

# **ЭКОЛОГИЯ И ГЕОГРАФИЯ ПОЧВ**

Учреждение Российской академии наук  
Институт биологии  
Карельского научного центра РАН

# **ЭКОЛОГИЯ И ГЕОГРАФИЯ ПОЧВ**

2009

УДК 502:631.4.

ББК 40.3.

Э 40

ЭКОЛОГИЯ И ГЕОГРАФИЯ ПОЧВ / Ред. П. В. Красильников. 2009.

Ответственный редактор  
доктор биологических наук *П.В. Красильников*

Рецензенты:  
доктор биологических наук *М.И. Сысоева*  
кандидат географических наук *И.В. Щеколдина*

Работа выполнена и опубликована при финансовой поддержке грантов: «Цифровое почвенное картографирование в разных масштабах: расширение теоретической базы и практическое применение» (РФФИ № 09-04-00027-а), «Трансформация почв и фитоценозов и её вклад в фиксацию органического углерода при вторичном заболачивании мелиорированных лугов Карелии» (РФФИ № 08-04-98823-р\_север\_а), «Разработка региональной агропроизводственной группировки почв Республики Карелия» (РФФИ № 08-04-98827-р\_север\_а). Авторы выражают благодарность за финансовую поддержку проектам SEP–CONACyT 43702 и 55718, PAPIIT IN 104807 и проектам Венгерского национального научного фонда T014522, T023271, T37364, T37731, OM-4/015/2004 “NKFP”.

В сборнике представлены почвенно-географические работы, выполненные в разных масштабах и с применением разным подходов и методов исследований. В статьях сборника рассматривается использование и интерпретация популярных в настоящее время геостатистических методов в рамках почвенно-географических задач, традиционные задачи почвенного картографирования и оценки земель с точки зрения соответствия классификационных единиц реальным географическим единицам, почвенному покрову еловых лесов Карелии, исследуется связь видового состава травостоя с почвами и микрорельефом. Книга завершается работами, в которых рассматривается распределение почв в рамках целых стран: в одном случае в связи с проблемами засоления почв, а в другом случае – с точки зрения традиционных задач почвенно-географического районирования зарубежных стран.

ISBN 978-5-9274 0395-0

© Институт биологии КарНЦ РАН, 2009

## Содержание

<b>Предисловие</b> .....	3
<b>Красильников П.В. Вариография дискретных почвенных свойств</b> .....	10
<b>Сидорова В.А. Изменение пространственной variability почвенных свойств в результате антропогенного воздействия</b> .....	30
Гарсиа Кальдерон Н.Е., Уриостеги Дельгадо Я., Альварес Ортеага Г., Ибаньес Уэрта А., Красильников П.В. <b>Пространственное распределение почвенных свойств, контролирующее устойчивость почвы к эрозии, на кофейных плантациях Сьерра Сюр де Оахака</b> .....	48
<b>Соломатова Е.А. Почвы еловых лесов Восточной Фенноскандии</b> .....	66
<b>Дубровина И.А. Почвенный покров Корзинской низины в новой классификации почв России</b> .....	91
<b>Юркевич М.Г. Горизонтальная структура агроценозов южной Карелии</b> .....	105
<b>Тот Т., Пастор Л., Кабош Ш., Кути Л. Засолённые почвы Венгрии: прогноз распространения на основе гидрогеологических карт</b> .....	116
<b>Красильников П.В. Почвенный покров и почвенно-географическое районирование территории Мексики</b> .....	158

## Предисловие

Почвенная география с самого возникновения науки о почве составляла неотъемлемую часть генетического почвоведения. Значимость почвенно-географических исследований определяется, прежде всего, их практическим применением в картографировании почвенных ресурсов. В то же время знание географических закономерностей распространения почв позволяет глубже понять неразрывное взаимодействие всех земных оболочек, составляя, таким образом, связующее звено с прочими естественнонаучными дисциплинами.

Удивительным образом в последние десятилетия интерес к почвенно-географическим исследованиям значительно снизился. Связано это, как нам кажется, не столько с потерей интереса к пространственному распространению почв, а с некоторым дроблением почвенной географии на различные подразделы. В настоящее время считается, что катенарным распределением почв занимается почвенная геоморфология, влиянием поверхностных и подземных водных потоков на почвы – гидропочвоведение, распределением отдельных свойств почвы – педометрика, и так далее. Практически собственно за географией почв оставляются только изучение закономерностей распределения почв в планетарном масштабе, специфические разделы типа структуры почвенного покрова, а также чисто эмпирические, описательные работы, характеризующие почвенный покров отдельных регионов.

На наш взгляд, излишнее дробление географии почв на специальные разделы приводит к несколько редуционистскому взгляду на общую проблему исследования закономерностей распределения почв на земной поверхности. Только интегральный подход позволяет правильно интерпретировать всю сложную пространственную структуру педосферы. Мы считаем, что к географии почв должны относиться все разделы почвоведения, связанные с описанием, интерпретацией и моделированием почвенного покрова в пространстве, будь то распространение почвенных таксонов, отдельных свойств почв или их внешних функций.

Рассматривая всю совокупность почвенно-географических исследований, можно отметить, что эти исследования весьма разно-

родны по масштабу, системам применяемых методов и даже по терминологии. Практические задачи, стоящие перед географией почв, также разнообразны: это картографирование в разных масштабах, почвенное районирование, экстраполяция и интерполяция данных. Перечисленные задачи с точки зрения эпистемологии подразумевают совершенно разные мыслительные операции (синтез, анализ, классификацию, генерализацию и пр.). Понятно, что практически невозможно совместить всё разнообразие почвенно-географических концепций, которые позволяют решать указанные задачи, в рамках только одного методологического подхода. Мы не согласны с распространённым утверждением о том, что учение о структуре почвенного покрова В. М. Фридланда представляет собой концептуальное «ядро» всех почвенно-географических исследований. На наш взгляд, описание структурной организации почвенного покрова – это важный, но не единственный подход в почвенной географии. Мы считаем, что условно можно выделить три различных подхода в географии почв, различающихся системой понятий, терминов и методов, применяемых к почвенному покрову. На наш взгляд, эти три подхода могут быть названы статическим (или факторным), динамическим (или процессно-генетическим) и структурным (покровным). Мы настаиваем на том, что подобное подразделение – единственно возможное; как любое рабочее подразделение, оно может быть подвергнуто критике или отвергнуто вовсе. Тем не менее, в данной работе нам представляется удобным произвести указанное выше подразделение. Как будет показано ниже, три указанных подхода в географии почв не взаимоисключающи, а вполне могут дополнять друг друга. Хотя, по сути, предложенное подразделение не несёт нового содержания, как минимум терминология вводится нами впервые и требует соответствующих пояснений и расшифровки.

Статический подход берёт начало с ранних работ В. В. Докучаева. Он базируется на пространственном приложении факторно–процессно–профильной парадигмы Докучаева; выражая основную идею данного подхода в несколько вульгарной форме, можно сказать, что почвы на земной поверхности различны, поскольку факторы почвообразования и их сочетания варьируют в пространстве. Наиболее ярко базовые положения факторного

подхода выражены в биоклиматических законах: широтной и вертикальной зональности почв. Термин «статический подход» отнюдь не означает, что не учитываются динамические процессы почвообразования (по определению любая почва – это динамическое природное тело). Статический характер данного подхода состоит в том, что он подразумевает формирование почв в относительно стабильном поле факторов почвообразования и не привлекает идею о латеральных потоках вещества, дифференцирующих почвенный покров; другими словами, рассматриваются только вертикальные процессы в почвенном профиле. В рамках статической парадигмы также могут рассматриваться и законы литологической дифференциации почв. Распределение почвообразующих пород на земной поверхности определяется геологическими процессами и, в отличие от сравнительно очевидных климатических закономерностей, с трудом поддаётся формализации. Поэтому для литологической дифференциации почвенного покрова не выработано столь ясных правил, как для биоклиматического распределения почв. В то же время для описания разницы в педогенезе на разных породах почвенный географ подключает методологический аппарат генетического почвоведения, в частности, понятие о сенсорности почвообразующих пород. В качестве синтетического (биоклиматического и литологического) подхода можно привести концепцию И. А. Соколова о почвенных ареалах, областях, где совокупность сходных зональных и фациальных биоклиматических условий и сходные литологические характеристики определяют формирование определённого набора почв.

