площадь, занимаемая сравнительно молодыми почвами, в) почвенное разнообразие возрастает с высотой.
4. Видовое разнообразие древесной растительности прямо зависит от пестроты почвенного покрова, поскольку существует различие в составе видов на разных почвенных выделах. Видовое разнообразие растительности в поясе переменного-влажных тропических горных лесов выше на более продуктивных почвах (менее кислых, богатых органическим углеродом и азотом).
5. В горных туманных лесах выявлен специфический тип почвообразования, который сочетает признаки ферсалилитного выветривания (образование преимущественно гиббсита и (гидр)оксидов железа), подзолообразования (кислотный гидролиз силикатов и вынос его продуктов из верхних горизонтов), элювиально-глеевого процесса (формирование поверхностного осветлённого горизонта за счёт постоянного поверхностного переувлажнения).
6. Внутри пояса горных туманных лесов существует высотный градиент: с высотой увеличивается мощность элювиально-глеевого горизонта и дифференциация профиля по илу в результате кислотного гидролиза тонкодисперсных фракций в поверхностных горизонтах.

Научная новизна. В работе впервые:

1. Исследован и систематизирован состав почвенного покрова переменного-влажных горных тропических лесов Южной Мексики, установлено, что структура почвенного покрова представляет собой эрозионную мозаику-сочетание ферсалилитных глинистых красноцветных текстурно-дифференцированных почв (Алисолей), и разнообразных аккумулятивно-гумусовых (Файозёмы, Умбрисоли) и относительно слабо развитых почв (Регосолей, Камбисолей) с салилитным типом выветривания.
2. Разработана схема почвообразования для переменного-влажных горных тропических лесов с включением геоморфологических процессов: периодическое обнажение почвообразующих пород в результате склоновых процессов в результате активной тектоники региона и последующее развитие почв на экспонированных поверхностях.
3. Выявлен тренд внутри пояса переменного-влажных горных тропических лесов, связанный с соотношением интенсивностей почвообразовательных и склоновых процессов. Эрозионная сеть развивается снизу вверх, с пояса листопадных переменного-влажных лесов, и с высотой её густота снижается. Соответственно, с высотой снижается доля молодых почв в почвенном покрове, а почвенное разнообразие возрастает.
4. Установлено, что разнообразие видов древесных растений в поясе переменного-влажных горных тропических лесов увеличивается с ростом почвенного разнообразия: в сходных экосистемах на разных почвах состав видов деревьев различен, в результате

чего увеличивается количество экотонів и, соответственно, общее биоразнообразие экосистемы.

5. Описан специфический тип кислого почвообразования под пологом горных туманных лесов, соединяющий черты ферралитного выветривания, подзолообразования и элювиально-глеевого процесса.

Практическая значимость. В ходе работ были составлены крупномасштабные почвенные карты и картограммы отдельных почвенных свойств (кислотности, содержания органического углерода, гранулометрического состава и стабильности почвенных агрегатов) кофейных плантаций «Эль Синаи», «Ла Кабанья» и «Эль Нуэве» в штате Оахака, Мексика. На основании исследований были оценены риски денудационных процессов на территории плантаций и разработаны рекомендации по охране почв от эрозии. Исследование связи биологического разнообразия и пестроты почвенного покрова позволило выработать для неправительственных организаций штата Оахака рекомендации по природоохранной деятельности и организации научно-экологического туризма. Исследование почв горных туманных лесов дало возможность разработать для индейской коммуны Санта Крус Тепетотутла рекомендации по рациональному использованию земель и обосновать запрос на материальную поддержку коммуны со стороны Министерства природных ресурсов Мексики в связи с высокими запасами углерода в почвах исследованного района.

Апробация работы. Результаты работы представлены в устных и стендовых докладах на двух Международных конгрессах по почвоведению (Бангкок, 2002 г. и Филадельфия, 2006 г.), трёх Делегатских съездах Общества почвоведов им. В.В. Докучаева (Санкт-Петербург, 1996 г, Суздаль, 2000 г. и Новосибирск, 2004 г.), а также на 17 международных и трёх всероссийских конференциях. В законченном виде работа апробирована в виде докладов на заседаниях лаборатории Эволюции и географии почв ИГ РАН, лаборатории Экологии и географии почв Института биологии КарНЦ РАН и кафедре географии почв факультета Почвоведения МГУ им. М. В. Ломоносова.

Публикации. По теме работы опубликовано 43 научные работы, в том числе 15 статей в рецензируемых научных журналах.

Структура и объём работы. Работа состоит из введения, 4 глав, заключения и приложений. Диссертация включает 305 стр. текста, 31 рисунок и 15 таблиц, а также 118 стр. приложений. Список литературы включает 511 названий, в том числе 415 на иностранных языках.

Благодарности. Автор выражает искреннюю благодарность В. О. Таргульяну, С. А. Шобе, С.Н. Седову за ценные советы и продуктивное обсуждение материалов работы, Н. Е. Гарсиа Кальдерон, А. Ибаньесу Уэрта, Э. Фуэнтес Ромеро, Н. Веласкесу Росас, Г. Альваресу Артеага за содействие и помощь в сборе полевых данных, К. Крузу Кайстардо и Э. Герреро Эуфрасио и всем инженерам Почвенного департамента INEGI за помощь в сборе данных и ценные консультации, А. Н. Сафонову за выполнение рентгеновской дифрактометрии почвенных фракций, Н. Н. Донсковой, И. М. Лантратовой, Р. Рамос Бейо, Э. Фуэнтес Ромеро, М. дель С. Галисиа Паласиас, А. И. Каштановой, Л. И. Скороходовой за выполнение химических и физических анализов почвенных образцов, В. А. Сидоровой за помощь в геостатистической обработке материала и подготовке ряда публикаций.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

ГЛАВА 1. Почвенно-географический очерк территории Мексики

В первой главе даётся общая характеристика физико-географических условий Мексики, рассматривается изученность почвенного покрова страны, на основе литературных и собственных данных автора описываются основные генетические группы почв Мексики и рассматриваются вопросы почвенно-географического районирования страны.

Соединённые Штаты Мексики – страна обширная по территории и крайне разнообразная по физико-географическим характеристикам. Прежде всего, это связано со сложной орографией страны, которая сформировалась в результате активных тектонических процессов, как древних, так и современных. Из-за гористости рельефа четко выражена высотная зональность. Климат на территории Мексики варьируется сообразно топографии местности, а именно, он жаркий и влажный на обоих побережьях страны, но на внутренних территориях, находящихся в горной тени горных систем Сьерра Мадре, климат суше и умереннее. Сложный гористый рельеф определяет огромное разнообразие биоклиматических условий Мексики.

В отечественной литературе почвы Мексики отражены довольно слабо. В обзорных работах и учебных пособиях (Глазовская, 1973; Розанов, 1977; Розов, Строганова, 1979) приводятся самые общие сведения о почвенном покрове страны. Вкратце взгляды отечественных почвенных географов, основанные на общих представлениях о закономерностях формирования почвенного покрова, можно сформулировать в трёх положениях: а) широкое распространение в аридной зоне Мексики процессов карбонато-, гипсо- и соленакопления в каменистых и глинистых пустынях, б) широкое, чуть не повсеместное, распространение коричневых и близких к ним почв, в) доминирование на тропическом юге страны глубоко выветрелых ферраллитных, ферритных и аллитных кор и почв, в том числе на горных склонах и на известняках острова Юкатан. Эти взгляды находятся в известном противоречии с данными, полученными с началом систематических почвенно-картографических работ в стране. Сравнение обзорных почвенных карт Мексики, построенных на эмпирических данных (54 тысячи профилей), с гипотетическими картами русской школы показывает существенное отличие в содержании почвенных контуров, особенно для Южной Мексики. Глубоко выветрелые почвы практически отсутствуют в южной части страны; большая часть горных почв юга отмечены как маломощные и слаборазвитые почвы (Литосоли и Регосоли), а почти вся территория полуострова Юкатан – как Рендзины.

Районирование территории Мексики осуществлялось только в рамках районирования почвенного покрова мира отечественными исследователями (Глазовская, 1973; Розанов, 1977; Розов, Строганова, 1979). Упомянутые системы районирования в слабой степени отражают реальное разделение Мексики на естественные почвенные области вследствие расхождения между концептуальными схемами районирования и эмпирическими данными. Мы предлагаем разделить территорию Мексики на две большие области, условно соответствующие аридному и гумидному типам почвообразования. В дополнение имеет смысл, вслед за И. А. Соколовым (2004), который разделял аридный, гумидно-тропический и вулканический типы экзогенеза, на самом высоком уровне также выделить Трансмексиканский вулканический пояс как область преимущественного накопления вулканических осадков и формирования специфических вулканических почв.

Используя как основу схему физико-географического подразделения территории Мексики, в пределах этих трёх областей мы выделили ряд почвенных провинций (Krasilnikov and Reyna Trujillo, 2007). Хотя критерий выделения провинций был почвенно-географический (по преобладающим почвам и/или почвенным комбинациям), границы областей определялись по факторным критериям: равнинному или преимущественно горному рельефу, относительно однообразному климату (либо сходной мозаики климатов, связанной с горной и предгорной зональностью) и сходству почвообразующих пород. Значение каждого из этих критериев различно в зависимости от конкретной почвенной

провинции; например, полуостров Юкатан и Сьерра Мадре Ориденталь выделялись по преобладанию известняков в составе почвообразующих пород, Трансмексиканский вулканический пояс – по породам преимущественно пирокластического происхождения, провинции Низкогорий Севера и Центральная Меса разделялись по степени аридности климата, провинции Северной и Южной береговых равнин Мексиканского залива – по температурному градиенту и степени дренированности территории. В результате были выделены следующие провинции:

1. Аридная и семиаридная область

- 1.1. Горная провинция Баха Калифорния слабодифференцированных (Регосоли, Камбисоли), песчаных (Флювисоли, Ареносоли) и маломощных (Лептосоли) почв.
- 1.2. Провинция Равнина Сонора карбонатных (Кальцисоли), слитых (Вертисоли) и текстурно-дифференцированных (Лювисоли) почв с включением засоленных и слаборазвитых почв.
- 1.3. Провинция Низкогорий Севера карбонатных (Кальцисоли), слитых (Вертисоли) и слабодифференцированных (Регосоли, Камбисоли) почв.
- 1.4. Провинция Великих равнин Северной Америки карбонатных (Кальцисоли) и гумус-аккумулятивных карбонатных (Чернозёмы, Каштанозёмы) почв.
- 1.5. Провинция Центральная Меса гумус-аккумулятивных бескарбонатных (Файозёмы) и слабодифференцированных (Камбисоли, Регосоли) почв.

2. Гумидная и семигумидная область

- 2.1. Горная провинция Сьерра Мадре Осиденталь текстурно-дифференцированных (Лювисоли) и гумус-аккумулятивных бескарбонатных (Файозёмы) почв с включениями маломощных (Лептосоли) и слитых (Вертисоли) почв.
- 2.2. Горная провинция Сьерра Мадре Ориденталь маломощных гумусированных почв на карбонатных породах (Рендзиковых Лептосолей и Файозёмов), текстурно-дифференцированных (Лювисоли) и слабодифференцированных (Камбисоли) почв.
- 2.3. Провинция Тихоокеанская береговая равнина слабодифференцированных (Камбисоли) и гумус-аккумулятивных карбонатных (Каштанозёмы) почв.
- 2.4. Провинция Северная береговая равнина Мексиканского залива слитых (Вертисоли) и гумус-аккумулятивных бескарбонатных (Файозёмы) почв.
- 2.5. Провинция Южная береговая равнина Мексиканского залива (полу)гидроморфных (Стагносоли, Флювисоли, Глейсоли, Гистосоли), слитых (Вертисоли) и текстурно-дифференцированных тропических (Акрисоли) почв.
- 2.6. Горная провинция Сьерра Мадре дель Сюр текстурно-дифференцированных тропических (Акрисоли, Алисоли), гумус-аккумулятивных бескарбонатных (Файозёмы, Умбрисоли) и слабодифференцированных (Камбисоли, Регосоли) почв.
- 2.7. Провинция Юкатан маломощных гумусированных почв на карбонатных породах (Рендзиковых Лептосолей и Файозёмов).
- 2.8. Горная провинция Хребтов Чиапаса и Гватемалы текстурно-дифференцированных (Лювисоли, Алисоли), гумус-аккумулятивных бескарбонатных (Файозёмы, Умбрисоли) и маломощных (Лептосоли) почв.
- 2.9. Горная провинция Центральноамериканская Кордильера текстурно-дифференцированных тропических (Акрисоли, Алисоли) и маломощных (Лептосоли) почв.

3. Вулканическая область

- 3.1. Горная провинция Трансмексиканский вулканический пояс пеплово-вулканических (Андосоли), гумус-аккумулятивных бескарбонатных (Файозёмы), текстурно-дифференцированных (Лювисоли) и слитых (Вертисоли) почв.

ГЛАВА 2. Теоретически основы и методы исследований

Во второй главе описываются теоретические основы и общая методология исследований, а также конкретные методы исследований, использованные в данной работе. В данной работе мы использовали *сравнительно-географические* и *сравнительно-аналитические* методы и, в очень ограниченной степени, методы *моделирования*, преимущественно геостатистического. Основной акцент делался на реконструкции почвообразовательных процессов, определивших формирование и эволюцию почвенных тел. При построении процессно-генетических моделей нами использовались термины и понятия, разработанные для элементарных почвенных процессов (ЭПП) А. А. Роде (1948, 1957) и впоследствии уточнённые рядом авторов (Таргульян, 2005; Bockheim and Gennadiev, 2000; Targulian and Krasilnikov, 2007).

Для исследования почв и их пространственного распределения использовались следующие методы и подходы географии почв: метод трансект, метод катен и метод ключей. Закладка почвенных разрезов, описание мофрологии, мезо- и микроморфологии почв, определение химических, физико-химических и физических свойств почв, выделение и рентген-дифрактометрическое определение минералогического состава илистых и тонкопылеватых фракций проводились по стандартным методикам. Почвы классифицировались в соответствии с последней версией Мировой реферативной базы, WRB (IUSS Working Group WRB, 2006). Для ряда участков, расположенных в горной системе Сьерра Мадре дель Сюр, были определены показатели почвенного разнообразия: индексы Шаннона-Винера, Симпсона, а также индексы плотности и дробности (Красильников и др., 2000; Красильников и Фуэнтес Ромеро, 2003). Почвенное разнообразие – это формальная характеристика организации почвенного покрова, которая позволяет оценивать его сложность вне зависимости от реального наполнения почвенных контуров (Ibanez et al., 1990, 1995; Красильников и Фуэнтес Ромеро, 2003). Также была проведено исследование влияния почвенного разнообразия на видовое β -разнообразие древесных растений по ранее разработанной нами методике (Красильников, 2000, 2001; Krasilnikov, 2001). На территории кофейной плантации «Монте Карло» была исследована естественная древесная растительность на двух участках, имеющих одинаковые экологические условия, за исключением различия в почвенных условиях. Чтобы разделить два участка с флористической точки зрения, мы использовали так называемые коэффициенты сходства: коэффициент Сёренсена и индекс Ренконена. Мы считали древесные сообщества на разных почвах различными, если их сходство было ниже, чем в пределах одной почвы. Для исследования почвенных предпочтений (эдафических предпочтений) древесных пород были выбраны шесть наиболее распространённых видов деревьев. Для каждого дерева учитывались данные по свойствам почвы, взятые из ближайшего пункта отбора образцов по регулярной сетке. Затем подсчитывалась встречаемость каждого из видов в определённом диапазоне каждого из исследованных почвенных свойств. Также в настоящей работе для решения некоторых специальных задач (например, для выявления пространственного распределения свойств почвы, ответственных за эрозионную устойчивость почв) мы применяли геостатистические методы.

ГЛАВА 3. Почвенно-геоморфологические закономерности формирования почвенного покрова тропических горных лесов Сьерра Сюр де Оахака

Работы проводились на южном (тихоокеанском) макросклоне горной системы Сьерра Мадре дель Сюр; исследованная часть относится к горной цепи Сьерра Мадре де Оахака (Рис. 1.). Вертикальная поясность растительных зон в горной системе Сьерра Мадре дель Сюр представлена на Рис. 2. На Тихоокеанском побережье от уровня моря до высот около 1500 м над уровнем моря располагаются горные тропические переменновлажные леса: в Мексике, в соответствии с классификацией Дж. Седовского (Rzedowski, 1978), их принято разделять на листопадные и полулистопадные.