Динамический подход направлен на объяснение процессов, ответственных за дифференциацию почвенного покрова. Мы предлагаем называть его динамическим, поскольку он подразумевает интерпретацию почвенного покрова в терминах почводифференцирующих процессов, то есть рассматривает латеральные потоки вещества, дифференцирующие почвенный покров. Этот подход также можно было бы назвать «процессно-генетическим», поскольку он рассматривает процессы происхождения, генезиса почвенных комбинаций, однако это могло бы привести к путанице, создавая ложное впечатление, что имеется в виду генезис почвенных тел, и

что другие направления не опираются на базис генетического почвоведения. Динамический подход включает множество частных направлений и концепций, часть из которых будет рассмотрена ниже. В рамках динамического подхода, прежде всего, следует упомянуть «почвенную геоморфологию» (soil geomorphology) и геохимию почв. Первая рассматривает латеральный перенос вещества в почвах в твёрдом виде, а вторая – в растворённом. Почвенная геоморфология получила широкое развитие как в отечественной, так и в западной школе, хотя сам термин используется преимущественно в англоязычной литературе. Понятие геохимии почв развивалось в основном в российской почвенной школе. Любопытно отметить, что хотя сам термин «soil geochemistry» в англоязычной литературе используется довольно широко, почти исключительно он применяется для характеристики работ по исследованию поведения микроэлементов (в особенности тяжёлых металлов) в почве. Следует подчеркнуть, что динамический подход рассматривает почводифференцирующие процессы не только линейно (как при исследовании катен), но и в покровках: примером может служить современный французский подход к исследованию почвенного покрова.

Наконец, третий, структурный, подход рассматривает почвенный покров как совокупность объектов на земной поверхности, давая его качественные, полуколичественные и/или количественные характеристики, причём характеризует как параметры компонентов почвенного покрова (геометрию, размеры и т. д.), так и их взаимную связь. Хотя подобный подход в основном концентрируется на описании характеристик почвенного покрова, это не исключает последующую интерпретацию генезиса последнего (которая в отдельных случаях и представляет собой цель исследования). Также возможно назвать данный подход «покровным», однако это может создать ложное впечатление, что в рамках других подходов почвенный покров не рассматривается, что неверно. Структурная парадигма наиболее ярко проявляется в учении о структуре почвенного покрова В. М. Фридланда и сходной концепцией почвенных пейзажей Хоула и Кэмпбелла. Более формальная характеристика организации почвенного покрова осуществляется с помощью педометрических методов, в частности, методов оценки почвенного



разнообразия. Это подход, отвлеченный не только от генезиса структуры почвенного покрова, но и от характеристик компонентов указанной структуры. Ещё большая степень формализации характерна для геостатистических методов, которые вообще рассматривают пространственное распределение отдельных количественных показателей почв. Три подхода в географии почв не исключают друг друга; довольно часто они взаимно дополнительные, например, в разных масштабах один и тот же почвенный ландшафт может характеризоваться в терминах статического (в мелком масштабе) и динамического (в крупном масштабе) подходов. В то же время следует отметить, оба подхода не привязаны жёстко к определённому масштабу. Например, почвенные мозаики в крупном масштабе вполне могут интерпретироваться в терминах литологической неоднородности (статический подход), а изменение почв на больших (до тысяч километров) расстояниях могут быть объяснены в рамках концепции почвенно-геохимических арен по М. А. Глазовской (динамический подход). Привлечение двух и более подходов к исследованию почвенного покрова в ряде случаев позволяет существенно продвинуться в понимании пространственной организации почв. Например, направление, развиваемое в Институте географии РАН, «моделирование генезиса и эволюции почвенного покрова», объединяет теорию структуры почвенного покрова (структурный подход) и исследования процессов, дифференцирующих почвенный покров (динамическая парадигма), что позволило получить принципиально новые знания и выйти на уровень прогнозирования почвенного покрова.

В настоящей книге представлены почвенно-географические работы, выполненные в разных масштабах и с применением разным подходов и методов исследований. Первые две статьи в сборнике (П. В. Красильникова и В. А. Сидоровой) представляют собой попытки использования и интерпретации популярных в настоящее время геостатистических методов в рамках почвенно-географических задач. Работа И. А. Дубровиной рассматривает традиционную задачу почвенного картографирования и оценки земель с точки зрения соответствия классификационных единиц реальным географическим единицам. Работа Е. А. Соломатовой посвящена почвенному покрову еловых лесов Карелии. Статья М. Г. Юркевич иссле-

дует связь видового состава травостоя с почвами и микрорельефом. Книга завершается работами, в которых рассматривается распределение почв в рамках целых стран: в одном случае в связи с проблемами засоления почв (Т. Тота и соавторов), а в другом случае – с точки зрения традиционных задач почвенно-географического районирования зарубежных стран (П. В. Красильников).

Разумеется, небольшой сборник научных трудов не может отразить всего спектра подходов современной почвенной географии. Однако мы надеемся, что он окажется полезным для всех интересующихся почвенно-географическими исследованиями, в том числе представителям смежных дисциплин.

# Вариография дискретных почвенных свойств

П. В. Красильников<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>*Институт биологии КарНЦ РАН, Петрозаводск, Россия*

<sup>2</sup>*Факультет Естественных наук, Национальный Автономный  
Университет Мексики, Мехико, Мексика*

## Введение

Основной задачей геостатистики в почвоведении было и остаётся увеличение точности почвенно-агрохимических картограмм (Кузякова и др., 2001). В то же время известно, что в ходе обработки пространственно-распределённых данных, особенно на этапе вариографии, можно получить ценную дополнительную информацию о распределении обрабатываемых показателей (Демьянов и др., 1999). Данное положение может вызвать закономерный вопрос: зачем работать с большими массивами неупорядоченных данных, если опытный почвовед может сделать выводы о пространственной структуре территории, используя методологический аппарат географии почв, на основании значительно меньшего числа наблюдений? Необходимость получения подобной информации связана с двумя причинами. Во-первых, многие закономерности пространственного распределения почвенных свойств проявляются в неявной форме и не могут быть выявлены путём непосредственного наблюдения. Во-вторых, на современном этапе почвовед часто вынужден работать с уже существующими массивами данных, не имея возможности и ресурсов для детального полевого исследования территории. Иногда для увеличения эффективности полевых работ желательно иметь заранее рабочую гипотезу, которая может быть выработана на основании геостатистического анализа данных.

Согласно современным концепциям пространственной вариабельности почвенных свойств, значение любого почвенного свойства в каждой точке земной поверхности определяется как сумма трёх факторов: детерминированной факторами почвообразования средней величиной показателя, закономерностью (иногда скрытой) распределения на конкретном участке и стохастической (точнее, псевдостохастической) вариацией свойств (Джогман и др., 1995;

Вебстер, 2006). Строго говоря, любой показатель естественным образом зависит от определённых факторов в силу причинно-следственной связи, и каждое значение в произвольно взятой точке может рассматриваться как жёстко детерминированное. В то же время детерминистское объяснение значений в каждой отдельно взятой точке непродуктивно с практической точки зрения. Фактически подобный подход приводит нас к известному парадоксу «демона Лапласа», гипотетического существа, знающего координаты и скорость каждой частицы в мире, и потому способного предсказать будущее. Все события в мире детерминированы, но никто не в состоянии учесть и обработать всю информацию, необходимую для точного прогноза. Например, столь часто используемые для иллюстрации теории вероятности кости или монеты падают определённым образом в зависимости от силы и направления броска, но нам проще рассматривать этот процесс как случайный и обрабатывать статистически (Харвей, 1974).

Подобным же образом и распределение почвенных свойств в ряде случаев удобнее рассматривать как стохастическое (Phillips, 1998), особенно если эти свойства не связаны напрямую с современными факторами почвообразования, а зависят от загрязнения и внесения удобрений (Вебстер, 2006), или определяются прошлыми циклами почвообразования (Phillips et al., 1996).

Проиллюстрируем три составляющие вариабельности почв на примере. Предположим, нам необходимо интерполировать значения некоторых показателей (содержания гумуса, кислотности, гранулометрического состава) на некое поле. Для того чтобы узнать детерминированные факторами почвообразования величины, мы должны проанализировать некое статистически значимое количество образцов, и определить средние значения. В то же время значения могут закономерно изменяться, например, по склону или по иному градиенту факторов. Обычно эти изменения не обнаруживаются с первого взгляда, поскольку величины убывают или возрастают неравномерно; в ряде же случаев изменения происходят не по линии, а по более сложной поверхности. В этом случае производится поиск тренда, то есть находится регрессионная зависимость значений от координат. Среднее значение и тренд являются первой, закономерной составляющей вариабельности почвенных

свойств. Вторая составляющая вариабельности не зависит от координат, а связана только с расстоянием между точками отбора образцов (лагом). Эта составляющая исследуется методами геостатистики. Она имеет двойственную природу. С одной стороны, она является закономерной в том смысле, что может быть охарактеризована в терминах пространственной корреляции и соответствующим образом интерпретирована. В то же время прямая интерпретация собственно геостатистических данных обычно затруднительна, и ей предпочитают рассматривать как стохастическую (точнее, псевдостохастическую). Наконец, последняя составляющая является полностью стохастической и не может быть интерпретирована; в геостатистических моделях она выражается наггетом, вариабельностью, не зависящей ни от координат, ни от расстояния между точками. В дальнейшем она не обсуждается.

Игнорирование псевдостохастической составляющей может привести к серьёзным ошибкам при составлении агрохимических картограмм и картограмм загрязнения, поскольку такие параметры, как содержание питательных элементов и веществ-загрязнителей, обычно слабо связаны с легко детектируемыми факторами почвообразования (Вебстер, 2007). В то же время игнорирование закономерного распределения может привести к полностью ошибочным результатам как при составлении картограмм, так и при интерпретации пространственного распределения данных. Опасность заключается в том, что геостатистический подход претендует на определённую независимость от эксперта, то есть считается, что любой специалист, минимально знакомый с методом, независимо от своей квалификации и даже специализации, может получить качественные результаты. В частности, ряд популярных программ (например, SURFER, 1993-1996) использует методы геостатистики в виде «чёрного ящика», выдавая только конечный результат расчётов: картограмму. Понятно, что алгоритмы применения геостатистических методов для продвинутых пользователей (McBratney, Webster, 1986) включают выявление и учёт трендов, и при явной неоднородности исследуемого участка закономерное изменение свойств обычно включается в модель пространственного распределения. Однако в тех случаях, когда явного тренда не обнаруживается, как, например, в случае наличия мозаичной структу-

ры, присутствие закономерной неоднородности может игнорироваться в геостатистических моделях.

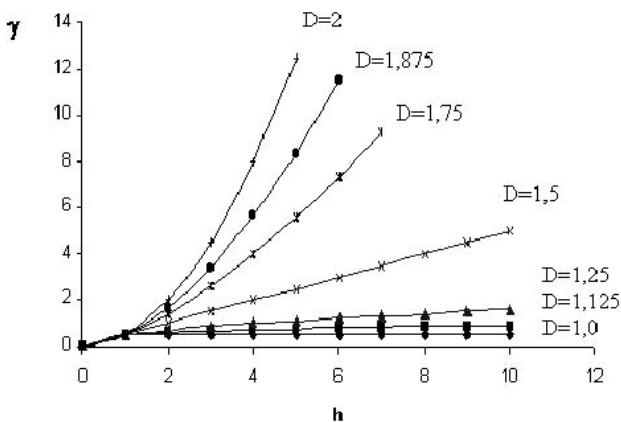
Отсюда ясно, что первостепенной задачей при анализе пространственной структуры является правильная интерпретация формы и показателей вариограммы при обработке данных. К настоящему времени накоплен достаточный эмпирический материал, позволяющий выявлять организацию почвенных свойств в пространстве. Как правило, почвенный покров, имеющий явную пространственную структуру, отличается очень высокой дисперсией почвенных свойств, и потому качество вариограмм оказывается значительно ниже, чем для участков со сглаженным распределением данных (Джонгман и др., 1995).

Основное внимание исследователи уделяли выявлению периодичности в структуре почвенного покрова. Очевидно, что для закономерно повторяющихся показателей вариограмма будет иметь периодический характер, причём лаг периода будет кратен характерному размеру структурной ячейки. Р. Вебстер (Webster, 1977) исследовал распределение спектральной отражательной способности Вертисолой Австралии и обнаружил периодичность, связанную с бугорково-западинным микрорельефом, характерным для подобных почв («гильгай»). Н. Г. Гумматов с соавторами (1992) изучали плотность, влажность и ёмкость катионного обмена серой лесной почвы и обнаружили периодичность в распределении данных показателей; эти авторы объяснили наличие колебательной составляющей наличием палеокриогенной блочно-полигональной структуры. Аналогичные результаты были получены Ш. И. Литвак с соавторами (1997), которые исследовали на тех же почвах кислотность и обменные основания; эти авторы также отнесли периодичность распределения почвенных показателей на счёт микрорельефа, связанного с унаследованной древней блочной структурой. Во всех перечисленных случаях исследователи использовали для вариограммы периодическую модель (синусоиду). А. Брюкнер с соавторами (Bruckner et al., 1999) обнаружили периодичность с характерным расстоянием в 1–1,5 м для влажности, кислотности, интенсивности дыхания и скорости минерализации азота в лесных подстилках, однако использовали для вариограммы сферическую модель.

Помимо периодичности, рядом авторов также рассматривалась псевдопериодичность (квазипериодичность), которая на вариограмме выглядит как неполный цикл колебаний, то есть вариограмма имеет обратный наклон (полудисперсия уменьшается при увеличении лага) (Burgess, Webster, 1980; McBratney, Webster, 1981) либо параболическую форму (при росте лага полудисперсия сначала возрастает, а потом падает) (Шеин и др., 2001). Обычно подобное поведение вариограммы рассматривается как индикатор наличия квадратичного тренда. В реальном почвенном покрове квадратичный тренд означает наличия некоего крупного «пятна» с существенно отличными свойствами, чаще всего закономерную смену почв в пределах исследуемого участка (Шеин и др., 2001). В то же время М. Оливер (Oliver, 1987) рассматривает обратный наклон вариограммы как свидетельство нерегулярной периодичности свойств.

Остаётся не вполне ясным вопрос, каким закономерностям пространственного распределения свойств соответствуют линейные модели вариограмм без порога. С одной стороны, существуют простые ситуации, когда неограниченный рост полудисперсии происходит вдоль некоторого градиента, то есть если вариограмма взята по направлению, имеющему линейный тренд (Джонгман и др., 1999). Пример подобного распределения приводится В. П. Самсоновой с соавторами (1999) для кислотности и содержания калия в дерново-подзолистой почве, где удобрения вносились неравномерно вдоль поля. Линейный тренд по направлениям может возникать и из-за закономерного различия двух блоков исследуемого участка: П. Гувертс (Goovaerts, 1998) обнаружил линейную форму вариограммы по одному из направлений в связи с тем, что на одно поле вносились известковые удобрения, а на другое – нет. В то же время в литературе описаны и более сложные случаи. Например, каменистость почв давала линейную форму вариограмм по направлениям в исследовании Бургеса и Вебстера (Burgess, Webster, 1980), однако удаление трендов не изменило формы вариограмм. Любопытную интерпретацию линейной формы вариограммы предложил Барроу (Burrough, 1983; см. также Геостатистика ... , 2007). Если предположить, что вариабельность почв имеет ту же природу, что и броуновское движение, то распределение свойств

почв имеет фрактальный характер. Линейная форма вариограммы отражает частный случай фрактального распределения свойств (Рис.1) при фрактальной размерности  $D=1,5$ . При более высоких или низких значениях фрактальной размерности вариограмма моделируется степенной функцией, при  $D=1$  она вырождается в линию, параллельную оси  $X$  («чистый нагет» или белый шум), а при  $D=2$  превращается в параболу.



**Рис.1. Вариограммы фрактально распределённых данных (одномерный случай) в зависимости от величины фрактальной размерности**

В то же время существуют серьёзные сомнения в том, что распределение почвенных свойств действительно имеет фрактальный характер (Вебстер, 2006). Сам Барроу (Burrough, 1983) указывал, что бесконечное увеличение дисперсности связано скорее не с фрактальной, а с гнездовой структурой почвенного покрова.

Краткую сводку интерпретации моделей вариограмм приводит Джонгман с соавторами (1999). На основании анализа множества пространственно-распределённых данных они указывают, что сигнал с резкими границами на регулярных расстояниях в одномерном случае (например, данные по трансекте) лучше всего описывается линейной моделью с порогом, подобный же регулярный сигнал в двумерном случае либо сигнал на нерегулярных расстояниях – сфе-



рической моделью, сигнал с резкими изменениями на всех расстояниях – экспоненциальной, сигнал с линейным трендом – линейной моделью без порога, периодический сигнал – периодической же вариограммой, белый шум – «чистым наггетом», а плавно варьирующий сигнал – гауссовой моделью. В подобной группировке может быть не вполне очевидно, чем отличаются сигналы с резкими границами и периодические сигналы; авторы (Джонгман и др., 1999) рассматривают как сигналы с резкими границами изменения свойств на нерегулярные величины, а как периодические – плавно варьирующие сигналы с фиксированной амплитудой. Следует заметить, что указанные авторы рассматривают уже модели вариограмм, которые, разумеется, сильно сглажены по сравнению с экспериментальными вариограммами. В ряде случаев при подборе модели часть информации теряется, особенно если количество моделей в геостатистических программах ограничено (например, см. Pannatier, 1996).