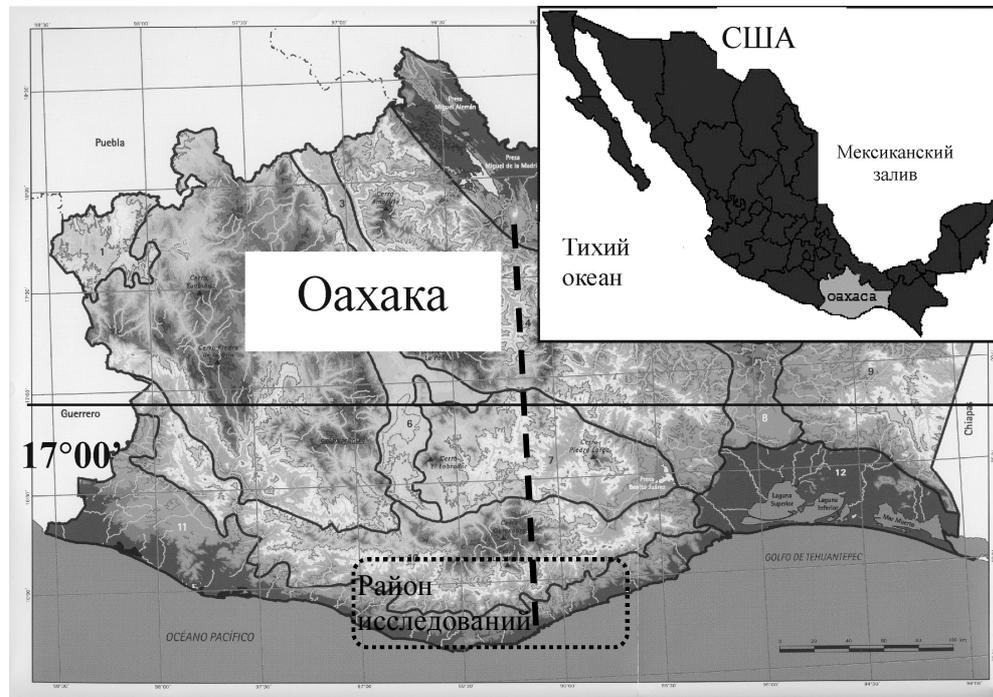
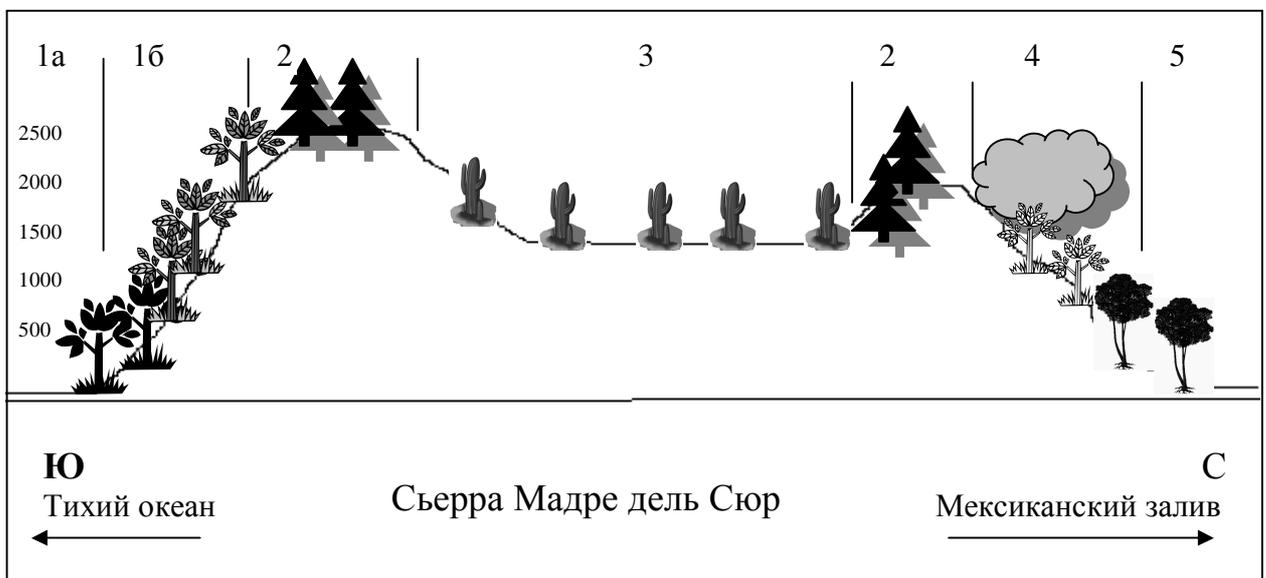


Рис. 1. Расположение района исследований: южный (Тихоокеанский) макросклон горной системы Сьерра Сюр де Оахака; пунктирная линия показывает трансекту рис.2

Первые формируются в условиях климата с явно выраженным сухим сезоном, который длится от 5 до 8 месяцев; общее годовое количество осадков варьирует от 600 до 1200 мм. Вторые представляют собой переходный тип от листопадных переменновлажных тропических лесов к вечнозелёным тропическим лесам: они формируются в условиях более влажного климата (1000–1600 мм осадков в год, в течение сухого периода, который длится от 5 до 7 месяцев, сохраняется высокая атмосферная влажность), и потому значительная часть древесных пород сохраняет листву в течение всего года. На Тихоокеанском склоне Сьерра Мадре дель Сюр (Рис. 2) от уровня моря до абсолютных высот около 500 м расположены более сухие листопадные леса, а выше, в диапазоне высот от 500 до 1500 м над уровнем моря, в зоне

Рис. 2. Распределение типов растительности (по классификации Дж. Седовского (Rzedowski, 1978)) по меридиональной трансекте Сьерра Мадре дель Сюр. 1 – переменновлажные горные тропические леса (а – листопадные, б – полулистопадные), 2 – субгумидные дубово-сосновые леса, 3 – маторраль (ксерофитная кактусово-юкковая растительность), 4 – горные туманные леса, 5 – тропические вечнозелёные леса.



разгрузки осадков из влажных атмосферных масс, приходящих с океана – полулистопадные переменнно-влажные горные тропические леса.

В верхней части пояса полулистопадных горных лесов по отдельным ущельям (которые служат своеобразными «ловушками» для атмосферной влаги) встречаются фрагменты более гумидных и холодных горных туманных лесов. Выше 1500 м над уровнем моря, над зоной дождевой разгрузки, количество осадков вновь уменьшается, и в растительном покрове доминируют семигумидные сосново-дубовые леса. Наши исследования проводились в пределах пояса переменнно-влажных полулистопадных тропических лесов. В этом поясе климат характеризуется как тёплый влажный изотермический (García, 1973) со среднегодовым количеством осадков от 1800 до 2000 мм и средними годовыми температурами от 21 до 21.9°C. Колебание температур по сезонам не превышает 5°C. В регионе выделяется два сезона: сухой с декабря по май и влажный с июня по ноябрь. Коренные породы Сьерра Мадре де Оахака представлены в основном палеозойскими гнейсами и амфиболитами и кайнозойскими интрузиями гранитов; отдельными участками встречаются осадочные породы, в том числе и карбонатные (Hernandez et al., 1996). Подробные исследования почв проводились на двух катенах (Рис. 3), заложенных на территории кофейной плантации «Ла Кабанья» (Krasilnikov et al., 2005).

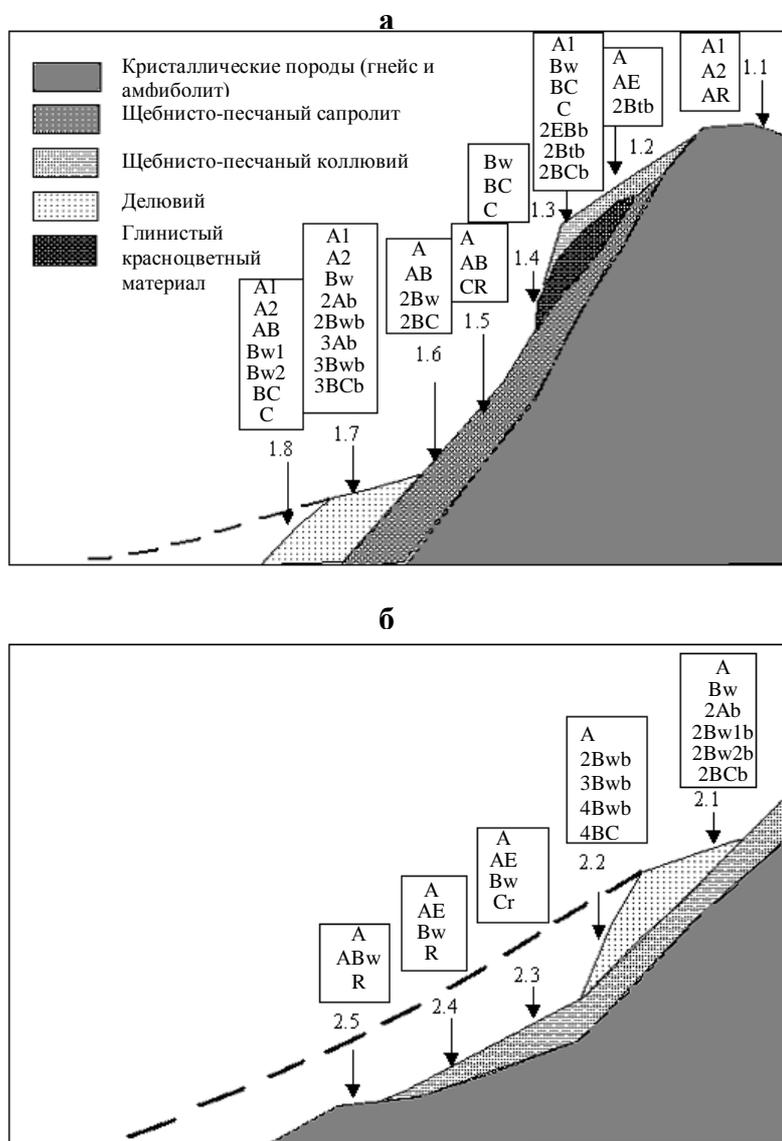


Рис. 3. Схематическое изображение двух катен (а – «Ла Каньерия», б – «Пало Пьедра»), заложенных на кофейной плантации «Ла Кабанья», Оахака. Пунктирные линии показывают идеальную форму склона; в реальности катены открыты, с перпендикулярным сносом материала в нижней части склона водными потоками

Первая катена, «Ла Каньерия», была заложена на сложном склоне восточной экспозиции и состояла из 8 профилей, сформировавшихся на разнородных отложениях, подстилаемых гнейсовой скалой. Первый профиль был заложён на выпуклом плече склона на высоте 790 м над уровнем моря. Вторым и третьим профили были заложены на выпуклой верхней части склона на высотах 770 и 755 м, соответственно. Четвёртым, пятым и шестым профили были заложены на прямой средней части склона на высотах 748, 730 и 717 м, соответственно. Последние два профиля были заложены на вогнутой нижней части склона на высотах 702 и 692 м. Ниже протекает ручей, перпендикулярный склону. Вкратце морфология профилей сводится к следующим характеристикам. Профиль 1.1.1., классифицированный как Умбриковая Лептосо́ль, (гиперскелетиковая), представляет собой гумусированную маломощную почву с хорошей зернистой структурой. Тонкий слой мелкозёма подстилается фрагментированной гнейсовой скалой с гумусированным мелкозёмом, засыпанным по трещинам. Профиль 1.1.2. был классифицирован как Кутаниковая, Альбиковая, Молликовая Алисо́ль (хромиковая), а профиль 1.1.3. – как Кутаниковая, Альбиковая Алисо́ль (рапниковая, хромиковая). Обе эти почвы относительно мощные, тяжёлого гранулометрического состава и с красноцветными горизонтами В, однако профиль 1.1.3. имеет более сложное строение. Первые 65 см в почве 1.1.3. представляют собой наложенный субпрофиль, образовавшийся в относительно свежих поверхностных отложениях, скорее всего, коллювиального происхождения. В субпрофиле выделяются горизонты А, Вw, ВС и С. Мезо- и микроморфологические исследования показали, что горизонт А характеризуется хорошей биогенной микроструктурой; в глинистую плазму спорадически включены зёрна выветрелых минералов песчаного размера. В горизонте Вw наблюдаются отдельные глинистые кутаны иллювиирования, преимущественно по трещинам в древесине и по порам, частично фрагментированные за счёт биогенной турбации. Обычны смешанные глинисто-пылеватые кутаны, в особенности по биогенным крупным порам. В горизонтах ВС и С этого субпрофиля количество глинистых кутан и биогенных агрегатов убывает с глубиной; часть фрагментарных глинистых кутан претерпевает также биогенную деградацию. На глубине 65 см обнаруживается погребённая почва: в профиле 1.1.3. Кутаниковой Альбиковой Алисо́ли погребённый профиль был разделён на горизонты 2EBb, 2Vtb и 2VCb. Осветлённый горизонт 2EBb имеет пятнистую окраску с красными и красновато-жёлтыми зонами. В обеих зонах присутствуют глинистые кутаны, однако они существенно более многочисленны и интенсивно окрашены в красноцветных зонах. Горизонт 2Vtb глинистый, в нём наблюдаются многочисленные хорошо развитые глинистые кутаны иллювиирования, как на поверхности агрегатов, так и в порах; практически отсутствуют обломки пород, за исключением некоторых фрагментов, выветрелых до состояния мягкого сапролита. На микроуровне заметна сегрегация железа с образованием микропрослоев и мелких железисто-марганцевых нодулей размером 20-200 мкм. Отметим хорошо развитую призмовидную структуру горизонта. В горизонтах 2EBb и 2Vtb погребённого профиля обнаруживается крайне мало минералов, способных к выветриванию в песчаной фракции; большая часть этих минералов сильно выветрела. Горизонт 2VCb сходен с 2Vtb, однако количество иллювиированной глины в нём ниже, а содержание сапролитизированных обломков пород – выше. Микроскопическое исследование выявило биогенные реликты (копролиты) в микроструктуре горизонта 2VCb; в результате более поздних процессов биогенные агрегаты покрыты тонкими глинистыми кутанами иллювиирования. Профиль 1.1.2. в целом сходен по строению с профилем 1.1.3., но менее сложен: его верхняя часть, вложенная в коллювиальные отложения, подразделяется на горизонты А и EB, а в погребённой части выделяется только один горизонт 2Vtb. В верхнем горизонте несколько более обильны обломки пород; отмечается хлоритизация гнейса, которая позволяет установить источник хлорита и продуктов его деградации в составе илстой фракции почвы. В горизонте EB отмечаются глинистые кутаны, в значительной степени переработанные в зоогенные

копролиты. В горизонте 2Vtb обнаруживаются хорошо развитые кутаны иллювиирования (глинистые и пылеватые) и признаки интенсивного выветривания минералов, в особенности амфиболов. Профиль 1.1.4., классифицированный как Кутаниковая Лювисоль (гиперохриковая, клэйниковая, хромиковая), представляет собой эродированную (среднесмытую) почву без гумус-аккумулятивного горизонта. Красноватый горизонт Bw залегает непосредственно на поверхности под фрагментарной тонкой лесной подстилкой. Горизонт Bw сходен по морфологии с горизонтами 2Vtb, описанными в профилях 1.1.2. и 1.1.3., залегающих выше по склону. Профили 1.1.5. и 1.1.6. – каменистые почвы суглинистого гранулометрического состава – были классифицированы как Эндолептиковая Камбисоль (эутриковая, скелетиковая) и Гапликовая Камбисоль (эутриковая, скелетиковая), соответственно. Верхний горизонт профиля 1.1.5. характеризуется зернистой структурой и довольно высокой биологической активностью. Почва отличается высокой каменистостью, которая увеличивается с 30% на поверхности до более 90% в нижнем горизонте; обломки пород разнообразных размеров (дресва, щебень, глыбы) неокатаны и не имеют признаков выветривания. Профиль 1.1.6. имеет несколько более сложное морфологическое строение. Верхние горизонты почвы (A и AB) имеют тёмный цвет, хорошо развитую зернистую структуру и высокую степень каменистости (40-50%). Нижние горизонты (2Bw и 2BC) по ряду признаков сформировались в иных отложениях. Эти горизонты имеют желтоватый цвет, ореховатую структуру, и содержание обломков породы в них существенно ниже, чем в вышележащих горизонтах. Профили 1.1.7. и 1.1.8. представляют собой довольно однородные морфологически, слабо дифференцированные на горизонты почвы, и были классифицированы как Гапликовые Камбисоли (эутриковые). Оба профиля сформированы на хорошо сортированных пылеватых отложениях, почти не содержащих обломочного материала. В обоих профилях структура слабо выражена, все горизонты отличаются высокой пористостью. Наблюдается некоторая стратификация профиля 1.1.7. по составу отложений, можно выделить даже последовательность слаборазвитых погребённых почв; отчётливая смена почвообразующих пород обнаруживается только на глубине 93 см, где резко возрастает каменистость. В профиле 1.1.8. подобной стратификации не наблюдается, только каменистость слегка возрастает в средней части профиля. Вторая catena включает пять профилей, сформированных на элювиальных, коллювиальных и делювиальных отложениях, подстилаемых гнейсами и амфиболитами. Первый профиль был заложен на плече выпуклого склона на высоте 810 м над уровнем моря; выше склон продолжается вплоть до высоты 1200 м. Второй профиль был заложен на выпуклом склоне на высоте 789 м. Третий, четвёртый и пятый профили были заложены на вогнутой средней части склона на высотах 777, 765 и 755 м над уровнем моря, соответственно. Ниже находится откос дороги, ещё ниже – небольшой ручей (на высоте 730 м над уровнем моря). Профили 1.2.1. и 1.2.2. были классифицированы как Гапликовые Камбисоли (раптниковые, эутриковые). В профиле 1.2.1. почвенный материал хорошо сортирован. На глубине 24-44 см наблюдается отчётливо выраженный погребённый горизонт A. На глубине 50 и 95 см были отмечены две «линии камней». Структура почвы крайне непрочна, и в профиле не обнаружено никаких признаков иллювиирования глины. Профиль 1.2.2. в целом сходен по морфологии с вышележащим разрезом. Каменистость в этом профиле сильно варьирует между горизонтами. Горизонт A содержит 20-30% обломков пород разных размеров, преимущественно дресву и щебень, без признаков глубокого выветривания. Залегающий ниже горизонт 2Bw почти не содержит фрагментов пород. Следующий горизонт, 3Bw, напротив, содержит около 80% скелета, преимущественно глыбы без признаков глубокого выветривания. Нижележащие горизонты содержат меньше камней, и большая их часть выветрена до состояния мягкого сапролита. Профили 1.2.3. и 1.2.4., классифицированные как Гапликовые Файозёмы, представляют собой почвы с развитой зернистой структурой биогенной природы горизонта A. В горизонте наблюдается слабо выраженная пятнистость: некоторые зоны

имеют буроватые оттенки, очевидно, связанные с локальным выветриванием железосодержащих минералов. В горизонте не обнаруживается явных аржиллан по граням структурных отдельностей, однако при разламывании щебня по трещинам обнаруживаются фрагментарные кутаны иллювиирования. Глубже залегает горизонт EB, который характеризуется компактным сложением, и в котором не обнаруживаются глинистые кутаны. Микроструктура этого горизонта скелетная, местами наблюдаются пылеватые кутаны (силтаны) с частичной ориентацией материала. Горизонт Bw имеет хорошо выраженную ореховатую, с элементами призмовидной, структуру. Горизонт имеет компактное сложение, в шлифах обнаруживаются скелетные зёрна (более редкие, чем в вышележащем горизонте, но существенно более крупные, размера крупного песка). На поверхности агрегатов обнаруживаются фрагментарные тонкие пылеватые и глинистые кутаны. Глинистые кутаны выражены лучше всего по трещинам в обломках пород, и хорошо видны при разламывании щебня. Горизонт Cg преимущественно сохраняет структуру материнской породы (амфиболита), хотя и выветренной до состояния мягкого сапролита. Признаки почвообразования в этом горизонте немногочисленны, однако удалось обнаружить плотные марганцевые плёнки на поверхности щебня и по трещинам, на поверхности которых местами наблюдаются глинистые кутаны иллювиирования. В профиле 1.2.4. горизонт Cg практически отсутствует, и трещиноватая скала подстилает непосредственно горизонт Bw. Профиль 1.2.5., классифицированный как Лептиковый Файозём, представляет собой маломощную почву с двумя горизонтами. Верхний из них – хорошо оструктуренный, богатый гумусом горизонт A с обильными обломками пород. Ниже залегает горизонт ABw, в верхней части которого каменистость составляет около 50% от объёма, а с глубиной содержание камней увеличивается до 90%, и мелкозём обнаруживается только по трещинам.