Для того чтобы обнаруживать определённые структуры в распределении почвенных свойств, надо чётко представлять, как выглядят экспериментальные вариограммы при том или ином пространственном распределении данных. В этом случае интерпретацию вариограмм может существенно облегчить моделирование идеальных распределений данных на двумерной поверхности и анализ экспериментальных вариограмм, полученных на их основании. Мы предприняли попытку рассмотреть, как отражаются в форме экспериментальных вариограмм некоторые модельные распределения. Рассматривались модели «шахматная доска», «пятно» и фрактальная модель. Для геостатистической обработки, построения экспериментальных вариограмм и (в отдельных случаях) их моделей использовались пакеты программ Variowin (Pannatier, 1996) и Genstat (2002 – оценочная версия).

### **«Шахматная доска»**

Рассмотрим простейший вариант периодического чередования свойств на двумерной поверхности в варианте «шахматная доска». Эта двухкомпонентная модель отражает гипотетический почвенный покров, в котором через равные расстояния некое свойство принимает фиксированные значения  $x$  и  $y$ . Для простоты присвоим им численные значения 1 и 2, соответст-

венно. Почвенный покров считаем изотропным, то есть чередование значений происходит с той же периодичностью во всех направлениях. Данной модели соответствует большое количество реальных распределений почвенных свойств, например, в ландшафтах с явно выраженной периодичностью почвенного покрова, в частности, в полигональных тундрах, в зонах с распределением влаги, солей или иных компонентов по микрорельефу и так далее. Также при анализе почвенного покрова в более мелком масштабе многие ландшафты будут показывать закономерную периодичность, связанную с мезорельефом и эрозионными процессами. Очевидно, что очень редко реальный почвенный покров будет строго периодичен, ещё реже следует ожидать его изотропности, и крайне маловероятно, чтобы в каждом из двух компонентов какое-либо свойство принимало фиксированное значение. Однако все эти отклонения от идеальной модели будут только сглаженными вариантами той же самой модели.

Представим, что образцы отбирались в центре каждого полигона на «шахматной доске»  $15 \times 15$  с шагом, соответствующим периодичности изменения свойств (225 экспериментальных точек). Как известно (Wackernagel, 2003), для геостатистического анализа достаточным считается 150 точек отбора образцов. При моделировании используем шаги, соответствующие разным лагам, как меньшим, чем шаг отбора, так и большим. При величине лага 0,5 экспериментальная вариограмма представляет собой облако точек со значениями дисперсий от 0 до 0,4 (Рис. 2а).

Когда исследователь сталкивается с подобным распределением точек на практике, обычно делается вывод о неупорядоченном распределении свойств («белый шум»). И действительно, единственно пригодная модель вариограммы в данном случае представляет собой линию, почти параллельную оси  $X$ , то есть модель «чистого наггета». Периодичность, разумеется, может быть выявлена в этом случае, однако не несёт существенной полезной информации; достаточно хорошо читается, если точки соединены, однако подбор периодической модели затруднителен. При лаге равном единице (Рис. 2б) происходит дальнейшее уменьшение размаха дисперсии до диапазона 0,15 – 0,35 и периодичность присутствует в явном

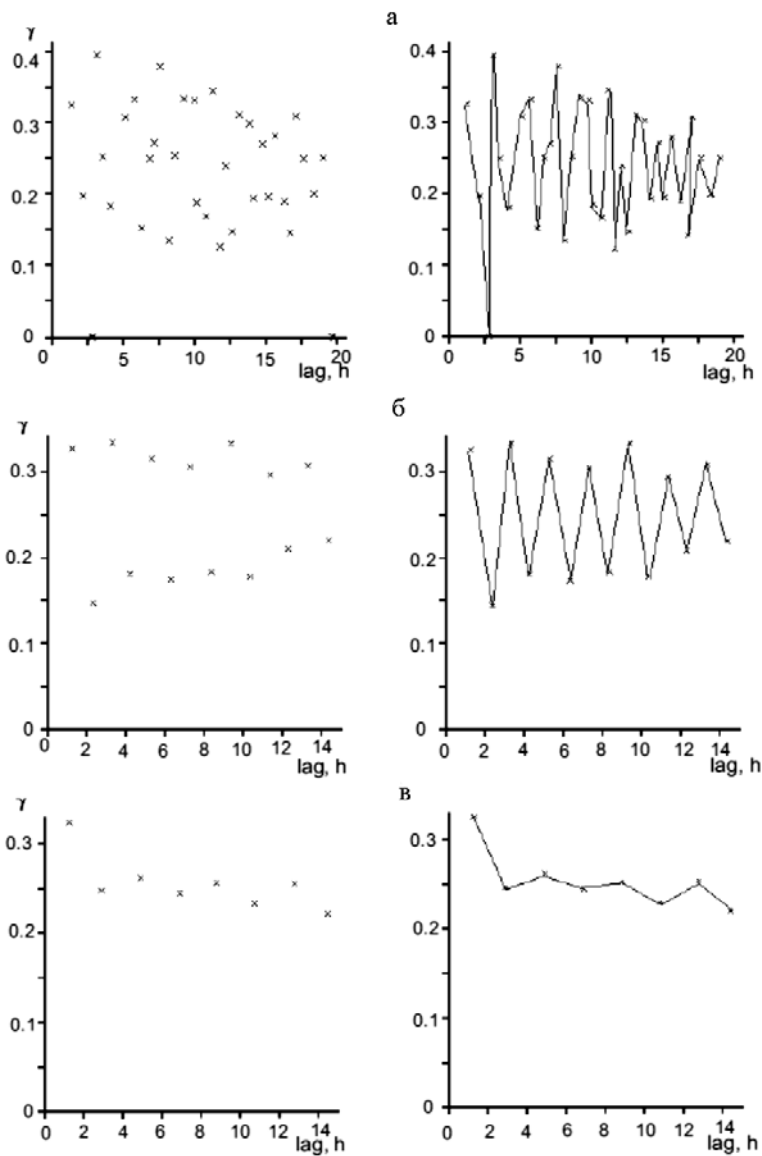


Рис. 2. Экспериментальные вариограммы модели «шахматная доска»  
 (в правой колонке точки для наглядности соединены):  
 а – шаг 0,5; б – 1,0; в – шаг 2,0

виде. В этом случае возможен подбор периодической модели. При увеличении лага до 2 (Рис. 2 в) происходит дальнейшее сглаживание данных. Точки, распределённые подобным образом, обычно на практике моделируются с помощью линейной вариограммы. Интересно заметить, что в этом случае линейная вариограмма имеет обратный наклон.

Таким образом, в случае обнаружения сильного разброса экспериментальных точек всегда следует предполагать возможность периодической пространственной структуры. При моделировании подобное распределение описывается линейной моделью с обратным наклоном или же моделью «чистого наггета» (линия параллельна оси X). Периодическая модель может быть успешно подобрана только в случае, если лаг соответствует характерному расстоянию изменения показателя в пространстве. Поэтому при интерпретации данных, характеризующихся линейной моделью без наклона или с обратным наклоном полезно попытаться изменить лаг при построении экспериментальной вариограммы. В том случае, если при неком лаге удастся успешно применить периодическую модель, следует заключить, что пространственное распределение данных имеет регулярный характер с периодом, приблизительно соответствующим лагу.

Как уже отмечалось, в реальном почвенном покрове довольно редко отмечаются резкие периодические изменения показателей, обычно их смена происходит более гладко. Поэтому мы также смоделировали подобную ситуацию. Это несколько усложнённая, трёхкомпонентная версия той же «шахматной доски», в которой смена показателей идёт по клеткам в следующей последовательности: 1–2–3–2–1 и так далее.

Как и ожидалось, экспериментальные вариограммы для «сглаженной шахматной доски» оказались сходными с таковыми для обычного двухкомпонентного периодического распределения (Рис. 3). Абсолютные значения дисперсии в этом случае больше (за счёт большей разницы между минимальными и максимальными значениями), размах же дисперсии значительно ниже, чем для простой «шахматной доски». Таким же образом при совпадении лага с характерным размером полигона ва-

риограмма может быть создана при помощи периодической модели. В остальных случаях единственно возможной моделью будет линейная с обратным наклоном или параллельная оси X.