Химические свойства всех почв характеризуются средней и слабой кислотностью (pH 4,5–6), относительно высоким содержанием органического углерода в верхних горизонтах (1,5-4,5%, за исключением эродированной почвы) и значительным содержанием обменных оснований в горизонтах A, в составе которых преобладает кальций. В то же время есть существенные различия между красноцветными глинистыми почвами, с одной стороны, и песчано-щебнистыми почвами на молодом элювии и пылевато-песчаными почвами на делювии, с другой. Красноцветные почвы характеризуются значительно более тяжёлым гранулометрическим составом, низкой ёмкостью катионного обмена, высоким содержанием несиликатного железа (до 6,5%) преимущественно в хорошо окристаллизованной форме.

Минералогический состав илистых фракций всех исследованных почв характеризуется высоким содержанием каолинита и галлуазита (Таблица 1). В то же время во всех почвенных горизонтах, за исключением глинистых красноцветных горизонтов Bt, обнаружены и высокие содержания слюды, хлоритов и продуктов их деградации. Также в глинистых красноцветных почвах в верхних горизонтах обнаружены существенные количества глинистых минералов структуры 2:1, что, в совокупности с морфологическими характеристиками почвы (высокая щебнистость и высокое содержание песчаной фракции в верхних горизонтах) было расценено как свидетельство накопления современных склоновых отложений на поверхности почвы.

Таблица 1. Минералогический состав илистой фракции (полуколичественное определение), горизонтов почв района исследований (Сьерра Сюр де Оахака)

Профиль	Горизонт, глубина, см	К	G	Н	I	IV	V	С	CV
Ла Каньерия 1	A1 0-12			xx	x	x		x	x
№ 1.1.1.	A2 12-20	x		xx				x	x
Умбриковая	AR 20+	x		xx				x	xx
Лептосоль									
Ла Каньерия 2	A 0-40	xxx		x		xx		x	x
№ 1.1.2.	EB 40-66	xxx		x		xx		x	x
Кутаниковая, Альбиковая, Молликовая Алисоль	2Btb 66-100	xxx			x				
Ла Каньерия 3	A 0-20	xxx			x				x
№ 1.1.3.	Bw 20-30	xxx						x	xx
Кутаниковая	BC 30-40	xxx			x	x			x
Альбиковая	C 40-65	xxx				x			
Алисоль	2EBb 65-85	xxx				x			x
	2Btb 85-165	xxx			x				
	2BCb165-200	xxx		xxx					
Пало Пьедра 1	A 0-20	xx			x	x	xx	x	xx
№ 1.2.1.	Bw 20-30	xxx					xx		xx
Гапликовая	2Ab 24-44	xxx				x	x		
Камбисоль	2Bw2b 50-80	xx		xx		x	xx		xx
	2BCb80-115	x		xx	xx	x			x
Пало Пьедра 2	A 0-45	xxx			x	x			xx
№ 1.2.3.	EB 45-70	xxx			x		xx		xx
Гапликовый	Bw 70-145	xx					xx		xx
Файозём	Cr 145-170	xx		x			xx		xx
Пало Пьедра 3	A 0-33	x		xx	xx				xx
№ 1.2.4.	Bw 70-110	xx		xx	x				xx
Гапликовый Файозём									
Ла Преса	A 0-12	xxx	xxx		xx		x		
№ 2.5.	AB 12-40	xxx	xxx		xx	x			
Кутаниковая	Bt 40-75	xx	xxx	xx	x				
Умбриковая Алисоль	BC 75-135	xx	xxx	xx					
Эль Мирадор	A1 0-39	xx	xx	xxx	xx	x			
№ 2.6.	A2 39-54	xx	xx	xxx	xx				
Кутаниковая	Bt 54-76	xx	xx	xxx	xx				
Умбриковая Алисоль	BC 76-128	xx	xx	xxx	xx				
Ла Примавера	A1 0-21	xxx	x	x	x	x			
№ 2.7.	A2 21-53	xxx	x	x	xx	xx			
Кутаниковая	Bt 53-75	xxx	x	x	x	x			
Алисоль	C1 75-95	xxx	xx	x	xx	xx			x
	C2 95-142	xxx	x		x	x			

Примечание: К – каолинит, G – гиббсит, Н – галлуазит, I – иллит, IV – смешанослойный иллит-вермикулит, V – вермикулит, С – хлорит, CV – смешанослойный хлорит-вермикулит; x – присутствует в следовых количествах, xx – присутствует в существенных количествах; xxx – преобладающий минерал в илистой фракции; названия участков жирным шрифтом означают почвы, в которых имеются признаки литологической неоднородности

Таблица 1. (продолжение)

Профиль	Горизонт, глубина, см	K	G	H	I	IV	V	C	CV
Эль Эпинасо № 2.3.	A1 0-16	xxx	x	x		x	xx		
	A2 16-36	xxx	x	x			xx		
	Bw 36-72	xxx		x			xx		
Камбиковая Умбрисоль	BC 72-108	xxx		x			xx		
	C 108-172	xxx		x			xxx		
Эль Портийо № 2.8.	A 0-28	xxx	xx	xx	xx	xx			
	Bw 28-58	xxx		x	xx	xx			
	BC 58-103	xxx		x	x	x	x		
Молликовая Умбрисоль	C 103-147	xx		xxx	x	x			
Эль Нуэве 1 № 3.1.	A1 0-25	xxx		x			xx		xx
	AB 45-60	xxx		xx			x		xx
	Bw 60-100	xx		xx			x	x	xx
Гапликовый Файозём									
Эль Нуэве 2 № 3.2.	A 0-55	xxx		x					
	Bo 55-100	xxx				x			
	Bw 100-155	xxx				x			
Ферраликовая Умбрисоль									
Эль Нуэве 3 № 3.3.	A 0-25	x		xxx	xx			xx	x
	Bw 25-50			xx	xx			xx	
	Cr 50-100	x		xx	xx			xx	
Рендзиковый Файозём									

Катена Ла Каньерия интересна сочетанием красноцветных глинистых почв и сравнительно слаборазвитых профилей. Наличие слаборазвитых почв объясняется активностью процессов денудации и аккумуляции материала на склонах; ещё Б. Г. Розанов (1977) отмечал, что во всех горных системах широко распространены бурые слабо дифференцированные профили, которые подчас, наряду с маломощными каменистыми почвами, составляют основной фон почвенного покрова горных территорий. Как известно, повышение скорости как эрозии, так и накопления материала приводит к торможению почвообразовательных процессов (Birkeland, 1999), что объясняет обилие слаборазвитых почв на горных склонах. Анализ современных факторов почвообразования (влажный гумидный климат, высокие среднегодовые температуры, лесные экосистемы, продуцирующие значительные количества опада, дающего кислые продукты разложения) свидетельствует, что и красноцветные глинистые почвы – нормальный компонент ландшафта изученной территории. Почвообразовательные процессы во всех почвах изученной территории сходны. В молодых почвах основные почвообразовательные процессы – накопление гумуса (диагностируется по наличию сравнительно мощных хорошо оструктуренных горизонтов А), иллювиирование глины (наблюдаемое как при полевом описании, так и в шлифах) и современное внутрипочвенное выветривание (что обнаруживается по наличию разнообразных продуктов выветривания силикатов, вплоть до каолинита, и довольно высоким содержаниям Fe_o). В красноцветных профилях обнаруживаются признаки тех же процессов педогенеза, только более выраженные: мощное иллювиирование глины, выщелоченность от оснований, трансформация глинистого материала до стадии каолинита. Несиликатное железо в этих почвах находится в более кристаллизованной форме. Мы должны рассматривать красноцветные глинистые почвы как зрелые продукты тех же самых почвообразовательных процессов, которые действуют в настоящее время в молодых почвах.

Для исследования пространственной организации почв в детальном масштабе и факторов, контролирующих эту организацию, проводились исследования на кофейной плантации «Эль Синай» (Garcia Calderon et al., 2006). Всего было исследовано 22 почвенных разреза;

пространственное распределение почв уточнялось заложением 46 прикопок и полевыми наблюдениями. Почвы исследованной территории довольно разнородны по морфологии и свойствам, и потому для простоты были разделены на три условные группы. Почвы первой группы представлены красноцветными глинистыми профилями с горизонтами иллювиирования глины. По морфологии и химическим свойствам они классифицируются как Гумиковые и Умбриковые Алисоли. Почвы второй группы также относятся к Алисолям, однако имеют более лёгкий гранулометрический состав, и цвет горизонта В варьирует от бурого до жёлтовато-бурого. Почвы третьей группы имеют супесчаный и легкосуглинистый гранулометрический состав и характеризуются достаточно мощным, богатым органическим горизонтом А, бурым и желтовато-бурым цветом горизонтов В, не имеют признаков иллювиирования глины, и классифицируются как Молликовые и Гапниковые Умбрисоли. Мы предположили, что почвы участка составляют хроноряд от Молликовых Умбрисолей до глинистых красноцветных Алисолей. Таким образом, разновозрастные почвы сосуществуют на одном небольшом участке в результате того, что экспонировались на поверхность в разное время. Мы условно ранжировали почвы в последовательность от Молликовых Умбрисолей (которые из изученных почв считаем самыми молодыми) до глинистых красноцветных Алисолей (которые были приняты за наиболее развитые). Мы предлагаем модель, в которой слабовыветрелые, слабокислые, богатые основаниями почвы на первом этапе своего развития выщелачиваются, становятся более кислыми, и в них начинается иллювиирование глины. Процесс партлювации приводит к развитию текстурно-дифференцированного профиля. Одновременно происходит выветривание минерального материала почвы, в результате чего в составе илистой фракции всё более преобладают менее активные глинистые минералы (каолинит, гиббсит). Основные тренды в развитии свойств почв мы представили на Рис. 4.

Экспонирование свежих поверхностей связано как с оползнями, так и с денудационными процессами. Мы рассмотрели связь устойчивости почв к эрозии (стабильности агрегатов) с содержанием органического углерода и гранулометрическим составом почв (García Calderon et al., 2004a; García Calderon et al., 2008). Линейная регрессия показала положительную связь стабильности агрегатов с содержанием органического С и песчаной фракции в почве. Положительная зависимость стабильности агрегатов от содержания органического вещества в почве отмечалась многими авторами (van der Watt and Valentin, 1992; Gavande, 1992; Warrick, 2002). Однако возрастание стабильности агрегатов с увеличением содержания песка противоречит как теоретическим соображениям (Gavande, 1992), так и конкретным результатам, полученным другими исследователями (Akaigbo et al., 1999; Veihe, 2002). Мы предположили, что гранулометрический состав связан с минералогией илистой фракции почв, которая и влияет в большей степени на стабильность агрегатов. По нашим данным, на участке в почвах тяжёлого гранулометрического состава в илистой фракции абсолютно преобладает каолинит и гиббсит. В почвах более лёгкого гранулометрического состава в составе ила присутствует существенное количество минералов структуры 2:1, которые образуют комплексы с гумусовыми веществами через «мостики» двухвалентных оснований (Nayan et al., 2002). Наличие органо-глинистых комплексов стабилизируют почвенную структуру в большей степени, чем свободное органическое вещество почвы.

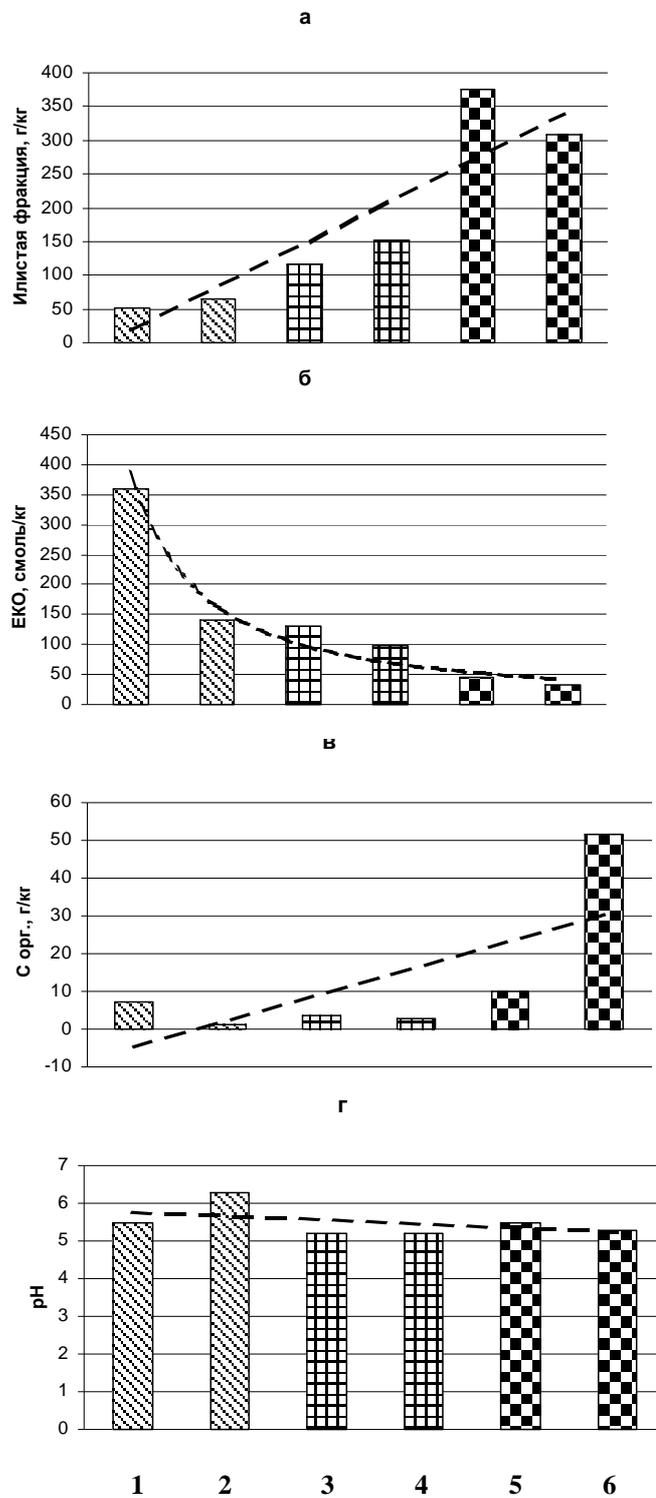


Рис. 4. Тренды в изменениях свойств почв кофейной плантации «Эль Синаи» со временем. 1 – «Эль Портийо», Молликовая Умбрисоль; 2 – «Эль Эспинасо», Камбиковая Умбрисоль; 3 – «Ла Примавера», Кутаниковая Алисоль; 4 – «Эль Мирадор», Кутаниковая Умбриковая Алисоль; 5 – «Эль Ранчито В», Кутаниковая Молликовая Алисоль; 6 – «Ла Преса», Кутаниковая Умбриковая Алисоль.

Таким образом, наиболее стабильные агрегаты наблюдаются в почвах относительно лёгкого гранулометрического состава, содержащих существенное количество органического углерода. Эти результаты позволяют объяснить один из механизмов формирования разновременной почвенной мозаики. На продвинутых этапах саморазвития почвы за счёт разрушения органо-глинистых комплексов снижается стабильность агрегатов, а значит, и устойчивость почв к водной эрозии. В результате значительная часть развитых почв эродирована, давая начало новому циклу почвообразования.

На территории кофейной плантации «Эль Нуэве» было заложено три почвенных разреза: на современном песчаном щебнистом элювио-делювии гнейсов (Гапликовый Файозём), на глинистом элювио-делювии, сформированном преимущественно древними продуктами выветривания тех же гнейсов (Ферраликовая Умбрисоль), и на элювио-делювии слабометаморфизованных известняков (Рендзиковый Файозём). В данном случае нас интересовало, насколько разнятся химические свойства почв, сформировавшихся в сходных биоклиматических условиях, но на принципиально разных почвообразующих субстратах. Принципиально отличается от двух прочих профилей Рендзиковый Файозём, сформировавшийся на известняке. Все три почвы богаты органическим веществом. Ферраликовая Умбрисоль отличается от двух прочих почв более низкой катионообменной способностью и насыщенностью основаниями, преимущественно каолиновым составом илистой фракции, более тяжёлым гранулометрическим составом и более высокой кислотностью. Гапликовый Файозём характеризуется более лёгким гранулометрическим составом, более высокой каменистостью, и высоким содержанием лёгкой фракции органического вещества. Рендзиковый Файозём имеет самую высокую из трёх почв насыщенность основаниями, сочетание высокой каменистости и глинистого гранулометрического состава, а в составе гумуса этой почвы, в отличие от прочих почв, преобладают гуминовые кислоты.