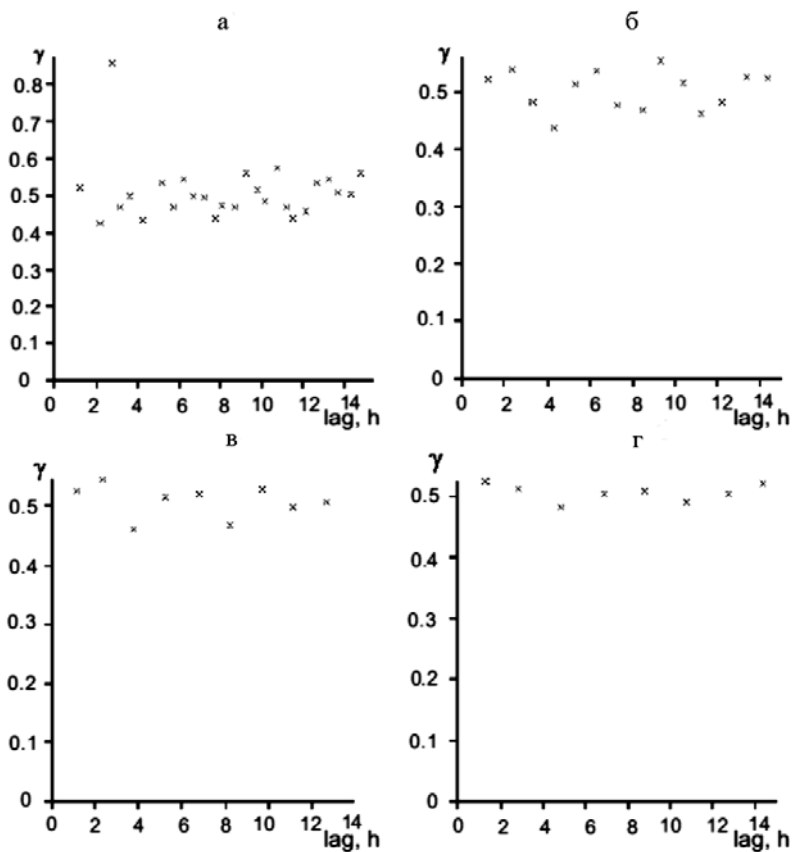


Рис. 3. Экспериментальные вариограммы модели «сглаженная шахматная доска»: а – шаг 0,5; б – шаг 1,0; в – шаг 1,5; г – шаг 2,0

## Эффект пятна

Эффект пятна, называемый также «эффектом дырки» – «hole effect» (Oliver, 1987), описывает относительно однородную поверхность, на которой выделяется некоторая область или области, существенно отличающиеся от фона. Термин «эффект дырки», помимо своей неблагозвучности, не используется нами потому, что ряд авторов под «hole effect» понимают резкое периодическое изменение свойств в пространстве (Джонгман и др., 1999). В последнем случае для описания пространственного распределения свойств может использоваться линейная или периодическая модель, в то время как при наличии пятна говорят о квазипериодичности.

Мы рассмотрели простейший случай двухкомпонентной системы на примере однородного участка  $15 \times 15$ , на котором имеется пятно размером  $9 \times 9$ , смещённое к краю участка. Фоновые значения были приняты за 1, значения в пределах пятна за 2.

Как и описывалось ранее для квазипериодических моделей, распределение точек на экспериментальной вариограмме указывает на наличие квадратичного тренда: значения дисперсии сначала возрастают с увеличением лага, а затем убывают (Рис. 4). Асимметрия связана с тем, что пятно расположено не строго в центре участка. Форма вариограммы практически не зависит от величины шага, использованного для вариографии. Вариограммы достаточно хорошо моделируются с помощью стандартных функций, таких как экспоненциальная или гауссова модель (Рис. 4г). Следует отметить, что подобная форма экспериментальной вариограммы может быть результатом и линейной смены почв, если вариограмма берётся по направлению, перпендикулярному почвенной границе.

В случае обнаружения подобного распределения оптимальным будет выявить и описать квадратичный тренд и на его основании судить о закономерностях пространственного распределения данных.

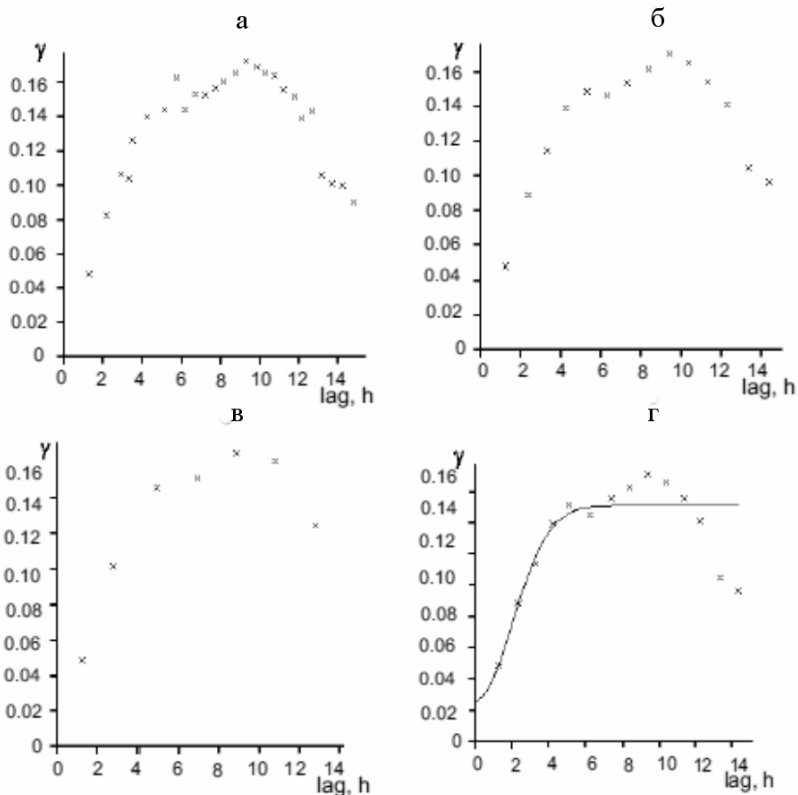


Рис. 4. Экспериментальные вариограммы распределения с эффектом пятна: а – шаг 0,5; б – шаг 1,0; в – шаг 1,5; г – шаг 2,0

### Фрактальная модель

Фрактальные модели вызывают более всего дискуссий при интерпретации структурной организации почвенных свойств. Выше обсуждались теоретические предпосылки, позволяющие интерпретировать бесконечный рост дисперсии (линейная или степенная модель) с увеличением лага как фрактальность почвенных свойств. Однако, как также отмечалось, не вполне ясно, насколько эти математические выкладки согласуются с реальностью. Для интерпретации фрактальной природы почвен-

ного покрова надо ясно понимать, какой физический смысл имеет фрактальность для почв. Собственно говоря, говоря о фрактальности почвенного покрова, обычно имеют в виду наличие в структуре почвенного покрова неких структурных элементов разной размерности, имеющих признаки самоподобия. Это может относиться как к качественным, так и к количественным почвенным характеристикам. Например, почвенный покров в ландшафтах с западинами разной размерности будет демонстрировать некоторые признаки фрактала. Значит ли это, что с увеличением лага будет возрастать и дисперсия? Это сомнительно, поскольку увеличение размерности отнюдь не всегда приводит к увеличению отличия свойств объекта от фоновых. Подобная ситуация, однако, возможна, и будет рассмотрена ниже.

Для прояснения ситуации мы попробовали смоделировать фрактальное распределение свойств в почвах. Как образец была выбрана классическая фрактальная модель – «коврик Серпиньского» (Рис. 5). Этот коврик имеет фрактальную размерность менее двух, но более единицы. Мы приняли значения в «дырках» за 2, а фона – за 1.

Очевидно, что использованная нами модель не является фракталом в строго математическом понимании: фрактал бесконечно самоподобен как с увеличением, так и с уменьшением масштаба. Однако очевидно, что данная модель имеет право на существование, поскольку её «не полная фрактальность» вполне соответствует той ситуацией, с которой мы сталкиваемся на практике. Во-первых, реальные природные объекты почти никогда не проявляют фрактальность в математическом смысле, а имеют лишь элементы фрактальной структуры: дерево не имеет корней сколь угодно высоких порядков, река не разветвляется до бесконечности и т. д. Во-вторых, при практических исследованиях природы мы вынуждены, так или иначе, ограничивать масштаб работы определёнными рамками. Поэтому подобный трёхуровневый фрактал вполне может быть использован как модель фрактального распределения почвенных свойств.



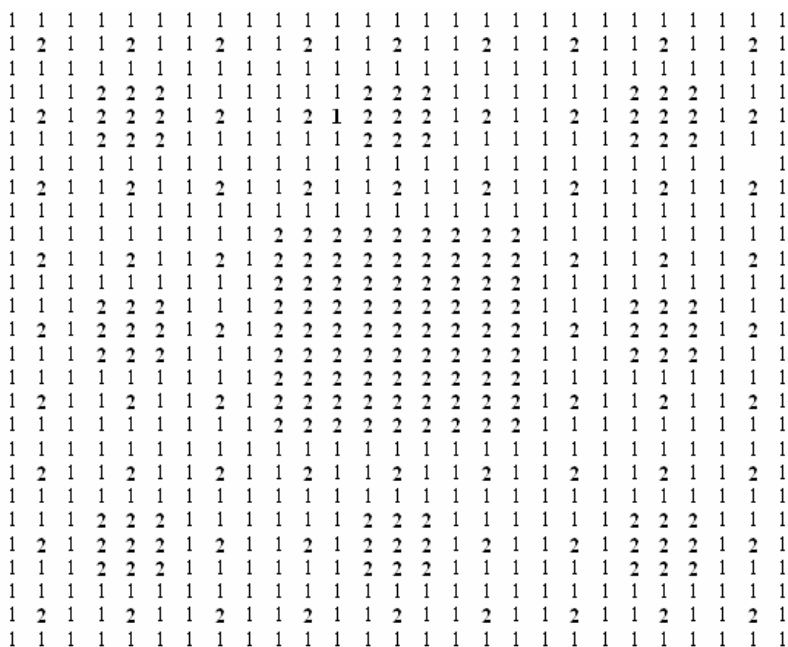
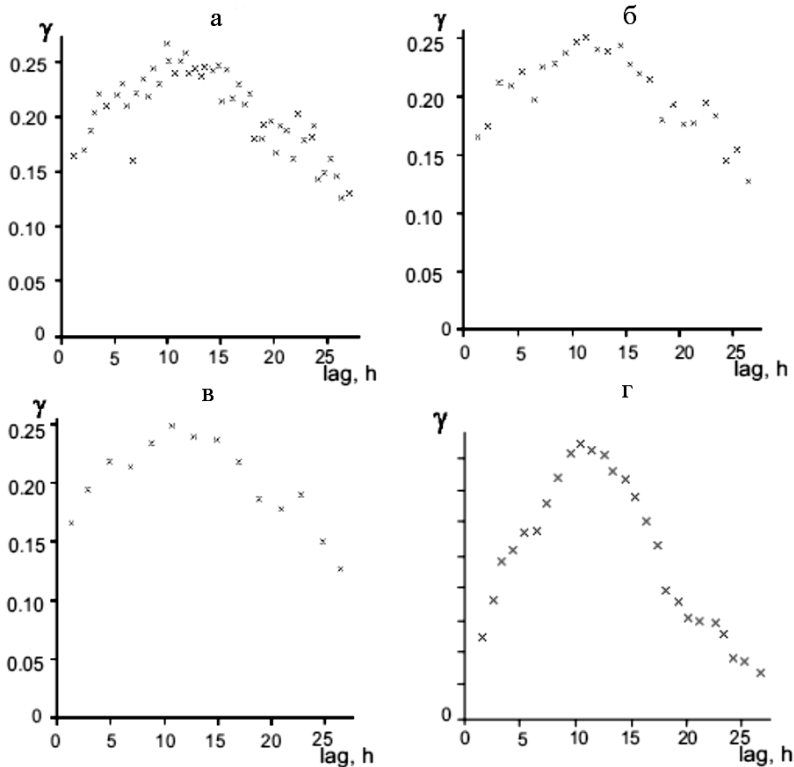


Рис. 5. Схема фрактальной модели «коврик Серпиньского»

В результате мы получили экспериментальные вариограммы для нашего неполного фрактального распределения данных. Обнаружилось, что экспериментальные вариограммы не имеют тенденции бесконечного роста по линейной или степенной функции. Напротив, дисперсия увеличивалась до определённого предела, а затем резко уменьшалась (Рис. 6). Фактически экспериментальная вариограмма повторяет квазипериодическую модель, которая отвечает распределению данных с «эффектом пятна». Что неудивительно, поскольку самый крупный элемент фрактала и представляет собой пятно значений, отличных от фоновых. По сравнению с квазипериодической моделью фрактал даёт некоторую вторичную периодичность распределения (которая, очевидно, может быть выявлена при удалении квадратичного тренда), что связано с наличием пятен второго и третьего порядка размерности.



**Рис. 7. Экспериментальные вариограммы фрактального распределения: а – шаг 0,5; б – шаг 1,0; в – шаг 2; г – «коврик Серпиньского» с фактором размерности, шаг 1**

Для проверки гипотезы о том, что фрактальность проявляется в почвенном покрове при изменении показателей с увеличением размерности, мы несколько усложнили модель. Самые крупные элементы (квадрат в центре) получили значения равные 4, квадраты второго порядка – 3, а квадраты третьего порядка – 2. Таким образом, был учтён фактор размерности: более крупные элементы участка больше отличались от фоновых значений, чем мелкие. Экспериментальная вариограмма показала ещё более явный квазипериодический характер (Рис. 6г). Это объясняется тем, что контраст-

ность самого крупного пятна, наличие которого и приводит к квазипериодичности распределения, возрастает.

Экспериментальные вариограммы как по обычному «коврику Серпиньского», так и по его аналогу с учётом фактора размерности, могут быть успешно аппроксимированы стандартными моделями, например, Гауссовой (Рис. 7). В то же время возможно и проведение «послойной» интерпретации путём поиска квадратичного тренда, его дальнейшего удаления, а затем выявления разномасштабной периодичности вариограммы. Следует отметить, что для реального почвенного покрова, скорее всего, подобные операции будут затруднительны, поскольку строго периодического фрактального распределения в природе не существует. Интерпретация же данных на основании нечёткой периодичности вполне может привести к неоправданным спекуляциям.

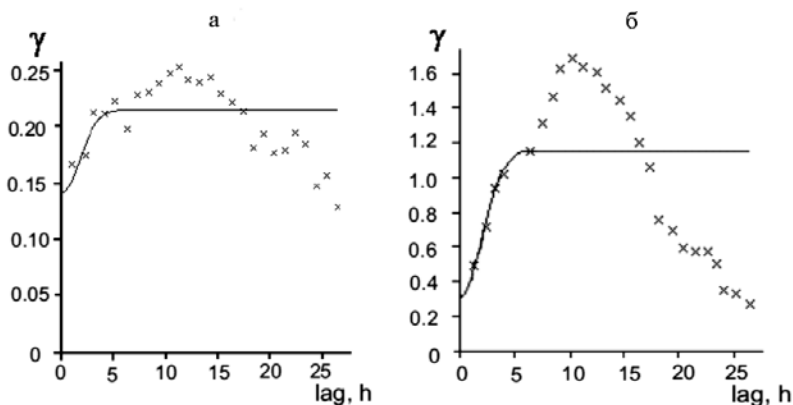


Рис. 8. Гауссовы модели вариограмм для фрактального распределения свойств (лаг равен 1): а – обычный «коврик Серпиньского»; б – «коврик Серпиньского» с фактором размерности

Подытоживая, можно сказать, что фрактальное распределение отнюдь не приводит к теоретически ожидаемому бесконечному росту дисперсии с увеличением лага. Поэтому к данным о «фрактальной размерности» почвенного покрова следует относиться с большой осторожностью.

## Выводы

1. Вариография позволяет сделать предварительные выводы о пространственной структуре отдельных почвенных свойств и предложить рабочую гипотезу для дальнейшего изучения почвенного покрова; в частности, на основе вариографии можно судить о мозаичности (периодичности) и отчасти о фрактальной структуре распределения почвенных свойств, наличии крупных массивов со свойствами, отличными от фоновых.
2. Наличие мозаичности (периодичности) почвенных свойств по типу «шахматной доски» обычно читается как «белый шум» и отсутствие пространственной корреляции данных. Однако при правильно подобранном шаге подобное распределение описывается периодической моделью. Рекомендуется при обнаружении данных, описываемых только линейными моделями, параллельными оси  $X$  или с обратным наклоном, попробовать найти лаг, соответствующий характерному размеру полигона. Косвенным свидетельством наличия мозаичной структуры служит резкое уменьшение диапазона разброса дисперсии при увеличении лага.
3. При наличии массива данных, отличающихся от фоновых («пятна»), то есть наличия квазипериодичности, экспериментальная вариограмма сначала возрастает с увеличением лага, а потом убывает. В этом случае рекомендуется подобрать квадратичный тренд, который может описать распределение данных.
4. При наличии элементов фрактальной структуры экспериментальная вариограмма имеет ту же форму, что и при квазипериодичном распределении, поскольку самый крупный компонент фрактала включается в модель как пятно. Если после удаления тренда вариограмма имеет явную периодичность, это может свидетельствовать о фрактальном характере распределения данных.

## Литература

- Вебстер Р. Почвоведение и геостатистика // Геостатистика и география почв. М.: Наука, 2007. С. 8-18.
- Гумматов Н.Г., Жиромский С.В., Мироненко Е.В., Пачепский Я.А., Щербаков Р.А. Геостатистический анализ пространственной изменчивости водоудерживающей способности серой лесной почвы // Почвоведение, 1992, № 6, с. 52-62.