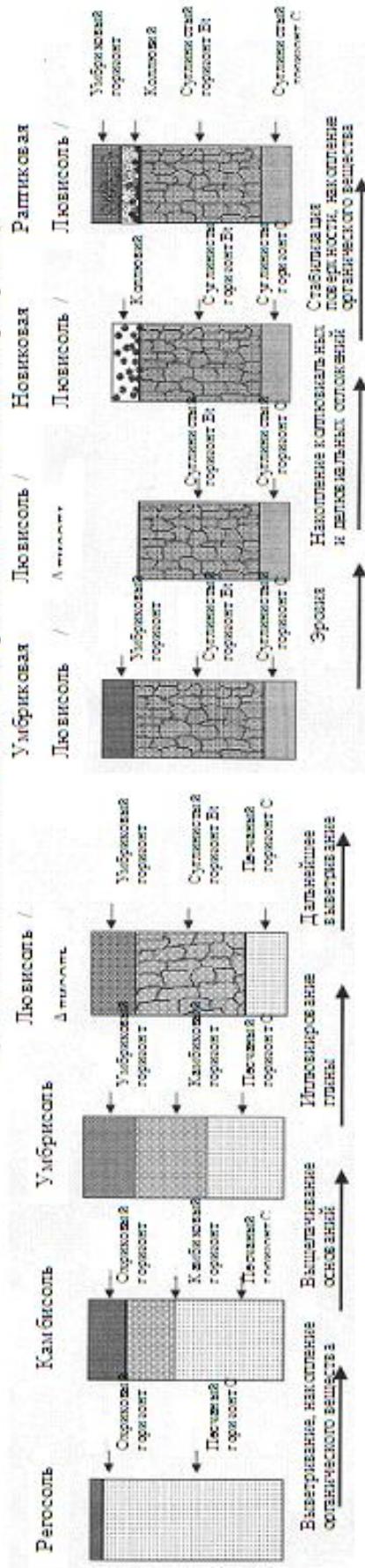
Результаты исследований привели нас к выводу, что различия в почвенном покрове на изученной территории связаны с различиями в почвообразующих субстратах, как в изначальном составе пород, так и со склоновыми процессами, которые ответственны за периодическую денудацию поверхностей и формирование коллювиальных и делювиальных отложений. Поэтому важно оценить реальные масштабы процессов денудации и аккумуляции склоновых отложений на исследованной территории. Для этого мы попытались обобщить материалы, полученные по профилям, исследованным в регионе, чтобы выявить признаки аккумуляции материала на склонах либо, напротив, проявления денудации и коллювиирования (Krasilnikov et al., 2007). В ходе исследований мы проанализировали 24 профиля почвы в регионе Сьерра Сюр де Оахака. Почвы принадлежат к следующим реферативным группам: Алисоли (8 профилей), Камбисоли (5 профилей), Файозёмы (5 профилей), Умбрисоли (5 профилей) и Лептосоли (1 профиль). Изученные профили были проанализированы с точки зрения свидетельств литологической неоднородности, таких как неравномерность вертикального распределения органического содержания С и каменистости, наличие «линий камней», соотношение по глубинам процентного содержания песка, пересчитанного на обезыленную навеску, и необычные изменения в цвете. Среди 24 изученных профилей 18 имеют свидетельства аккумуляции отложений на склонах. Изученные почвы были обнаружены на различных формах и элементах рельефа. Анализ профилей со свидетельствами литологической неоднородности показал, что три из почв были сформированы на выпуклых склонах, семь – на вогнутых склонах, три – на прямых склонах (главным образом умеренной крутизны), два – на подножии склона, и по одному профилю на каждом элементе рельефа: водоразделе, выпуклом плече склона, и плечеобразном подножии склона. Среди профилей без свидетельств литологической неоднородности четыре были сформированы на прямых склонах (главным образом крутых) и два – на вогнутых плечах склонов. Крутые прямые склоны, по-видимому, затронуты главным образом эрозионными процессами, и мы не нашли никаких свидетельств накопления материала в этих позициях. Это подтверждает исследование

запасов органического углерода по типичной катене: была обнаружена относительная потеря органического вещества в почвах на плече склона и прямом крутом склоне, что было приписано действию плоскостной водной эрозии (Krasilnikov et al., 2004). В нижних частях склонов и у их подножий обнаруживается смесь грубого коллювия и более тонких и сортированных делювиальных отложений. На прямых и вогнутых склонах наблюдается накопление делювия различного гранулометрического состава. Выпуклые склоны включают отложения разного генезиса, в том числе и тела оползней; последние зачастую покрыты коллювиальными или делювиальными наносами.

Большинство профилей изученных областей формируется на сложных коллювиальных и делювиальных отложениях, транспорт которых был вызван нормальными частыми дождями. Также в нескольких почвах материнская порода многочленна в результате оползней, вызванных, скорее всего, землетрясениями. Профили с подобным распределением слоёв осадков в почвообразующих породах (наличие грубых сортированных прослоев отложений в профиле, связанных с интенсивными временными потоками) были зарегистрированы в ходе наших полевых исследований, но не были изучены подробно. Как указывалось выше, структура почвенного покрова исследованной территории может быть объяснена мозаичной динамической моделью. Согласно этой модели, область исследований представляет собой мозаику поверхностей различных возрастов, экспонированных склоновыми процессами. После обнажения поверхности почвы развиваются от Регосолей к Камбисолям, далее к Умбрисолям, и, наконец, к Лювисолям и Алисолям. Модель включает также возможность накопления нового материала на поверхности почвы. Однако в упомянутой модели мы не учитывали того, что склоновые процессы могут удалить как почвенное тело целиком, так и только поверхностные горизонты почвы. В последнем случае для нового цикла формирования почвы экспонируется уже материал, измененный педогенезом. Также в упомянутой модели недооценивалось значение накопления свежего материала на поверхности почвы. Эффект накопления осадков на поверхности почвы может варьировать в широких пределах в зависимости от количества депонированного материала от незначительного увеличения глубины верхнего горизонта почвы, до полного захоронения существующих ранее почв/отложений свежими материалами. На основе скоростей некоторых почвенных процессов, приведённых главным образом в обзорах Р. Арнольда и соавторов (Arnold et al., 1990) и П. Биркелэнда (Birkeland, 1999), мы попробовали оценить приблизительные возрасты почв.

В базовой модели почвообразования, которая подразумевает полную денудацию почвы до песчаного материала в результате катастрофического явления, как горизонт А, так и горизонт Bw, сформировались за время от нескольких сотен до примерно тысячи лет (Рис. 5а). Базовая модель также включает возможное накопление коллювия на поверхности почвы с его дальнейшим включением в единый почвенный профиль. Склоновые процессы относительно быстры, и сложные профили, включающие коллювиальные продукты, не намного старше, чем почвы, в которых подобных отложений не наблюдается. Однако возраст почвы может быть недооценен из-за непрерывных склоновых процессов, например, площадной эрозии в результате частых нормальных дождей. И потеря, и аккумуляция материала, как известно, замедляют развитие почвы (Birkeland, 1999), и мы полагаем, что профиль почвы может быть "законсервирован" в стадии Камбисоли или супесчаной Лювисоли в течение намного более длительного времени, чем на устойчивой поверхности (Рис. 5б и 5г). Возраст почвы может быть, напротив, переоценен, если катастрофическое обнажение не приводит к полному сносу почвенного тела (например, на поверхность экспонируются горизонты Bt или BC). Тогда меньше времени требуется для развития профиля Лювисоли или Алисоли (Рис. 5в).

10^2-10^3 лет 10^2-10^3 лет 10^3-10^4 лет 10^3-10^4 лет 10^0-10^2 лет 10^0-10^2 лет 10^1-10^2 лет 10^1-10^2 лет
 а. Базовая модель: полная денудация почвы в результате катастрофического процесса и дальнейшего почвообразования (с возможным накоплением на поверхности коллювиальных продуктов)



б. Модель с постоянным намывом делювиальных продуктов

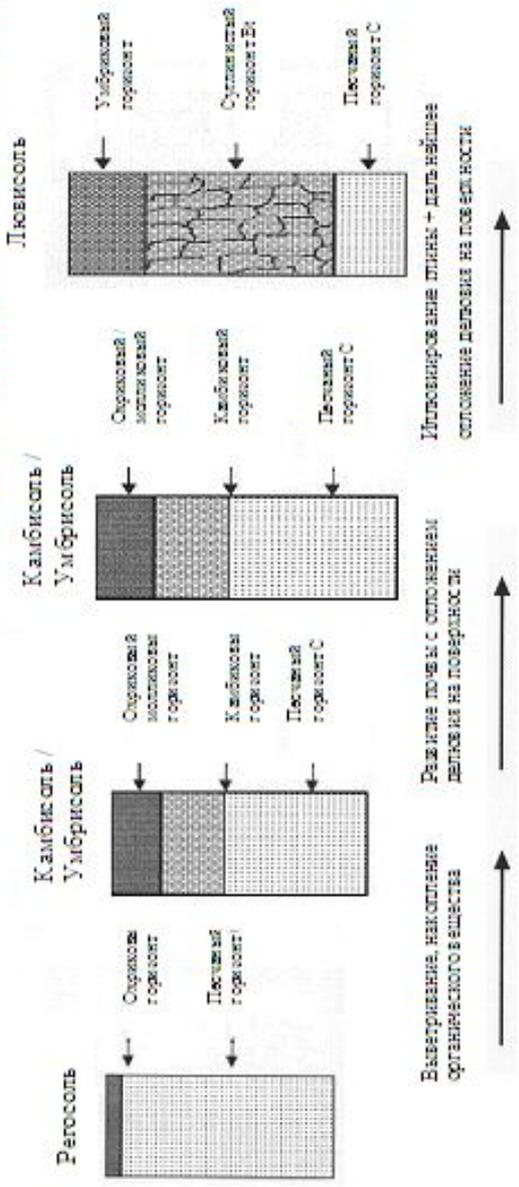


Рис. 5. Общая схема эволюции почв в поясе полулистопадных тропических лесов региона Сьерра Сюр де Оахака

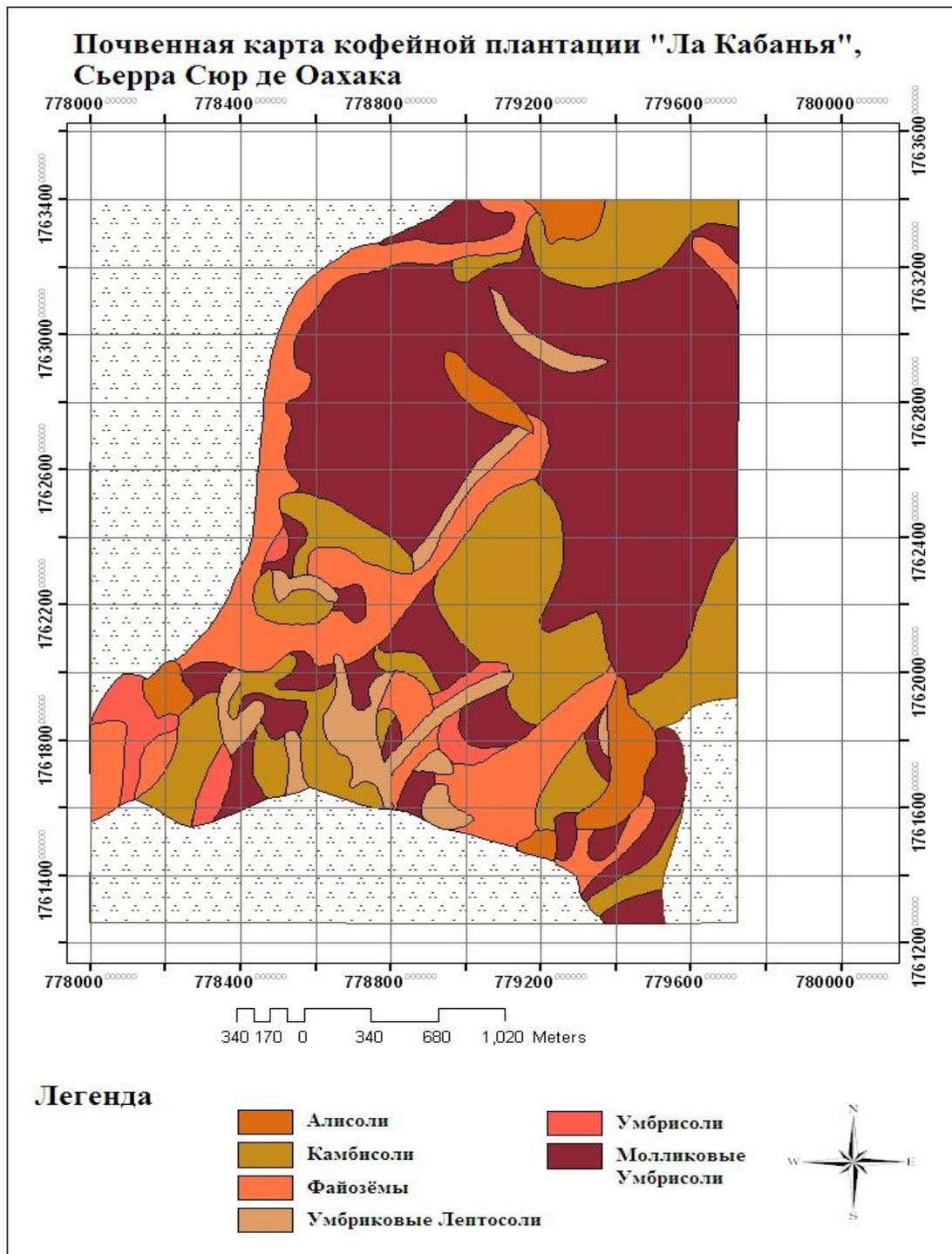


Рис. 6. Схематическая почвенная карта кофейной плантации «Эль Синаи»

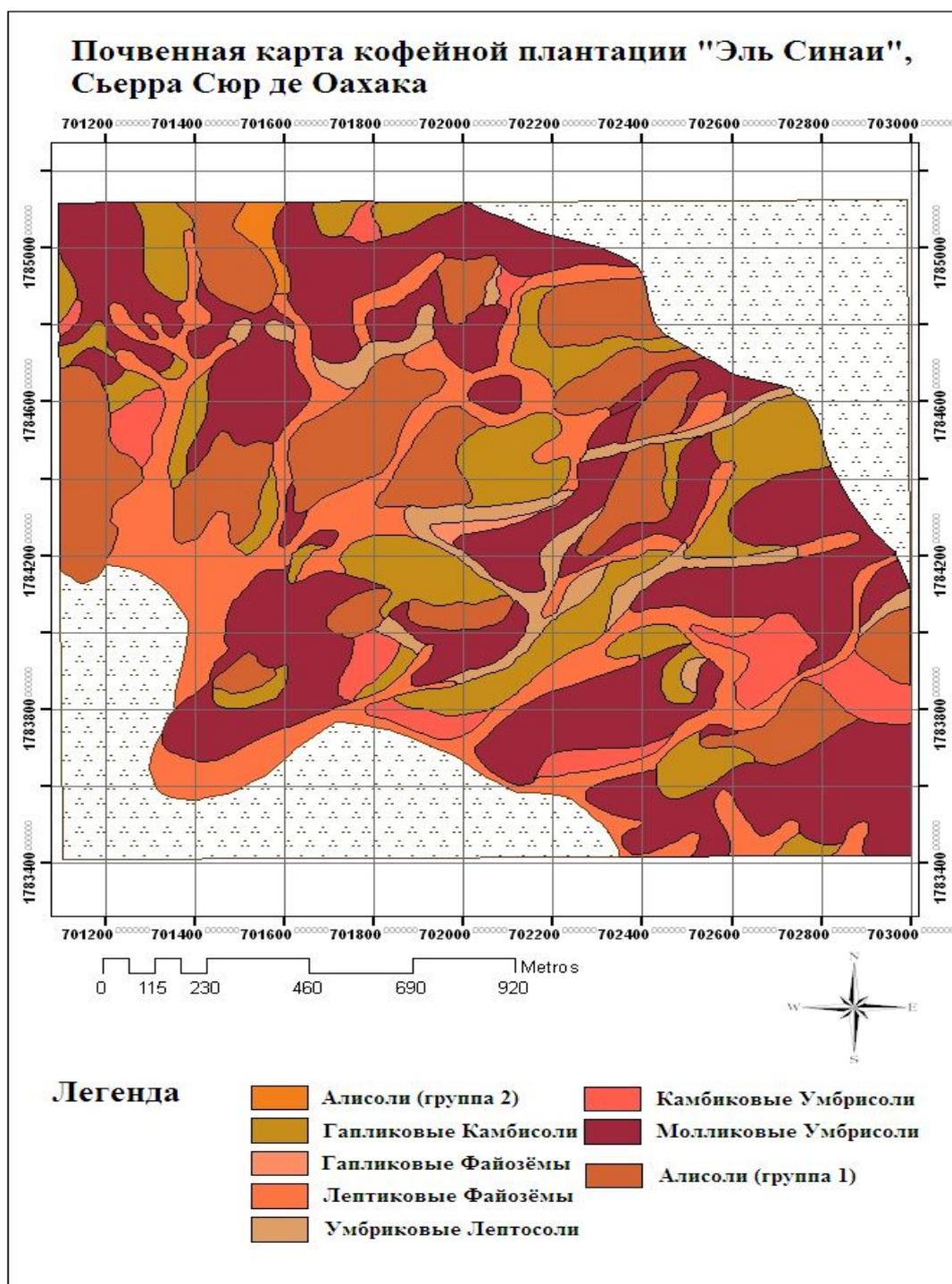
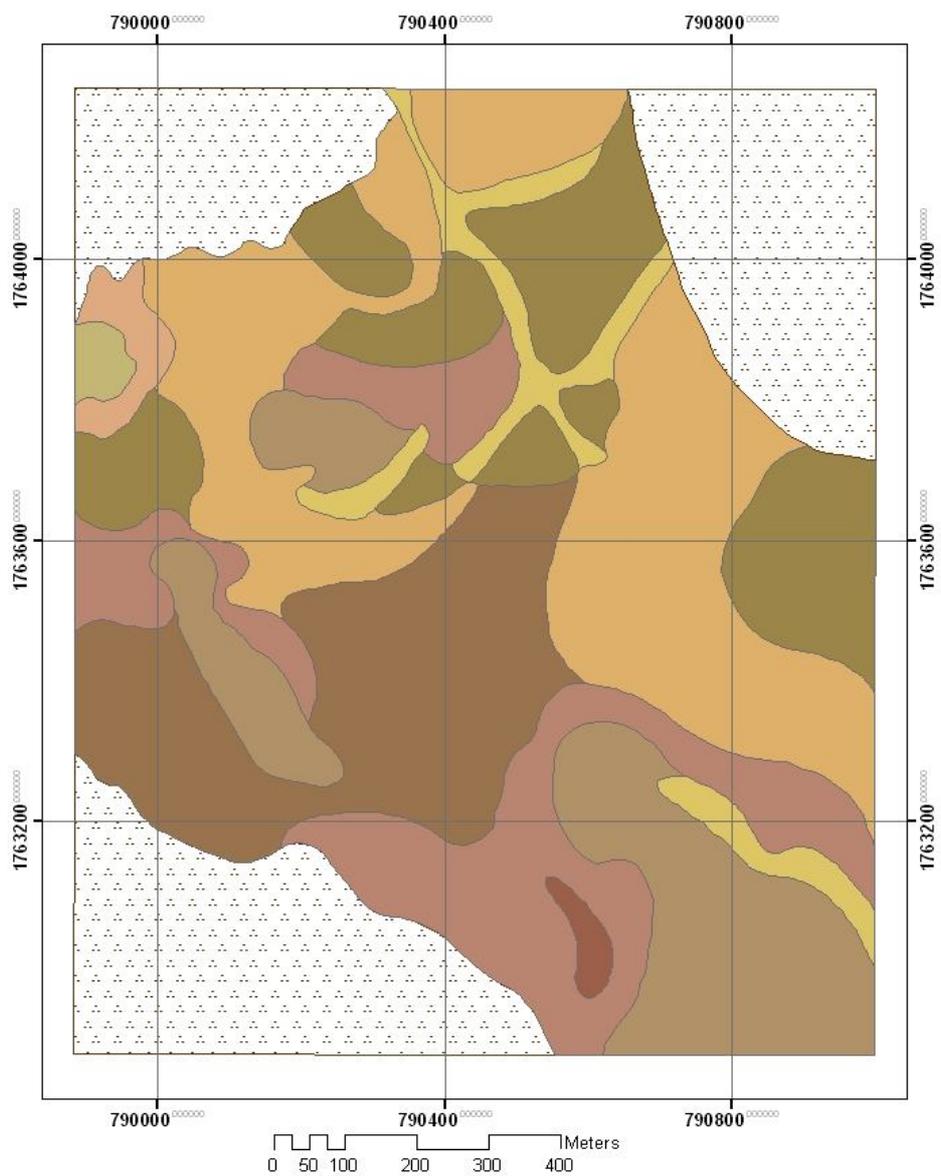