- Демьянов В.В., Каневский М.Ф., Савельева Е.А., Чернов С.Ю. Вариография: исследование и моделирование пространственных корреляционных структур // Проблемы окружающей среды и природных ресурсов. Обзорная информация. Выпуск № 11. М.: ВИНТИ, 1999. С. 33-54.
- Джонгман Р.Г.Г., Тер Браак С.Дж.Ф., Ван Тонгерен О.Ф.Р. Анализ данных в экологии сообществ и ландшафтов. Пер. с англ. под ред. А. Н. Гельфана, Н. М. Новиковой, М. Б. Шадринной. М.: РАСХН, 1999. 306с.
- Дмитриев Е.А. Математическая статистика в почвоведении. М.: Изд-во МГУ, 1995. 318 с.
- Кузякова И.Ф., Романенков В.А., Кузяков Я.В. Метод геостатистики в почвенно-агрохимических исследованиях // Почвоведение, 2001. № 9. С. 1132-1139.
- Литвак Ш.И., Шевцова Л.К., Романенков В.А., Явтушенко В.Е., Варламов В.А. Агроэкологический полигон – новая форма агрохимического полевого эксперимента // Агрохимия, 1997, № 5, с. 89-95.
- Самсонова В.П., Мешалкина Ю.Л., Дмитриев Е.А. Структуры пространственной вариабельности агрохимических свойств пахотной дерново-подзолистой почвы // Почвоведение, 1999, № 11, с. 1359-1366.
- Фридланд В.М. Структуры почвенного покрова мира. М.: Мысль, 1984. 235 с.
- Харвей Д. Научное объяснение в географии. М.: Прогресс, 1974. 502 с.
- Шейн Е.В., Иванов А.Л., Бутылкина М.А., Мазиров М.А. Пространственно-временная изменчивость агрофизических свойств комплекса серых лесных почв в условиях интенсивного сельскохозяйственного использования // Почвоведение, 2001, №5, с. 578-585.
- Bruckner A., Kandeler E., Kampichler C. Plot-scale spatial patterns of soil water content, pH, substrate-induced respiration and N mineralization in a temperate coniferous forest // Geoderma, 1999, vol. 93, p. 207-223.
- Burrough P.A. Multiscale sources of spatial variation in soil. II. A non-Brownian fractal model and its application in soil survey // J. Soil Sci., 1983, v. 34, p. 599-624.
- GenStat. Sixth Edition. Version 6.2.0.235. Lawes Agricultural Trust (Rothamsted Experimental Station), 2002.
- Goovaerts P. Geostatistical tools for characterizing the spatial variability of microbiological and physico-chemical soil properties // Biol. Fertil. Soils, 1998, vol. 27, p. 315-334.
- McBratney A.B., Webster R. Spatial dependence and classification of the soil along a transect in Northeast Scotland // Geoderma, 1981, vol. 26, p. 63-82.
- McBratney A.B., Webster R. Choosing functions for semi-variograms of soil properties and fitting them to sampling estimates // J. Soil Sci., 1986, vol. 37, p. 617-639.

- Oliver M.A. Geostatistics and its application to soil science // Soil use and management, 1987, vol. 3, p. 8-20.
- Pannatier Y. VARIOWIN: Software for Spatial Data Analysis in 2D. Springer-Verlag, New York, NY, 1996.
- Phillips J.D. On the relations between complex systems and the factorial model of soil formation (with Discussion) // Geoderma, 1998, vol. 86, p. 1-42.
- Phillips J.D., Perry D.C., Garbee A.R., Carey K., Stein D, Morde M.B., Sheehy J.A. Deterministic uncertainty and complex pedogenesis in some Pleistocene dune soils // Geoderma, 1996, vol. 73, p. 147-164.
- SURFER Version 6.02 software. Copyright © 1993-1996. Golden Software, Inc.
- Wackernagel H. Multivariate Geostatistics. An Introduction with Applications. 3rd ed. Berlin-Heidelberg-New York: Springer-Verlag, 2003. 387 p.17-639.
- Webster R. Spectral analysis of gilgai soil // Australian Journal of Soil Research, 1977, vol. 15, p. 191-204.
- Webster R. Is soil variation random? // Geoderma, 2000, vol. 97, p. 149-163.

# **Изменение пространственной variability почвенных свойств в результате антропогенного воздействия**

В. А. Сидорова

*Институт биологии Карельского НЦ РАН, г. Петрозаводск*

## **Введение**

Пространственное распределение агрохимических свойств почв на угодье – это результат действия совокупности естественных процессов и практики землепользования. Существует два основных взгляда на последствия антропогенного воздействия на неоднородность почвенных свойств. Ряд авторов утверждают, что внесение удобрений, повышая средний уровень содержания питательных веществ, обычно приводит к возрастанию пространственной variability этих показателей, причем в такой степени, что варьирование, обусловленное естественными факторами, составляет лишь малую долю антропогенного. Другие же исследователи, напротив, отмечают гомогенизацию почвенных свойств при сельскохозяйственной обработке.

И. Г. Важенин с соавторами (1961) отмечают, что на сельскохозяйственных угодьях варьирование свойств больше всего выражено в дерново-подзолистых почвах, несколько меньше в серых лесных и еще меньше в черноземных. Авторы связывают это с тем, что помимо убывания естественной variability, уменьшается варьирование свойств в том же направлении, как и интенсивность применения удобрений. Высокое варьирование величин агрохимических показателей объясняется тем, что в хозяйствах в поля севооборотов включены участки с различной историей, а также тем, что часто на одном и том же поле выделяется не одна, а несколько культур, неодинаково обрабатываемых и удобряемых. Еще одна важная причина – неравномерное распределение органических и минеральных удобрений по полю: обычно больше вносится удобрений на участки поля вблизи дорог. Таким образом, решающим фактором, обусловившим неоднородность в содержании элементов питания в пахотном слое окультуренных почв, является не столько различие в типах почв, сколько характер производственной деятельности человека – господствовавшая система земледелия и система удобрения.

А. Пас-Гонсалес с соавторами (Paz-González, 2000) сравнивал различные почвенные свойства в верхних горизонтах Умбрисолей (Галиция, северо-запад Испании), находящихся под естественным растительным покровом (сосны, небольшие деревья, кустарники) и культивируемых в течение последних 100 лет. На почве в естественных условиях были отмечены высокие значения содержания органического вещества и емкости катионного обмена. Содержание азота осталось практически на том же уровне. Содержание обменного фосфора (по Ольсену) возросло в несколько раз, также возросло значение рН в водной вытяжке. Гранулометрический состав почв практически не изменился. Основными показателями, характеризующими степень однородности участков, считаются дисперсия и коэффициент вариации. На исследуемых участках значения этих параметров для химических свойств значительно изменились. Коэффициенты вариации содержания органического вещества, азота, фосфора по Ольсену, значений рН (H<sub>2</sub>O), емкости катионного обмена и каменистости, были больше для участка в естественных условиях, что авторы объяснили выравниванием свойств на культивируемом участке в результате вспашки, а также однородным растительным покровом. Коэффициент вариации и дисперсия для гранулометрического состава практически не изменился. Также на участке в естественных условиях для содержания органического вещества, азота, емкости катионного обмена значение дисперсии было больше. Однако дисперсия содержания фосфора и значений рН была больше на культивируемом участке вследствие неравномерности внесения удобрений. В целом, авторы сделали вывод о гомогенизации верхнего почвенного горизонта в процессе культивации, особенно для таких свойств, как содержание органического вещества, азота и емкости катионного обмена. Следует отметить, что гомогенизация происходила в течение длительного времени: участок находился в сельскохозяйственном использовании в течение последних 100 лет.

А. А. Стрелкова с соавторами (1982) изучали пространственное варьирование агрохимических свойств торфяных низинных почв. Опыты проводились на трех участках Корзинского научного стационара (Карелия). Участок 1 – низинная торфяная почва. Известкование и внесение минеральных удобрений не производилось по-



сле осушения. Участок 2 – низинная торфяно-перегнойная почва, участок 3 – низинная торфяно-перегнойная сильноожелезненная почва. На последних двух участках после осушения постоянно вносились минеральные удобрения и проводилось периодическое известкование. Почвенные образцы (около 200 с каждого участка площадью 0,25 га) отбирались с двух глубин пахотного горизонта: 0-10 и 10-20 см. В образцах определялись рН (KCl) (потенциометрически), гидролитическая кислотность, сумма обменных оснований (по Каппену), подвижные формы фосфора и калия (по Кирсанову), аммиачный азот. Статистический и корреляционный анализ показал, что участки достоверно различались между собой по всем показателям, кроме содержания калия (по его содержанию они были довольно близки). Изменения, произошедшие в течение 20-летнего окультуривания, заключались в следующем: снизилась кислотность почв, возросло количество обменных оснований, подвижного фосфора, снизилось содержание аммиачного азота. Первый участок резко отличался по агрохимическим свойствам от второго и третьего. Различия между вторым и третьим участками были не столь высоки. В результате длительного окультуривания не наблюдалось снижения пространственной вариабельности агрохимических показателей. На участке с сильным ожелезнением наблюдалось увеличение коэффициента вариации по показателям кислотности и количеству подвижного фосфора.