Рис. 7. Схематическая почвенная карта кофейной плантации «Эль Синаи». Алисоли разделены по степени развития профиля: группа 1 включает красноцветные глинистые почвы, группа 2 – почвы лёгкого гранулометрического состава

Почвенная карта кофейной плантации "Эль Нуэве", Сьерра Сюр де Оахака



Легенда

	Камбисоли		Ферраликовые Камбисоли
	Гапλικовые Файозёмы		Ферраликовые Умбрисоли
	Рендзиковые Лептосоли		Молλικовые Умбрисоли
	Умбриковые Лептосоли		Рендзиковые Файозёмы
	Умбрисоли хромиковые		



Рис 8. Схематическая почвенная карта кофейной плантации «Эль Нуэве»

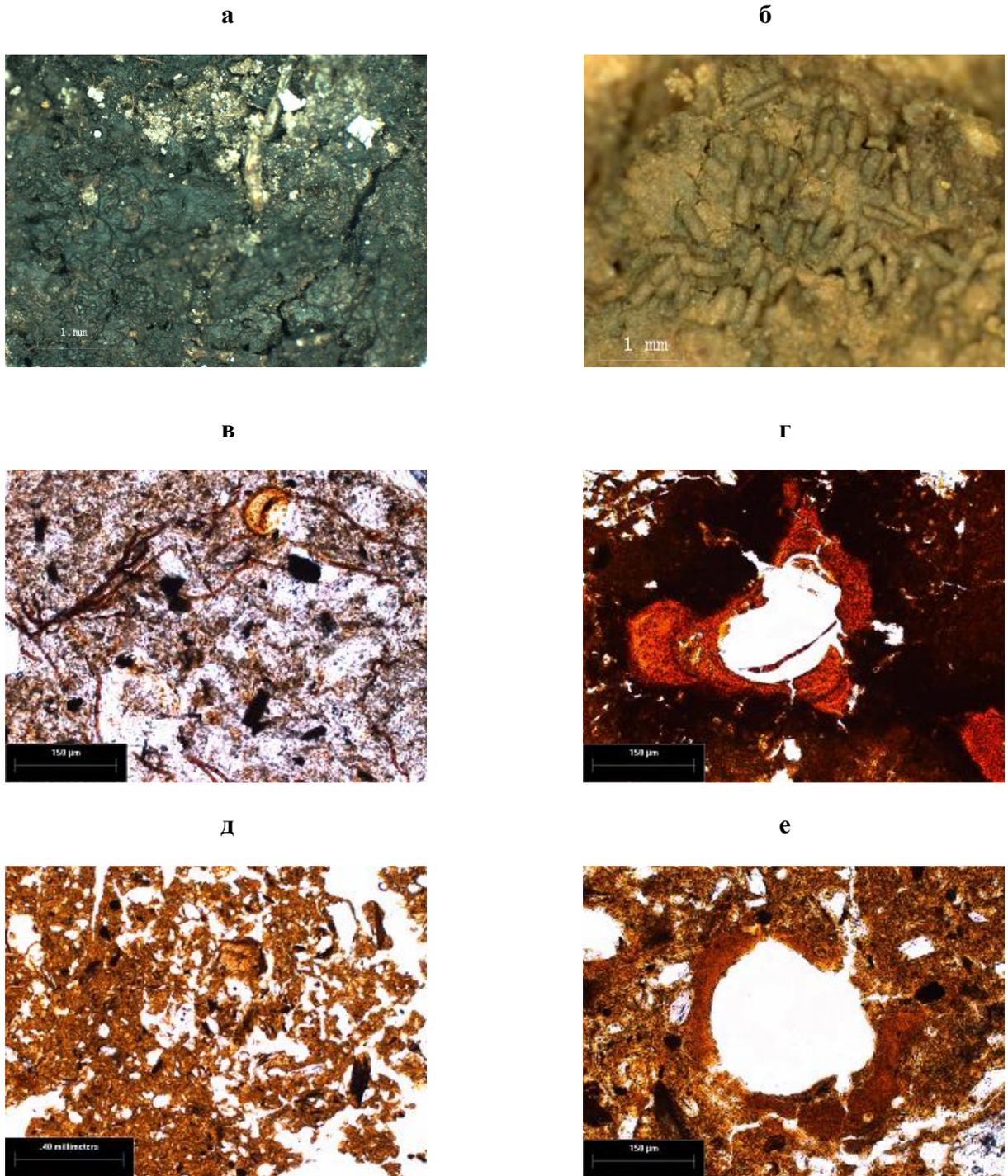
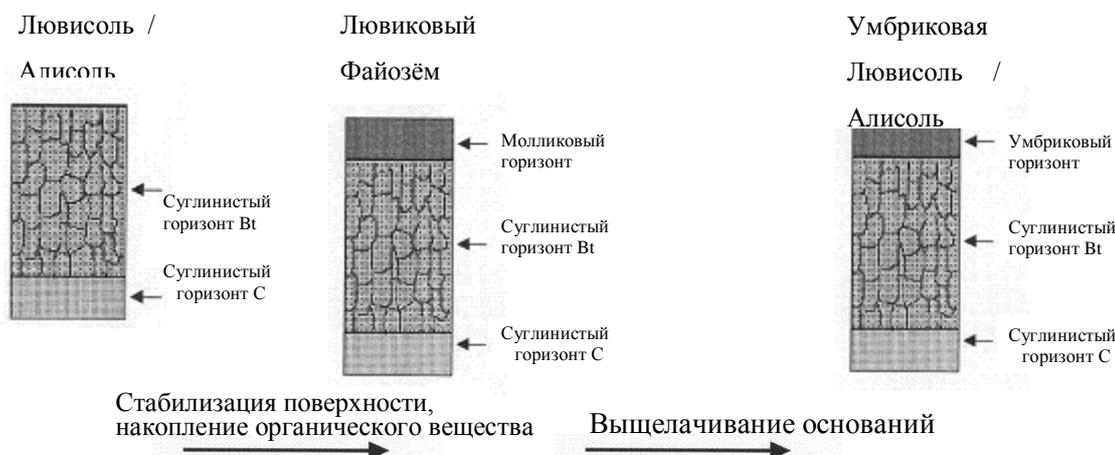


Рис. 11. Мезо- и микрофотографии образцов почв горных туманных лесов Сьерра Хуарес. **а** – гумусовые натёки из горизонта Eh Стагникового Подзола; **б** – копролиты в гумусово-железистых натёках в горизонте EBg Стагникового Подзола; **в** – компактная микроструктура горизонта Eg с отдельными гифами грибов; **г** – железистая кутана по поре в горизонте Bs Стагникового Подзола; **д** – микроструктура горизонта Bw1 Фоликовой Камбисоли; **е** – глинисто-железистая кутана по поре в горизонте Bw2

в. Модель с неполной денудацией почвы после катастрофического события (глинистый горизонт Bt остаётся на поверхности)



г. Модель с умеренным поверхностным смывом в результате нормальных частых дождей

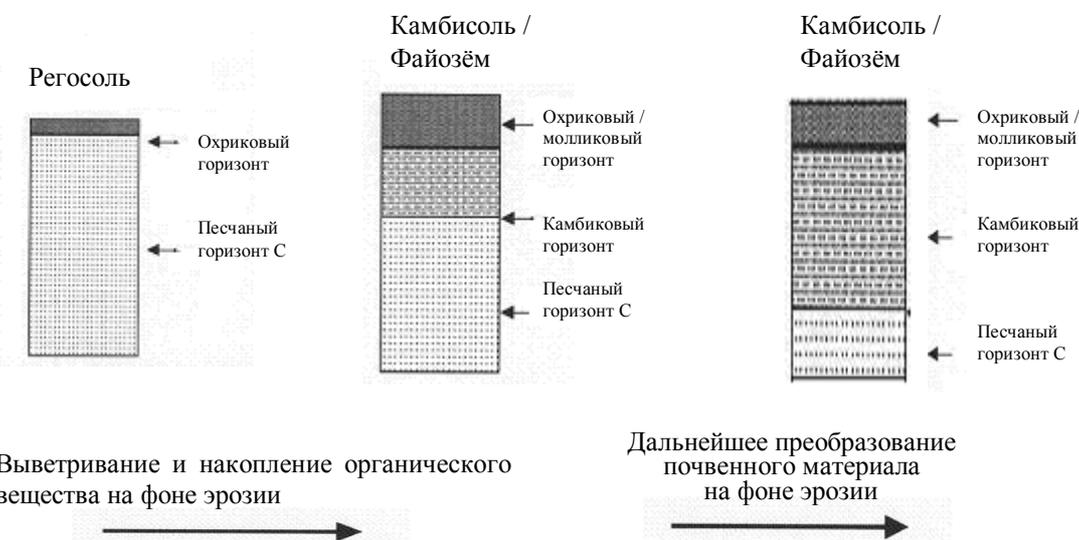


Рис. 5. Продолжение

Очевидно, что сложная комбинация склоновых и почвообразовательных процессов приводит к формированию комплексного, разнообразного почвенного покрова. Мы предприняли попытку оценить почвенное разнообразие пояса переменного-влажных тропических лесов Сьерра Сюр де Оахака на основе схематических крупномасштабных почвенных карт, составленных для трёх кофейных плантаций: «Ла Кабанья», «Эль Синаи» и «Эль Нуэве» (Рис. 6, 7 и 8). На участке «Ла Кабанья» было выделено 7 групп почв, на участках «Эль Синаи» и «Эль Нуэве» – по 8 групп. На участке «Ла Кабанья» почти половину площади занимают Молликовые Умбрисоли, на втором месте по площади стоят Гапликовые Камбисоли, на третьем – Лептиковые Файозёмы. Красноцветные глинистые почвы (глинистые красноцветные Алисоли и Ферраликовые Камбисоли) на этом участке немногочисленны, занимают всего 4,2% от территории. На участке «Эль Синаи» также Молликовые Умбрисоли занимают наибольшую площадь, однако существенно меньшую в процентном отношении (37%), второе место по распространённости делят Алисоли группы 1 (красноцветные глинистые почвы с аржиковым горизонтом) и Лептиковые Файозёмы (18,7 и 18,8%, соответственно). На участке «Эль Нуэве» наибольшую площадь занимают Ферраликовые Камбисоли (27,2%), за ними, разделённые небольшими промежутками, следуют Гапликовые Камбисоли, Камбиковые Умбрисоли, Молликовые Умбрисоли и Ферраликовые Умбрисоли. Формальные показатели почвенного разнообразия приводятся в Табл. 2.

Наши маршрутные исследования в поясе листопадных переменнo-влажных тропических лесов на высотах менее 500 метров над уровнем моря вовсе не выявили красноцветных почв. Поэтому складывается парадоксальная ситуация: типичные для переменнo-влажных тропиков глубокие выветрелые почвы имеют наибольшее распространение на максимальных в поясе абсолютных высотах. Подобная ситуация, на наш взгляд, имеет следующее объяснение. Линейная эрозия, сформировавшая в большой степени рельеф территории (склоны, изрезанные каньонами, ложбинами стока, U- и V-образными долинами), как известно, может начинаться на любой части склона, и в дальнейшем продвигается вверх за счёт «пятящейся эрозии» и вниз, к базису эрозии. Мы считаем, что в случае Тихоокеанского склона Сьерра Сюр де Оахака рост линейных эрозионных форм рельефа начинается с нижней части склона. Это связано с тем, что на высотах ниже 500 м над уровнем моря количество осадков существенно ниже, в этом поясе вплоть до уровня моря распространены переменнo-влажные листопадные леса, которые не в состоянии эффективно предохранять почву от денудации: в начале влажного сезона деревья лишены листвы, и почва активно эродируется водными потоками. Таким образом, мы предполагаем, что более высокое почвенное разнообразие возвышенных участков связано с тем, что они в меньшей степени затронуты процессами денудации, и потому включают более разнообразные почвы, отражающие разные этапы развития профилей. Сравнение свойств красноцветных почв разных абсолютных высот также дало неожиданные результаты. Наиболее выветрелые почвы, которые были классифицированы как Ферраликовые Умбрисоли и Камбисоли, в составе ила которых абсолютно преобладает каолинит, встречаются только на высотах более 1100-1200 метров над уровнем моря. Ниже все красноцветные профили относятся к группе Алисолей, которые характеризуются как «недовыветрелые» почвы, в составе ила которых существенен вклад минералов структуры 2:1. Это противоречит данным, полученным по почвам Юго-Восточной Азии и Центральной Америки (Зонн, 1979; Nieuwenhuysе et al., 2000), в соответствии с которыми степень выветривания с высотой уменьшается. Мы предлагаем следующее объяснение. Только почвы на водоразделах на больших высотах развивались без «освежения» линейной эрозией то есть, пользуясь терминологией, предложенной В. О. Таргульяном (1982), имеют частный абсолютный возраст, почти совпадающий с общим абсолютным возрастом. Все остальные красноцветные почвы были денудированы с поверхности, накапливали более свежие коллювиальные и делювиальные осадки в поверхностных горизонтах, и поэтому имеют частный абсолютный возраст значительно меньший, чем общий абсолютный возраст. Вопрос о том, почему наиболее выветрелые почвы не имеют признаков иллювиирования глины, остаётся за рамками данной работы.

Как было показано выше, сочетание склоновых и почвообразовательных процессов создаёт сложную мозаику почв, обеспечивая высокое почвенное разнообразие территории. Для ряда тропических регионов отмечалось, что почвенное разнообразие имеет существенное значение для поддержания биологического разнообразия (см., например, Thwaites, 2000). Подробное исследование влияния почвенного разнообразия на видовое разнообразие, продуктивность и структуру древесной растительности было произведено нами в поясе переменнo-влажных полулистопадных лесов на кофейной плантации «Монте Карло», где на двух различных почвах изучалась древесная растительность. Почвы, находящиеся на одном и том же пологом склоне, отличаются по морфологии и свойствам. Почва на первом участке классифицируется как Умбриковая Кутаниковая Алисол (гумиковая, клэйиковая, хромиковая). Почва на втором участке классифицируется как Лювиковый Эндолептиковый Файозём (скелетиковый, силтиковый, хромиковый). Помимо базовых почвенных разрезов, исследовались образцы почв из поверхностных горизонтов, отобранные по регулярной сетке. В терминах потенциальной продуктивности почвы Файозём был более плодородным, чем Алисол. Файозём имеет более низкие показатели кислотности, он богаче органическим углеродом, общим азотом, а также обменными кальцием и калием. Разница в содержании доступного фосфора и

обменного магния незначительна. Плотность почвы в среднем выше на первом участке (Алисоль). На втором участке (Файозём) также наблюдается значительно более высокая вариабельность (выраженная в значениях диапазона между минимальным и максимальным значениями и среднего квадратичного отклонения) наиболее важных почвенных свойств, таких как содержание органического углерода, общего и доступного азота и обменного кальция. Среди измеренных и определённых 345 деревьев на шести малых квадратах обнаружен 41 вид, принадлежащий к 24 семействам. На первом участке обнаружено 17 видов 13 семейств, а на втором – 30 видов 19 семейств. Индекс Шаннона-Винера (H') составил 2,88 и ровность распределения ($E\%$) – 84,80% для второго участка, что было существенно выше аналогичных значений, полученных для первого участка ($H' = 2,02$ и $E = 71,33\%$). Ещё большая разница наблюдалась в значениях индекса Симпсона: $\lambda = 4,64$ для первого участка и $\lambda = 13,29$ для второго участка. Таким образом, на втором участке было обнаружено существенно более высокое видовое разнообразие древесных пород.

Индексы сходства – полезные параметры для оценки пространственной неоднородности экосистем (Magurran, 1988). Коэффициент Соренсена показывает разницу в видовом составе, а индекс Ренконена – разницу в экологической структуре сообщества. Сравнение сходства видового состава малых квадратов в пределах первого участка дало высокие значения индекса Соренсена (60,9–73,7%), в пределах второго участка эти индексы были несколько ниже (52,6–62,5%) (Табл. 2). Сходство в видовом составе между двумя участками было значительно ниже (25,5%), чем внутри каждого из них. Таким образом, можно считать доказанным, что участки на разных почвах имеют существенное различие в видовом составе древесной растительности.

Таблица 2. Коэффициенты сходства (C_s – коэффициент сходства Соренсена, в числителе; R – индекс сходства Ренконена, в знаменателе) между квадратами на двух участках и между двумя участками на кофейной плантации «Монте Карло», Санта Мария Уатулько, Оахака

Участок/ квадрат	1(I)	1(II)	1(III)	2(I)	2(II)	2(III)	Участок 1
1(I)	<u>100</u>						
	100						
1(II)	<u>73,7</u>	<u>100</u>					
	53,1	100					
1(III)	<u>66,7</u>	<u>60,9</u>	<u>100</u>				
	41,6	45,7	100				
2(I)				<u>100</u>			
				100			
2(II)				<u>52,6</u>	<u>100</u>		
				38,3	100		
2(III)				<u>55,6</u>	<u>62,5</u>	<u>100</u>	
				39,5	44,6	100	
Участок 2							<u>25,5</u>
							<u>26,7</u>

Индексы Ренконена для малых квадратов в пределах каждого из участков, как обнаружилось, были значительно ниже, чем индексы Соренсена для тех же пар. Это означает, что, несмотря на то, что сходство в видовом составе деревьев было высоким, в пределах каждого из участков, существовали определённые кластеры, связанные с доминированием тех или иных пород в каждом из малых квадратов. Подобные структуры были более выражены на втором участке, где индекс Ренконена варьировал от 38,3 до 44,6%, чем на первом участке, где этот индекс был в диапазоне от 41,6 до 53,1%. Сходство между двумя участками было значительно ниже (26,7%), чем внутри участков.

Для оценки почвенных предпочтений древесных пород только шесть видов, а именно *Cupania dentata*, *Inga punctata*, *Hamelia patens*, *Alstonia longifolia*, *Thoinidium decandrum* и *Ocotea sinuate*, оказались достаточно распространёнными, чтобы делать сколько-нибудь обоснованные выводы. Мы представили предпочтения каждого из изученных видов в графической форме на Рис. 9. Два вида, *Alstonia longifolia* и *Thoinidium decandrum*, предпочитали наиболее продуктивные слабокислые и нейтральные почвы, с высоким содержанием органического углерода, общего азота и обменных кальция и калия, с высоким уровнем гумификации органического вещества (низкими отношениями C/N). Другие два вида, *Inga punctata* и *Ocotea sinuate*, напротив, обнаруживались на плотных кислых почвах с низким содержанием органического углерода и питательных элементов, с низкой степенью гумификации органического вещества (высокими отношениями C/N). Наконец, ещё два вида, *Cupania dentata* и *Hamelia patens*, как кажется, в меньшей степени зависят от почвенных условий (или имеют более широкий диапазон толерантности), поскольку встречались они почти равномерно на почвах с разными свойствами. В нашем исследовании мы обнаружили, что видовое разнообразие деревьев было выше на Файоземах. Эти результаты соответствуют данным, полученным большинством исследователей (Stark, 1970; Gentry, 1988; Adams, 1989), однако противоречат другим (например, Huston, 1980; Fittkau, 1997). Для разрешения противоречия мы приняли гипотезу унимодального распределения разнообразия растительности в зависимости от продуктивности почвы (Grime, 1973; Ashton and Hall, 1992). Используя закон унимодального распределения, мы можем даже предположить, нуждается ли экосистема в элементах питания или нет. Если рост почвенной продуктивности приводит к увеличению видового разнообразия, то элементы питания действительно лимитируют развитие определённых видов в экосистеме. В обратном случае можно предположить, что экосистема содержит в достатке элементы питания, и рост их содержания приводит к тому, что некоторые виды начинают доминировать за счёт других. Проверяя на этой модели наши данные, можно сказать, что в целом горные тропические лесные экосистемы района исследований нуждаются в элементах питания, и рост почвенной продуктивности позволяет включиться в экосистему некоторым новым видам с повышенной потребностью в элементах питания (таким как, в нашем случае, *Alstonia longifolia* и *Thoinidium decandrum*) без выраженного доминирования определённых видов с высокой конкурентной способностью.

В нашей работе мы обнаружили явное различие в структуре растительных сообществ на двух разных почвах. Эти две почвы могут рассматриваться как два различных местообитания, и низкие индексы сходства подтвердили высокую степень «экологического контраста» между этими местообитаниями. Таким образом, почвенное разнообразие обеспечивает, в терминах Р.Х. Уиттакера (Whittaker, 1975), высокое β -разнообразие лесных экосистем, то есть мозаичную структуру сообщества. Как демонстрирует низкое сходство древесной растительности между двумя почвами (всего 6 общих видов), разнообразие почвенных групп вносит существенный вклад в видовое разнообразие исследованных горных тропических лесов.

Почвенная вариабельность на коротких расстояниях также рассматривается как важный фактор, влияющий на видовое разнообразие растительности. Д. Тилман (Tilman, 1982, 1994) предложил гипотезу, что почвенная вариабельность создаёт микроместообитания для растений, и потому на почвах с высокой вариабельностью большее количество видов может найти оптимальные условия для роста. Наше исследование подтверждает гипотезу Д. Тилмана. Почвенные свойства варьируют на исследованных участках в довольно широких пределах, и шесть выбранных древесных пород показали явные предпочтения к определённым диапазонам почвенной кислотности и содержаниям элементов питания.

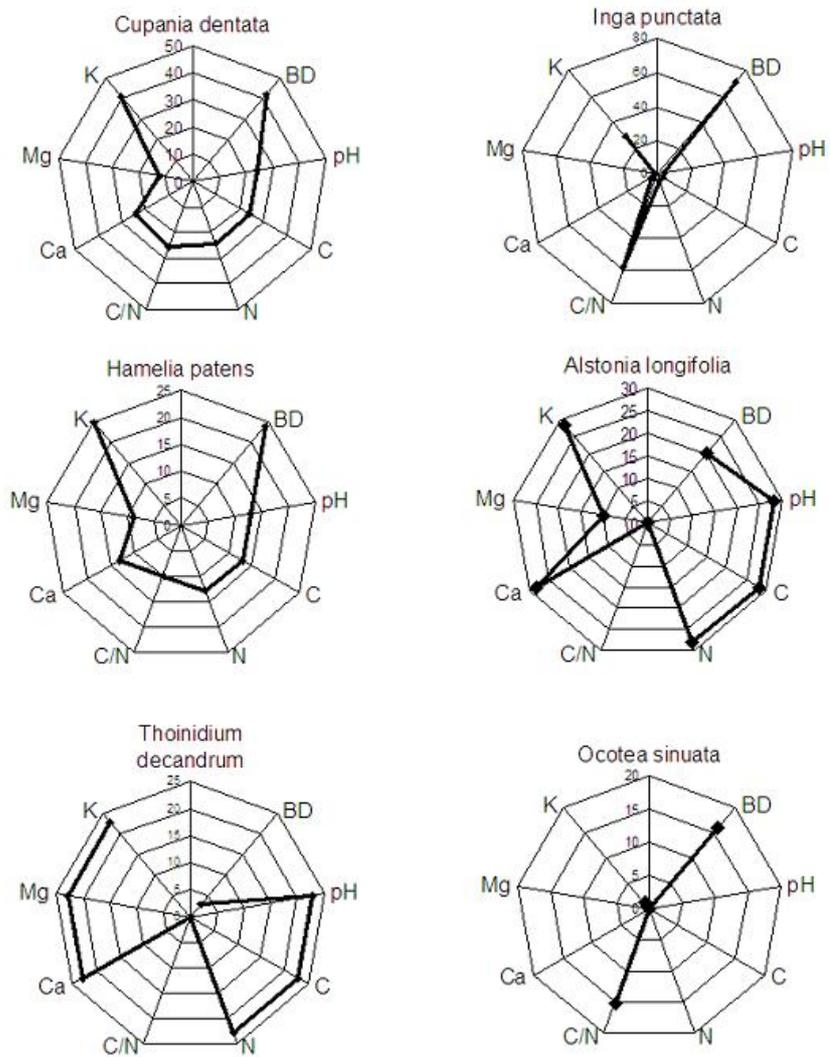


Рис. 9. Предпочтения в почвенных условиях шести видов древесных растений на участке «Монте Карло»: BD – плотность почвы, C – органический углерод, N – общий азот, Ca, Mg, K – обменные кальций, магний и калий, соответственно.

Некоторые виды (такие как *Alstonia longifolia* и *Thoinidium decandrum*) явно связаны с почвами с низкой кислотностью и высоким содержанием органического вещества и элементов питания, в то время как другие виды (такие как *Inga punctata* и *Ocotea sinuate*), которые обнаруживаются на более кислых и бедных почвах. Также существуют виды (такие как *Cupania dentata* и *Hamelia patens*) с более широким диапазоном толерантности. Таким образом, распределение деревьев в тропическом лесу не так случайно, как может показаться. Тем не менее, требуются дополнительные исследования, чтобы доказать, выполняется ли эта закономерность во всех тропических лесах, или же она применима только к ограниченному количеству экосистем с недостаточным резервом элементов питания.

ГЛАВА 4. Специфика почвообразования горных туманных лесов Сьерра Норте де Оахака

Одной из целей данной работы было описать морфологические, химические и минералогические свойства почв горных туманных лесов на экстрагумидных склонах горного хребта Сьерра Хуарес (горная система Сьерра Норте де Оахака), Южная Мексика, выявить специфику почвообразовательных процессов в этих почвах, а также сопоставить наши данные с существующей концепцией почвообразования в горных туманных лесах. Актуальность задачи подчёркивается тем, что природно-биоклиматические условия горных туманных лесов (экстраргумидный прохладный изотермический климат, интенсивный поверхностный сток, огромное видовое разнообразие растительности и пр.) не имеют аналогов на равнинных территориях. Также мы ставили перед собой задачу выявить смену почвообразовательных процессов по высотному градиенту в высотном поясе горных туманных лесов, и объяснить её в рамках общей почвенно-географической теории. Исследование проводилось в горной области Чинантла на Атлантическом склоне хребта Сьерра Хуарес, района Тукстепек штата Оахака. Район исследования относится к физико-географической провинции Сьерра Madre дель Сюр, расположенной в Южной Мексике. Геологическая ситуация довольно сложная; породы собственно зоны исследования главным образом метаморфические, сформированные в верхней Перми – нижнем Триасе хлоритовые и слюдястые сланцы, с незначительными включениями кварцита (Carfantan, 1986). Район исследований характеризуется сильно рассечёнными склонами крутизной от 10 до 50°. Климат классифицируется как экстрагумидный умеренный, с осадками не менее 50 мм в самом сухом месяце (García, 1973). Полевая метеостанция показала, что в районе исследований годовое количество осадков – приблизительно 5800 мм, и средняя годовая температура 16.5°C; разница в температурах самого тёплого и самого холодного месяцев <5°C (Rzedowski and Palacios-Chavez, 1977). Растительность изменяется с высотой; на высотах приблизительно от 1100 до 2500 м над уровнем моря (до водораздела) располагаются “bosque mesofilo de montana” – горные туманные леса (Flores и Manzanero, 1999). Эти вечнозелёные леса формируются в условиях избыточного увлажнения за счёт осадков и постоянно окутывающих их облаков, так что атмосферная влажность колеблется около 100%. С одной стороны, эти леса характеризуются высоким биологическим разнообразием сосудистых растений, в том числе и древесного яруса, уступая по количеству видов только дождевым тропическим лесам. С другой стороны, сообщается об известной угнетённости древесной растительности, которая зачастую выражается в формировании своеобразного криволесья. Специалисты связывают угнетённость жизненных форм в туманных лесах с разнообразными причинами, среди которых называются избыточное увлажнение, низкие температуры, воздействие вредного диапазона ультрафиолетового излучения, избыток фенолов в лесной подстилке, высокая кислотность и бедность элементами питания почв. Характерная черта горных туманных лесов – обилие эпифитных растений; в напочвенном покрове обильны мхи и лишайники. Ниже 1100 м (Рис. 2) ранее располагались тропические дождевые леса, однако в настоящее время естественный растительный покров практически не обнаруживается в

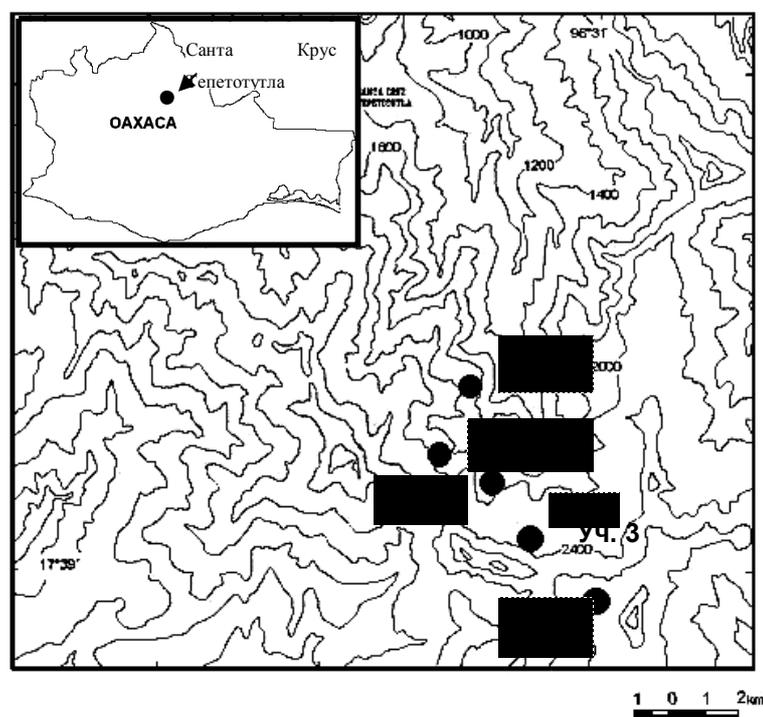


Рис. 10. Схематическое изображение расположения участков, на которых проводились почвенные исследования в районе Санта Крус Тепетотутла, Сьерра Хуарес

результате многолетней хозяйственной деятельности; вся территория покрыта возделываемыми угодьями, пастбищами и вторичной растительностью. Следует отметить, что на том же уровне высот (около 1100 м над ур. моря) хлоритово-сланцевые сланцы сменяются песчаниками и кварцитами.

Наше исследование проводилось на землях индейской коммуны Санта Крус Тепетотутла, расположенных на водосборе реки Перфюме в северной части штата Оахаки (17°38'–17°40' СШ, и 96°32'–96°33' ЗД). Почвы были изучены на пяти участках на высотах приблизительно 2500, 2400, 2050, 1950, и 1500 м над уровнем моря (Рис.10). Верхний разрез был заложен в самом высоком пункте водораздела реки Перфюме, а нижний пункт соответствовал очевидному изменению в растительном сообществе: на высотах ниже 1500 м были главным образом сельскохозяйственные поля и вторичные леса.

В пределах вертикальной зоны (пояса) туманных лесов, согласно литературным данным, выделяются высокогорная и низкогорная подзоны. Абсолютные высоты разделяющей их границы варьируют в зависимости от широты, на которой расположена горная система, и от местных климатических условий. В нашем случае смена растительного сообщества отмечалась на высоте около 2000 м над уровнем моря: выше, в подзоне высокогорных туманных лесов (ВГТЛ), преобладают угнетённые жизненные формы деревьев, в составе эпифитов и в напочвенном покрове доминируют мхи и лишайники, а ниже этой границы, в подзоне низкогорных туманных лесов (НГТЛ), древесной более высокой, без признаков угнетения, видовой состав более богатый, а в составе эпифитов преобладают сосудистые растения (орхидеи и бромелии). В подзоне высокогорных туманных лесов нами было исследовано 5 профилей почв. Приведём морфологическое описание почвенного профиля 4.1.2., заложенного на высоте 2550 м над уровнем моря

Растительность: высокогорные туманные леса, древесных пород – 22 вида, доминируют *Quercus eugenifolia* Liebm., *Clethra galeottiana* Briq., *Ternstroemia hemsleyi* Hochr., *Cleyera integrifolia* (Benth.) Choisy. и *Weinmannia tuerckheimii* Engl.. Обилие лиан, эпифитные мхи и лишайники. Напочвенный ярус: мертвopoкpoвный, с единичными куртинами зелёных мхов.

Почвообразующие породы: склоновые отложения, образованные за счёт выветривания железистых хлоритовых сланцев

Классификация: Альбиковый, Фоликовый, Стагниковый Подзол

O1 0-2 см – листовенный опад, листва зелёная, жёлтая, до тёмно-бурого, в зависимости от степени разложения, обломки ветвей, на фрагментах древесины и, в меньшей степени, на листьях развиты зелёные мхи.

O2 2-6 см – сырой, 10YR 2/2 – очень тёмно-бурый, состоит из хорошо разложенных растительных остатков, содержит около 50% корней разных размеров, слабопластичный, граница волнистая, переход ясный.

H 6-10 см – сырой, 10YR 2/1 – чёрный, пластичный, структура комковато-зернистая, содержит некоторое количество песка и гравия, много корней всех размеров, граница волнистая, переход ясный.

E 10-25 см – влажный, основная масса имеет цвет 10YR 6/2 – светло-буровато-серый, в верхней части имеется более тёмный карман 10YR 4/2 – тёмно-серовато-бурого цвета, лёгкий суглинок, структура комковато-ореховатая слабо выраженная с элементами горизонтальной отдельности, плотный, единичные крупные и средние корни, гравий и щебень (хлоритовый сланец и в меньшей степени жильный кварц) занимают 20-30% от объёма горизонта, Наблюдаются ржавые пятна, связанные с выветрелыми фрагментами сланцев, граница карманная, переход ясный.

Bsg 25-70 см – сырой, окраска неоднородная (крапчатая), 50 на 50% на стенке разреза занимают мелкие пятна 7.5YR 5/8 – интенсивно-бурый и 10YR 7/6 – жёлтый, лёгкий к среднему суглинок, структура неясная комковато-ореховатая, пластичный, уплотнённый к рыхлому, много тонких пор, в нижней части горизонта – 3 корневины с чёрным гумусированным материалом, на поверхности отдельных агрегатов и по макропорам наблюдаются тёмно-бурые кутаны, редкие тонкие и средние корни, гравий и щебень (хлоритовый сланец и кварц) занимают менее 10% от объёма горизонта, фрагменты сланца отчасти выветрелы, граница волнистая, переход заметный.

Bs 70-105 см – влажный, цвет 7.5YR 5/8 – интенсивно-бурый, лёгкий к среднему суглинок, пластичный, уплотнённый к рыхлому, множество тонких пор, структура ореховато-призмовидная не вполне выраженная, имеются отдельные тонкие глинистые кутаны по порам, единичные ходы червей с гумусированным материалом по стенкам, единичные тонкие корни, щебень и дресва (хлоритовый сланец и кварц) занимают менее 10% от объёма горизонта, граница волнистая, переход постепенный.

Ниже залегает сильно турбированный почвенный материал, погребённый склоновыми отложениями, на которых сформировался современный профиль почвы.

Морфология, сходная с описанным выше разрезом, характерна для всех профилей в подзоне ВГТЛ. В нескольких профилях, заложенных на вогнутых в профиле склонах, морфологические признаки оглеения присутствуют по всему профилю, и горизонты В имеют бледную окраску. В одном из профилей чёрные гумусовые кутаны покрывают крупноореховатые структурные отдельности в горизонте Е. Горизонт Е характеризуется очень плотным сложением, низкой внутриагрегатной пористостью, и почти лишён признаков биологической активности внутри почвенных агрегатов: в них отсутствуют тонкие сосущие корни и признаки жизнедеятельности почвенной фауны. Единственный обнаруженный признак жизнедеятельности биоты в горизонте Е – наличие гифов грибов (Рис. 11в).

Все почвы, исследованные в подзоне ВГТЛ, характеризуются высокой кислотностью (рН водной вытяжки в диапазоне от 2,9 до 4,2, почти без изменений с глубиной) и низким содержанием обменных оснований (в минеральных горизонтах сумма оснований 2–4 смоль·кг⁻¹, насыщенность основаниями от 3 до 24%); содержание органического углерода в минеральных горизонтах довольно высокое, от 0,8 до 2,0%, с минимумом в горизонтах Е или ЕВ. Содержание железа, извлекаемого дитионит-цитрат-бикарбонатной вытяжкой, высоко (до 9%) в горизонтах Bs, и минимально в горизонтах Е, демонстрируя

элювиально-иллювиальное или элювиальное распределение по профилю. Содержание Fe и Al в кислой оксалатной вытяжке также показывает элювиальное либо элювиально-элювиальное распределение. Максимум содержания железа приходится на горизонты Bs, алюминия – на Bs или BC. Максимальные содержания оксалат-растворимого железа варьируют от 0,5% в почвах, оглеенных по всей глубине, до 3% в почвах на прямых и выпуклых склонах. Максимальные содержания алюминия на порядок ниже (0,1 – 0,4%). Содержание экстрагируемых форм железа и алюминия в гумусовых и железисто-гумусовых кутанах, обнаруженных в горизонтах E и Bsg (которые, как мы изначально предполагали, могут иметь альфегумусовую природу) оказалось ниже, чем во внутриагрегатной массе. Также мезоморфологические исследования показали, что чёрные (Рис. 11а) и тёмно-бурые кутаны (Рис. 11б) имеют мало общего с признаками альфегумусовой миграции. Эти кутаны, скорее, напоминают гумусовые покрытия в сомбриковых горизонтах, описанных для горных тропических почв; отчасти их формирование может быть отнесено за счёт накопления гумуса корневого происхождения.

В четырёх из пяти профилей отмечается текстурная дифференциация: разница в содержании ила в горизонтах E и Bs составляет до 10%. Однако морфологических признаков иллювиирования глины в профиле не наблюдается; на микроуровне немногочисленные кутаны имеют исключительно железистый состав без примеси глины (Рис. 11г). По минералогическому составу почвообразующие породы характеризуются сочетанием железистого хлорита типа шамозита, диоктаэдрической слюды и кварца. В почвах выветривание железистого хлорита приводит к его полному разрушению с высвобождением (гидр)оксидов железа. Слюда частично трансформируется в смешанослойный иллит-вермикулит, а частично преобразуется в гиббсит. Гиббсит образуется только в горизонтах B в почвах, содержащих существенное количество слюды, поскольку последняя содержит алюминия существенно больше, чем шамозит. Почвообразующие породы гетерогенны, и в двух профилях, сформированных на почти чисто хлоритовом сланце, гиббсит не обнаруживается; в составе илистой фракции присутствуют только хлорит, слюда и смешанослойный иллит-вермикулит, практически без тенденций в распределении по профилю. Валовой химический состав коренных пород (отобранных из скальных пород, подстилающих горизонты BC) характеризуется высоким содержанием кремния, алюминия и железа; содержание прочих элементов значительно ниже, а кальций и натрий обнаруживаются в следовых количествах. Автохтонные кутаны выветривания, отобранные из тех же пород, показали существенную десилификацию породы на фоне накопления железа, алюминия и титана. Иная картина наблюдается при анализе профильного распределения валового химического состава: во всех профилях наблюдается остаточное накопление кремнезёма кварца на фоне выноса остальных элементов. Сравнение элементного состава почвенного материала с подстилающей породой, очевидно, некорректно (мелкозём горизонта BC содержит почти вдвое меньше кремния, чем порода); согласно теории А.Г. Черняховского (1994), в гетерогенных массивных породах выветриванию и превращению в мелкозём подвергаются ослабленные зоны, в то время как более устойчивые участки (имеющие другой минералогический состав) остаются неизменными, и потому использование последних как эталон для сравнения с выветрелым материалом может привести к ложным выводам.

По системе WRB (IUSS Working Group WRB, 2006) три из пяти почв классифицируются как Фоликовые Стагниковые Подзолы, поскольку формально в них выделяется *сподиковый* горизонт (по цветовым характеристикам и содержанию Al+1/2Fe в оксалатной вытяжке более 0,5%). Две почвы с профильным оглеением классифицируются как Фоликовые Стагносоли (гипердистриковые). К сожалению, формализованный подход WRB зачастую слабо отражает почвообразовательные процессы, а иногда просто вводит в заблуждение. В реальности почвы, классифицированные как Подзолы, имеют довольно слабое отношение к альфегумусовым почвам, широко распространённым в холодных гумидных областях (Таргульян, 1971). С одной стороны, в этих почвах имеются

свидетельства интенсивного кислотного гидролиза глинистых силикатов и выноса алюминия и железа из верхнего осветлённого горизонта. С другой стороны, почти отсутствуют признаки собственно совместного иллювиирования железа, алюминия и гумуса. Как показывает сопоставление химических и морфологических данных, гумусовые кутаны не связаны с иллювиированием железа и алюминия и представляют собой скорее потёчный кислый тёмный гумус, то есть признаки *сомбрикового* горизонта. Единичные железистые кутаны по порам, обнаруживаемые на микроуровне, недостаточны для подтверждения существенного иллювиирования железа в профиле. Скорее всего, слабокристаллизованные (гидр)оксиды железа, равномерно распределённые в плазме горизонта Bs, формируются за счёт выветривания шамозита *in situ*. Осветление поверхностного горизонта в значительной степени связано с постоянной насыщенностью влагой сухоторфяной подстилки (дожди в подзоне высокогорных туманных лесов идут почти ежедневно, а влажность воздуха постоянно близка к 100%), что подтверждается присутствием сегрегационных железистых новообразований в горизонтах E и Bsg. Если дифференциацию профилей по железу можно объяснить поверхностным оглеением, то алюминий может отчасти перераспределяться по профилю за счёт альфегумусовой миграции, что косвенно подтверждается сравнительно высоким содержанием органического углерода в горизонтах B и BC. В то же время в диапазоне значений pH от 3 до 4 алюминий способен мигрировать и в виде гидратных комплексов или полимеров, без участия органического вещества. В пользу последнего предположения говорит присутствие гиббсита в горизонтах B, который обычно не образуется в альфегумусовых почвах, так как в присутствии фульвокислот существует конкуренция за алюминий между органическими комплексами и гиббситом, и алюминий скорее связывается в фульваты. Существенно отличается от «классических» подзолов и распределение ила по профилю: если в подзолах, сформированных на полимиктовых породах в бореальных областях, наблюдается равномерное или аккумулятивное распределение ила, то в большинстве исследованных профилей почв ВГТЛ отмечается существенная потеря ила в верхних осветлённых горизонтах. Поскольку не было зафиксировано морфологических признаков партлювации, мы предположили, что в осветлённом горизонте происходит усиленный кислотный гидролиз легко выветриваемых илистых частиц шамозита с полным их разрушением. Минералогический состав ила также мало напоминает бореальные подзолы: основные продукты выветривания – (гидр)оксиды железа и гиббсит, то есть выветривание характеризуется как ферраллитное, что также подтверждается данными исследования валовых составов породы и автохтонных кутан выветривания.

Почвы низкогорных туманных лесов (НГТЛ) принципиально отличаются от почв подзоны ВГТЛ. Приведём описание разреза 4.5.1., заложенного на высоте 1520 м над уровне моря, на склоне 20-25° восточно-северо-восточной экспозиции. Почвообразующие породы: элювий железистых хлоритовых сланцев.

Растительность: горные туманные леса (нижняя зона, с элементами флоры дождевых тропических лесов), древесных пород – 52 вида, доминируют *Cyrilla racemiflora* L., *Ticodendron incognitum* Gomez-Laurito & L.D. Gomez, *Pinus chiapensis* (Martinez) Andresen, *Podocarpus matudae* Lundell., *Zinowiewia* sp. и *Liquidambar styraciflua* L.. Обильные эпифиты (бромелии, орхидеи), на почве пальмы и прочие виды, характерные для дождевых тропических лесов. Напочвенный ярус преимущественно мёртвопокровный, с единичными куртинами зелёных мхов.

Классификация: Фоликовая Камбисоль (гумиковая, гипердистриковая)

O1 0-10 см – листовый опад разной степени разложения, а также ветки и остатки упавших стволов, в основном перегнившие; на сгнивших фрагментах древесины отмечены зелёные мхи.

O2 10-18 см – влажный к свежему, 10YR 2/2 – очень тёмно-бурый, очень рыхлый, слабопластичный, структура неразвитая к зернистой, корни всех размеров занимают около 50% объёма горизонта, единичные гифы грибов, граница карманная, переход ясный.

Н 18-30 см – влажный к свежому, 10YR 2/1 – чёрный, структура развитая мелкозернистая, с элементами комковатой, горизонт содержит больше минерального материала, чем почвы описанных выше почв, слабопластичный, рыхлый, много тонких корней, мало средних и крупных, граница карманная, переход ясный.

AE 30-40 см – влажный к свежому, 10YR 6/6 – буровато-жёлтый, супесь к лёгкому суглинку, структура ореховато-комковатая, слабопластичный, уплотнённый, в верхней части горизонта по верхним граням агрегатов – гумусовая пропитка, дресва и щебень (хлоритовые сланцы и кварц) составляют около 10% объёма горизонта, единичные крупные корни, редкие средние и тонкие корни, граница карманная, переход заметный.

Bw1 40-75 см – влажный, 10YR 5/6 – желтовато-бурый, слабоогравленный лёгкий суглинок, структура ореховатая, есть отдельные глинистые кутаны по порам, тонкопористый, редкие тонкие и средние корни, дресва и щебень (хлоритовые сланцы, в меньшей степени кварц) составляют менее 10% объёма горизонта, граница волнистая, переход постепенный.

Bw2 75-140 см – влажный, 7.5YR 6/8 – красновато-жёлтый, лёгкий суглинок, структура крупноореховатая с элементами призмовидной, глинистые кутаны по порам, немногочисленные тонкие и средние поры, единичные тонкие и средние корни, в том числе отмершие, дресва и щебень (преимущественно хлоритовый сланец с единичными обломками кварца) занимают 10-20% объёма горизонта, граница волнистая, переход постепенный.

BC 140-165↓ см – влажный, 10YR 6/6 – буровато-жёлтый, супесь к лёгкому суглинку, структура комковато-ореховатая непрочная, слабопластичный, уплотнённый, глыбы, щебень и гравий (преимущественно хлоритовый сланец с единичными обломками кварца) занимают 30-40% объёма горизонта, единичные тонкие и средние корни.

Морфология данного разреза довольно типична для профилей, заложенных на высоте от 1500 до 1900 м. Выше, ближе к границе между подзонами ВГТЛ и НГТЛ (которая проходит на высоте около 2000 м над уровнем моря), в почвах наблюдается слабо выраженный горизонт E, отсутствующий в почвах НГТЛ на меньших высотах. Микростроение горизонта Bw1 приводится на Рис. 11д: заметна агрегированность плазмы за счёт (гидр)оксидов железа. Слабовыраженные глинистые кутаны, которые упоминались при морфологическом описании разреза, при микроморфологическом исследовании практически не обнаруживались. В единичных порах были отмечены глинисто-железистые кутаны с довольно слабой ориентацией глины (Рис. 11е).

Почвы НГТЛ также характеризуются низкими значениями рН (2,9-4,5 в водной вытяжке), однако, в отличие от почв высокогорных туманных лесов, значение рН возрастает с глубиной. Содержание обменных оснований низкое, насыщенность основаниями в минеральных горизонтах не превышает 16%. Содержание органического углерода высокое по всему профилю, равномерно снижаясь с глубиной; на глубине более метра содержание углерода составляет около 2%. Содержание железа, извлекаемого дитионит-цитрат-бикарбонатной и кислой оксалатной вытяжками, максимально в поверхностном минеральном горизонте, и снижается с глубиной. Алюминий, извлекаемый оксалатной вытяжкой, показывает элювиально-иллювиальное распределение, причём в горизонтах В его содержание превышает таковое железа в оксалатной вытяжке.

Валовой состав почвообразующих пород варьирует по содержанию кремния, однако во всех случаях при подсчётах легко сводится к смеси шамозита, диоктаэдрической слюды и кварца. В автохтонных кутанах выветривания по сравнению с породой повышены содержания алюминия и железа, однако снижение содержания кремния незначительно, по сравнению с аналогичными образцами из пород в подзоне ВГТЛ. Распределение валового содержания элементов по профилю равномерное. В составе илистой фракции обнаруживается диоктаэдрическую слюда, гиббсит, смешаннослойный иллит-вермикулит и каолинит. С глубиной содержание слюды и каолинита убывает, а гиббсита – возрастает.

Относительно слабая десилификация и присутствие каолинита указывают на то, что ферралитный характер выветривания в почвах НГТЛ не столь выражен, как в почвах более высокой подзоны. Скорее следует охарактеризовать тип выветривания как промежуточный между ферраллитным и ферсиаллитным.

В системе WRB почвы НГТЛ классифицируются как Фоликовые Камбисоли (гумиковые, гипердистриковые). Следует отметить, что и в этом случае классификация не выявляет генетической сущности исследованных почв: название «Камбисоль» не значит почти ничего. В частности, не отражается специфика сочетания ЭПП в почвах, которые включают ферсиаллитное выветривание *in situ*, гумусонакопление и незначительную альфегумусовую миграцию.

Таким образом, существует явное различие в почвообразовании в подзонах высокогорных и низкогорных туманных лесов. Мы попытались найти тенденцию в распределении по топоряду некоторых почвенных свойств и основных ЭПП. В случае почвенных свойств, хорошо выраженную тенденцию мы обнаружили для глубины максимальной аккумуляции железа, извлекаемого кислой оксалатной вытяжкой, в профиле (Рис. 12а). Тенденция описывается квадратичным трендом, который показывает, что с возрастанием высоты над уровнем моря увеличивается глубина максимальной аккумуляции железа. Также характерные тенденции показывает распределение по высотам содержания ила в поверхностных горизонтах и разницы в его содержании между поверхностными горизонтами и горизонтами В (Рис. 12б). Мы считаем, что в верхней подзоне меньшее количество ила в верхнем горизонте и разница в содержании ила между Е и В связана с кислотным гидролизом илистых частиц в элювиальном горизонте, где мелкозём почвы не защищён железистыми плёнками на зёрнах. Мы попытались представить концептуальную схему распределения интенсивности ЭПП по топоряду. В подзоне ВГТЛ преобладают процессы ферраллитного выветривания, поверхностного оглеения, кислотного гидролиза глинистых минералов в элювиально-глеевых горизонтах и, в ограниченной степени, альфегумусовый процесс. В подзоне НГТЛ развиты процессы ферсиаллитного выветривания, гумусонакопления и также альфегумусовый процесс. Накопление грубого гумуса в виде сухоторфяной подстилки на поверхности свойственно всем почвам трансекты.

Остаётся открытым вопрос, насколько формирование подзолоподобных профилей типично для горных туманных лесов. В целом ряде работ сообщалось о присутствии подзолов и подобных им почв в туманных лесах. В горных туманных лесах формирование подзолоподобных почв не ограничено крайне бедными почвообразующими породами лёгкого гранулометрического состава, как в равнинных влажных тропических областях; потенциал выщелачивания горных туманных лесов достаточен для формирования почв с подзолистей морфологией даже на суглинистых материалах. Тем не менее, эти почвы существенно отличаются от классических подзолов таёжных бореальных лесов. В почвах туманных лесов наблюдаются признаки восстановления железа и марганца в верхних горизонтах; накопление слабоокристаллизованных соединений и комплексов железа и алюминия с гумусом наблюдается только по поверхностям агрегатов, обломков пород, либо в виде псевдофибровых прослоев. В ряде случаев, в частности, в почвах исследованных нами, наблюдается текстурная дифференциация профиля. Образование подзолоподобных почв в горных туманных лесах зависит от почвообразующих пород, дренажа и прочих локальных условий почвообразования. Присутствие вулканических, карбонатных или просто богатых основаниями материалов приводит к формированию почв с глубоким гумусовым горизонтом.

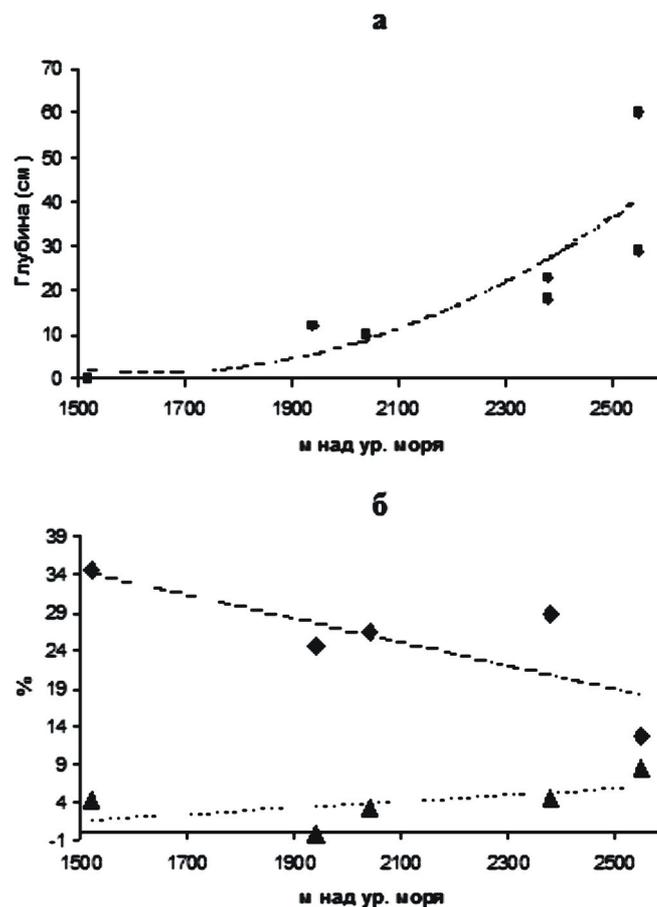


Рис.12. Тенденции в распределении некоторых почвенных свойств по топоряду в горных туманных лесах (Санта Крус Тепетотутла): а – глубина (см) максимального накопления железа, извлекаемого кислой оксалатной вытяжкой, квадраты – экспериментальные данные, пунктир – квадратичный тренд; б – содержание ила (%) в поверхностном минеральном горизонте (квадраты) и разница в содержании ила между поверхностным и иллювиальным горизонтом (треугольники), пунктирные линии показывают линейные тренды.

Несколько меньший уклон или ухудшение внутреннего дренажа почв приводит к формированию полугидроморфных и гидроморфных почв, Стагносолей, Глейсолей и Гистосолей, как и в горных бореальных областях. Поэтому в горных туманных лесах местами мы вообще не обнаруживает подзолоподобные почвы, а местами они образуют мозаику с другими почвенными группами. Анализ литературных данных также показывает, что подзолоподобные почвы формируются преимущественно в подзоне высокогорных туманных лесов, в то время как в подзоне низкогорных туманных лесов формируются почвы с гумусированным, слабодифференцированным бурым профилем.

ВЫВОДЫ

1. Выявлена структура вертикальной почвенной зональности в горно-лесных областях Южной Мексики. Показано, что на тихоокеанском склоне горной системы Сьерра Мадре дель Сюр последовательно сменяют друг друга снизу вверх вертикальная зона бурых слабодифференцированных почв (Камбисолей и Файозёмов) переменного-влажных листопадных лесов, зона красноцветных текстурно-дифференцированных почв (Алисолей и Лювисолей) переменного-влажных полулистопадных лесов, и зона слаборазвитых почв (Камбисоли и Лептосоли) субгумидных сосновых лесов. На атлантическом склоне той же горной системы снизу вверх расположена зона красноцветных ферралитизированных почв (Ферраликовых Камбисолей) дождевых тропических лесов, подзона кислых бурых почв (Камбисолей (гипердистриковых)) низкогорных туманных лесов и подзона торфянисто-элювиально-глеевых подзолистых ферралитизированных почв (Стагниковых Подзолов) высокогорных туманных лесов.
2. Зрелый зональный тип почвенного профиля в поясе переменного-влажных полулистопадных горных лесов представляет собой результат совместного действия процессов длительного и глубоко проникающего ферриаллитного выветривания и наложенных на этот фон процессов текстурной дифференциации. Сочетание этих групп процессов формирует красноцветные глинистые текстурно-дифференцированные почвы. Большая часть этих почв классифицируется как Алисоли, но, в зависимости от содержания гумуса и насыщенности основаниями, почвы могут включаться и в другие реферативные группы – Лювисоли и Лювикомые Файозёмы.
3. Пространственное распространение зрелых почв в этом горном поясе сильно ограничено повсеместными денудационно-аккумулятивными латеральными процессами, омолаживающими профиль зрелых почв или путем срезания наиболее выветрелых элювиальных горизонтов, или путем привноса менее выветрелого делювиально-коллювиального материала на поверхность. Вследствие этого широкое распространение в этом поясе получают более молодые, менее выветрелые и слабо текстурно-дифференцированные почвы (Умбрисоли, Камбисоли и Алисоли лёгкого гранулометрического состава).
4. Выявлен высотный градиент в свойствах ферриаллитных почв и в организации почвенного покрова внутри пояса переменного-влажных тропических горных лесов: а) снизу вверх усиливается степень выветрелости почвенной толщи, но снижается, вплоть до исчезновения, текстурная дифференциация профиля, б) почвенное разнообразие внутри пояса возрастает с высотой при этом относительно увеличивается площадь, занимаемая выветрелыми ферриаллитными почвами и уменьшается площадь, занимаемая сравнительно молодыми почвами,
5. Видовое разнообразие древесной растительности прямо зависит от пестроты почвенного покрова, поскольку существует различие в составе видов на разных почвенных выделах. Видовое разнообразие растительности в поясе переменного-влажных тропических горных лесов выше на более продуктивных почвах (менее кислых, богатых органическим углеродом и азотом).
6. В высокогорных туманных лесах выявлен специфический тип торфянисто-элювиально-глеевого подзолистого ферраллитного почвообразования, который сочетает признаки ферраллитного выветривания (образование преимущественно гиббсита и (гидр)оксидов железа), элювиально-глеевого процесса (формирование поверхностного осветлённого горизонта за счёт поверхностного переувлажнения)

- и подзолообразования (кислотный гидролиз силикатов и вынос его продуктов из осветленных верхних горизонтов).
7. Внутри пояса горных туманных лесов существует высотный градиент почвообразования: с высотой увеличивается мощность осветленного (подзолистого с признаками элювиально-глеевого процесса) горизонта и дифференциация профиля по илу в результате кислотного гидролиза тонкодисперсных фракций в поверхностных горизонтах. Выветривание в высотных подзонах горных туманных лесов имеет различную направленность: в подзоне высокогорных туманных лесов выветривание ферраллитное, а в ползоне низкогорных туманных лесов – ферсиаллитное.

СПИСОК ОСНОВНЫХ ПУБЛИКАЦИЙ ПО ДИССЕРТАЦИИ

Монографии

1. Почвенная номенклатура и корреляция / Составитель: П. В. Красильников. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 1999. 435 с.
2. Тонконогов В. Д., Лебедева И. И., Герасимова М. И., Красильников П. В., Дубровина И. А. Корреляция почвенных классификаций. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2005. 52 с.

Статьи

3. Красильников П. В. 1995. Современная эволюция почв сформированных на красноцветных отложениях Карелии // Экология и география почв Карелии (Под ред. О.В. Толстогузова). Петрозаводск: КарНЦ РАН. С. 5-17.
4. Красильников П. В., Седов С. Н., Гракина Е. Р. Разрушение эндогенных слоистых силикатов в почвах на элювии основных пород в Северной Карелии // Почвоведение. 1999. № 4. С. 468-475.
5. Соломатова Е. А., Красильников П. В., Сидорова В. А. Состав и пространственная вариабельность лесной подстилки в ельнике черничном зеленомошном Средней Карелии // Почвоведение, 1999. № 6. С. 764-773.
6. Красильников П. В., Фомин О. К. Механизмы фиксации калия и натрия в экстремально кислых таёжных почвах // Почвоведение, 2000. № 7. С. 703-708.
7. Красильников П. В. Почвы и биологическое разнообразие: предварительное исследование территории Восточной Фенноскандии // Экологические функции почв Восточной Фенноскандии (Под ред. Т. С. Зверевой). Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2000. С. 9-22.
8. Красильников П. В., Старр М., Лантратова И. М. Количественная оценка почвенного разнообразия Восточной Фенноскандии // Экологические функции почв Восточной Фенноскандии (Под ред. Т. С. Зверевой). Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2000. С. 108-123.
9. Krasilnikov P. V. Mosaics of the soil cover and species diversity of aboveground vegetation in forest ecosystems of Eastern Fennoscandia // Euras. Soil Sci. 2001. V. 34. Suppl. 1. P. S90-S99.
10. Красильников П. В. Влияние структуры почвенного покрова на разнообразие напочвенной растительности северной тайги Восточной Фенноскандии // Материалы по исследованию русских почв. 2001. Вып.2 (29). С. 15-20.
11. Alvarez Arteaga G., Garcia Calderon N. E., Krasilnikov P. V., Hernandez Jimenez A. Evaluacion de la estabilidad del carbono en suelos de cafetal en la Sierra Sur de Oaxaca, Mexico // Cafe Cacao. 2002. V. 3. No. 2. P. 67-70.
12. Fuentes Romero E., Garcia Calderon N. E., Krasilnikov P. V. Estudio de los nutrientes y características edáficas en cafetales con diferentes grados de apertura del dosel en Pluma Hidalgo, Oaxaca // Cafe Cacao. 2002. V. 3. No. 3. P. 61-63.

13. Krasilnikov P. V. An experience in correlating World Reference Base for Soil Resources with national soil classifications // *Transact. 17th World Congress of Soil Science*, 14-21 August 2002, Bangkok, Thailand. CD-ROM. 2002. P. 2031-1 – 2031-10.
14. Sidorova V., Krasilnikov P., Solomatova E. Spatial variability of soil horizons thickness in natural forested landscapes of Northern Europe // *Transact. 17th World Congress of Soil Science*, 14-21 August 2002, Bangkok, Thailand. CD-ROM. 2002. P. 914-1 – 914-8.
15. Garcia, C. N. E., A. Hernandez, E. Romero, G. Alvarez & P. Krasilnikov. La importancia del suelo para la sostenibilidad de los sistemas agroforestales cafetaleros en la Sierra Sur de Oaxaca, Mexico // *Memorias del XIII Congreso Científico del INCA*, 12 al 15 de noviembre, 2002. CD-ROM. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas. 20 p.
16. Krasilnikov P. V., Tabor J. A. Perspectives on utilitarian ethnopedology // *Geoderma*. 2003. V. 111. № 3-4. P. 197-215.
17. Красильников П. В., Фуентес Ромеро Э. Почвенное разнообразие: теория, практика и методы исследования // *Материалы по исследованию русских почв*. 2003. Вып.4 (31). С. 37-42.
18. Fuentes Romero E., Marin Castro B., Krasilnikov P., Garcia Calderon N.E. La distribución de los suelos en el transecto del Eje Neovolcanico hasta los Valles de Veracruz, Mexico // *Memorias del III Seminario Latinoamericano de Geografía Física*, Abril 28–Mayo 1, 2004, Puerto Vallarta, Jalisco, Mexico. CD-ROM. 2004. 12 p.
19. Garcia Calderon N.E., Uriostegi Delgado Y., Alvarez Arteaga G., Ibanez Huerta A., Krasilnikov P. Distribucion espacial de las propiedades de los suelos en la zona cafetalera de la Sierra Sur de Oaxaca, Mexico // *Memorias del III Seminario Latinoamericano de Geografía Física*, Abril 28–Mayo 1 de 2004, Puerto Vallarta, Jalisco, Mexico. CD-ROM. 2004a. 16 p.
20. Garcia Calderon N.E., Reyes Solis I., Reyes Ortigoza L., Ibanez Huerta A., Krasilnikov P. El cambio en la geografía de los suelos del Valle de Mezquital con el transcurso del riego y manejo agrícola // *Memorias del III Seminario Latinoamericano de Geografía Física*, Abril 28–Mayo 1 de 2004, Puerto Vallarta, Jalisco, Mexico. CD-ROM. 2004b. 11 p.
21. Krasilnikov P., Garcia Calderon N.E., Torres Gutierrez C. Procesos edaficos y geomorfologicos en la formación del mosaico de los suelos en las laderas de la Sierra Sur de Oaxaca, Mexico // *Memorias del III Seminario Latinoamericano de Geografía Física*, Abril 28–Mayo 1 de 2004, Puerto Vallarta, Jalisco, Mexico. CD-ROM. 2004. 15 p.
22. Krasilnikov P., Garcia Calderon N. Los problemas en los integrados de minerales arcillosos de suelos // *Cristalografía. Fundamentos, Técnicas y Aplicaciones* (Ed. L. Bucio) Sociedad Mexicana de Cristalografía, A.C. P. Mexico, 2005. P. 85-92.
23. Garcia Calderon N., Krasilnikov P., Dixon J.B., Pinilla A. La importancia de la cristalografía en la sustentabilidad edáfica de la Sierra Sur de Oaxaca // *Cristalografía. Fundamentos, Técnicas y Aplicaciones* (Ed. L. Bucio) Sociedad Mexicana de Cristalografía, A.C. P. Mexico, 2005. P. 283-292.
24. Krasilnikov P., Garcia Calderon N. El uso de la WRB para cartografía de los suelos en Mexico // *Mem. de la Convención Nacional de Geografía*, Manzanillo, Colima, 14-17 de junio 2005. CD-ROM. 2005. 15 p.
25. Сидорова В. А., Красильников П. В. Пространственная вариабельность агрофизических свойств почв, используемых в сельском хозяйстве // *Материалы Межд. конф. «Роль почв в устойчивости ландшафтов и ресурсосберегающем использовании почв»*, Пенза, 5-10 сентября 2005 г. Пенза, 2005. С. 14-16.

26. Сидорова В. А., Красильников П. В. Влияние дренажа на пространственную вариабельность почвенных свойств // *Мат. конф. «Экспериментальная информация в науках о почве: теория и методы стандартизации»*, Москва, 20-22 декабря 2005 г. Москва, 2005. С. 71-73.
27. Krasilnikov P.V., Garcia Calderon N. E., Sedov S. N., Vallejo Gomez E., Ramos Bello R. The relationship between pedogenic and geomorphic processes in mountainous tropical forested area in Sierra Madre del Sur, Mexico // *Catena*. 2005. V. 62. No. 1. P. 14-44.
28. Красильников П. В., Гарсиа Кальдерон Н. Е. Почвенный покров и геоморфологические процессы в субтропическом высотном поясе Сьерра Мадре дель Сюр, Мексика // *Почвоведение*. 2005. № 10. С. 1214-1221.
29. N. E. Garcia Calderon, Krasilnikov P. V., Ibanez Huerta A., Alvarez Arteaga G., Fuentes Romero E., Marin Castro B. WRB classification of polygenetic soils of Sierra Sur de Oaxaca, Mexico // *Eurasian Soil Sci.* 2005. V. 38. Suppl. 1. P. S27-S34.
30. Garcia Calderon N.E., Comeau L.-P., Krasilnikov P. Productividad y sustentabilidad de los sistemas agroforestales cafetaleros: un enfoque edafico // *Memorias del X Congreso nacional y II Internacional de la Ciencia del Suelo “Suelo, Seguridad Alimentaria y Pobreza”*, 6–10 de noviembre 2006, Lima, Peru. Lima, 2006. P. 147-151.
31. Cruz Gaistardo C.O., Garcia Calderon N.E., Krasilnikov P. Avances en la cartografia de Mexico con WRB // *Memorias del X Congreso nacional y II Internacional de la Ciencia del Suelo “Suelo, Seguridad Alimentaria y Pobreza”*, 6–10 de noviembre 2006, Lima, Peru. Lima, 2006. P. 193-196.
32. Garcia Calderon N. E., Ibanez Huerta, A., Alvarez Arteaga, G., Krasilnikov, P. y Hernandez Jimenez, A. Soil diversity and properties in coffee-growing areas in Sierra Sur de Oaxaca, Mexico // *Can. J. Soil Sci.*, 2006. V. 86. No. 1. P. 64-72.
33. Krasilnikov P., Garcia Calderon N. E. A WRB-based buried paleosol classification // *Quaternary International*. 2006. V. 156-157. P. 176-188.
34. Сидорова В. А., Красильников П. В. Почвенно-географическая интерпретация пространственной вариабельности химических и физических свойств поверхностных горизонтов почв степной зоны // *Почвоведение*, 2007. № 10. С. 1168-1178.
35. Krasilnikov P., Reyna Trujillo T. La regionalizacion edafica del territorio de Mexico. Mem. XVII Congreso Latinoamericano de las Ciencias del Suelo, Leon, Gto., 17-21 de septiembre de 2007. CD-ROM. 2007. 4 p.
36. Сидорова В. А., Красильников П. В. Использование геостатистических методов для картографирования почвенных горизонтов // *Геостатистика и география почв*. М., Наука, 2007. С. 19-42.
37. Красильников П. В., Сидорова В. А. Геостатистический анализ пространственной структуры кислотности и органического углерода зональных почв Русской равнины // *Геостатистика и география почв*. М., Наука, 2007. С. 67-80.
38. Garcia Calderon N.E., Krasilnikov P., Valera Perez M.A., Torres Trejo E. Suelos // Luna I., Morrone J.J. y Espinosa D. (eds.) *Biodeiversidad de la Faja Volcanica Transmexicana*. UNAM, Mexico, D.F. 2007. P. 73-98.
39. Krasilnikov P., Garcia-Calderon N. E., Fuentes-Romero E. Pedogenesis and slope processes in subtropical mountain areas, Sierra Sur de Oaxaca, Mexico // *Revista Mexicana de Ciencias Geologicas*, 2007. V. 24. P. 391-409.
40. Targulian V. O., Krasilnikov P. V. Soil system and pedogenic processes: Self-organization, time scales, and environmental significance // *Catena*, 2007. V. 71. P. 373-381.
41. Krasilnikov P. Variography of discrete soil properties // Krasilnikov, P., Carre, F. & Montanarella, L. (eds.), *Soil geography and geostatistics: Concepts and applications*. European Commission, JRC-IES, 2008. P. 12-25.

42. Garcia Calderon N.E., Uriostegui Delgado Y., Alvarez Arteaga G., Ibanez Huerta A., Krasilnikov P. Spatial distribution of the soil properties controlling soil resistance to erosion at a coffee growing farm in Sierra Sur de Oaxaca // Krasilnikov, P., Carre, F. & Montanarella, L. (eds.), Soil geography and geostatistics: Concepts and applications. European Commission, JRC-IES, 2008. P. 37-54.
43. Alvarez Arteaga G., Garcia Calderon N.E., Krasilnikov P.V., Sedov S.N., Targulian V.O., Velazquez Rosas N. Soil altitudinal sequence on base-poor parent material in a montane cloud forest in Sierra Juarez, Southern Mexico // Geoderma, 2008. V. 144. № 2. P. 593–612.

Изд. лиц. № 00041 от 30.08.99. Формат 60×84¹/₁₆
Бумага офсетная. Гарнитура «Times».
Уч.-изд. л. 2,6. Усл. печ. л. 2,7. Подписано в печать 19.06.08.
Тираж 100 экз. Изд. № 101. Заказ № 734

Карельский научный центр РАН
Редакционно-издательский отдел
1850036 Петрозаводск, пр. А. Невского, 50