Л. И. Брехова и Д. И. Щеглов (1997) изучали степень влияния антропогенного фактора на неоднородность гумусового профиля и характер варьирования содержания органического вещества в черноземах типичных (Воронежская область). Исследования велись на целине, пашне и орошаемой пашне. Анализ варьирования содержания гумуса в профиле целинных черноземов свидетельствовал о том, что данные почвы характеризуются невысокой изменчивостью признака (коэффициент вариации около 7%). Сельскохозяйственное использование черноземов привело к нарушению сложившегося динамического равновесия между факторами среды и почвой. Было отмечено возрастание варьирования содержания гумуса в пределах пахотной толщи, резкое увеличение коэффициента варьирования на границе перехода между пахотным и подпахотным слоем. Авторы полагают, что причина данного явления – уси-

ление миграционных процессов, обуславливающих перераспределение органического вещества. Наиболее интенсивные изменения происходили при вовлечении черноземов в орошаемое земледелие. В данных условиях пространственная неоднородность содержания гумуса возрастала относительно неорошаемой почвы.

И. В. Михеева (1997) анализировала закономерности изменения пространственной вариабельности свойств каштановой почвы (Прииртышская равнина) при орошении. На неорошаемой пахотной почве было отмечено уменьшение содержания обменного натрия, а также увеличение размаха значений и дисперсии для содержания суммы растворимых солей. В целом, возросла вариабельность содержания солей по сравнению с целиной, что связано с неоднородностью перераспределения поступающих в почву атмосферных осадков. Орошение привело к значительному повышению содержания обменного Na и суммы солей в почве, привносимых с поливной водой. В орошаемых почвах дисперсия содержания обменного Na была значительно выше, чем в неорошаемых. Наибольшие изменения дисперсии содержания обменного Na пришлись на первые годы орошения.

Коэффициент вариации и дисперсию можно использовать в качестве первого приближения для разделения участков на однородные и неоднородные в отношении того или иного свойства. Однако эти показатели не позволяют определить, за счет чего возникает неоднородность. Участки с пониженными и повышенными значениями свойств могут иметь в пространстве самые разные контуры, от малоразмерной пятнистости до крупных выделов. Для построения карт почвенных свойств могут быть использованы различные способы, среди которых наиболее точные карты позволяют строить различные геостатистические методы.

В. П. Самсонова с соавторами (1999) исследовали пространственную вариабельность агрохимически важных свойств (содержание гумуса по Тюрину, рН KCl, содержание подвижных фосфора и калия) пахотной дерново-подзолистой почвы (Чашниково, Московская область). Образцы отбирались по случайно-регулярной схеме на участке размером 200x200 м с глубины 0-10 см. Вариограммы показали, что эти свойства подчиняются разным законам распределения. Для фосфора и гумуса наиболее подходящей моде-

лью для вариограмм оказалась сферическая. Ранг составил 50 м для гумуса и 60 – для подвижного фосфора. Наггет-эффект был пренебрежимо мал по сравнению с порогом. Для подвижного калия и рН значения полудисперсии возрастали по мере увеличения расстояния между точками, то есть вариограммы были неограниченными.

М. Гейпенс с соавторами (Geupens et al., 1999) исследовали пространственную вариабельность ряда свойств, характеризующих продуктивность глеевых подзолов (север Бельгии): рН (КСl), содержание органического углерода, содержание фосфора (колориметрически), калия, магния и кальция (на атомном абсорбционном спектрофотометре). Образцы отбирались с глубины 0-30 см с шагом 20 м на участках площадью 1 га (пастбище и пашня). Геоэстатистический анализ выявил различные уровни пространственной зависимости для исследуемых параметров. Пространственная зависимость была наиболее выражена для значений рН, содержания магния и кальция (отношения наггета к порогу вариограмм менее 25%), умеренная (около 40%) – для органического углерода и фосфора, и умеренная ближе к слабой (более 60%) – для калия и натрия. Значения ранга также значительно отличались для различных параметров. Наибольшее значение было отмечено для рН и органического углерода (170 и 160 м соответственно). Для содержания питательных веществ значения ранга варьировали от 30 до 110 м и эти значения убывали в ряду: Ca > Mg > P > K > Na. Вариабельность свойств была выше на участке, используемом под пастбище.

Ф. Лопес–Гранадос с соавторами (López-Granados et al., 2002) исследовали пространственную вариабельность химических свойств (рН КСl, содержание органического вещества, содержание фосфора (колориметрически), обменного калия и форм азота (NH<sub>4</sub>, NO<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>)) и гранулометрического состава на полях двух фермерских хозяйств в Андалусии (юг Испании). Почвы – Альфисоли и Вертикальные Ксерохрепты (Лювисоли и Вертикальные Камбисоли). Образцы отбирались с двух глубин (0-10 и 25-35 см) по регулярной сетке с шагом 35 м. Исследования показали, что пространственное распределение и зависимость почвенных свойств значительно отличаются друг от друга для различных свойств и глубин.

Также, несмотря на схожую практику землепользования в двух хозяйствах, различалось и пространственное распределение свойств на полях. Таким образом, на распределение свойств оказала влияние и вся история сельскохозяйственного использования земель. Пространственная зависимость (отношения наггета к порогу вариограммы) на обоих участках и глубинах была наиболее выражена для обменного калия и фосфора. Значения ранга варьировали от 21 м (рН) до 74,5 м (содержание ила) на одном участке и от 13,9 м (NO<sub>2</sub>) до 104 м (фосфор) на другом.

А. Пас-Гонсалес с соавторами (Paz-González et al., 2000) сравнивали вариограммы для различных свойств умбрикового (гумусового) горизонта на участке под естественной растительностью и культивируемом участке. Вариограммы для содержания органического вещества и емкости катионного обмена на культивируемом участке показали меньшее значение наггета, чем под естественной растительностью. Таким образом, при сельскохозяйственном использовании сглаживалась неоднородность свойств на небольших расстояниях.

П. Гуварте (Goovaerts, 1998) сравнивал вариограммы, построенные для значений рН в верхнем слое почв под лесом и под пастбищем (Бельгия). Образцы отбирались вдоль трансекты длиной 100 м с шагом 1 м и на квадратном участке площадью 100х100 м с шагом 10 м. Пороговые значения вариограмм для обеих трансект практически совпадали, то есть в целом, варьирование значений рН вдоль трансекты под лесом и пастбищем было сходно. Однако для вариограммы кислотности в лесу было отмечено большее значение наггета и меньшее – ранга. Таким образом, под лесом преобладало варьирование на коротких расстояниях (несколько метров). Автор связывает это с локальным разнообразием растительности в лесу по сравнению с однообразным травяным покровом на пастбище. Такие же закономерности сохранились и при двумерном исследовании (на квадратном участке).

Таким образом, изменение варьирования различных показателей при окультуривании земель происходит сложным образом. Некоторые параметры уменьшают варьирование за счёт гомогенизации участка, например, ёмкость катионного обмена, реже кислотность, содержание органического углерода. Другие параметры, на-

пример, содержание азота, фосфора и калия, в основном зависят от внесения удобрений, и их варьирование увеличивается при окультуривании земель. В ряде случаев кислотность и содержание органического углерода также могут увеличивать варьирование при окультуривании, если вносились органические или известковые удобрения, либо резко дифференцировались условия минерализации органического вещества. В ряде случаев общая вариация признаков, например, значений рН, не изменяется при освоении, однако характерные расстояния меняются: под лесом кислотность определяется мозаичной структурой лесных сообществ на коротких расстояниях, а на освоенных участках – преимущественно известкованием. Следует подчеркнуть, что закономерности изменений variability различных свойств почв при окультуривании имеют региональный характер, и потому их следует выявлять для каждого природного региона отдельно.

Цель данной работы – сравнить пространственное варьирование почвенных свойств в естественных условиях (лес) и в условиях сельскохозяйственного использования в подзоне средней тайги Восточной Фенноскандии.

### **Объекты и методы**

Исследования проводились в Южной Карелии, которая относится в геологическом и ландшафтном плане к Восточной Фенноскандии. Вся территория характеризуется близким залеганием докембрийских магматических и метаморфических пород, перекрытых четвертичным чехлом осадочных пород ледникового и водноледникового происхождения. Рельеф в основном слабоволнистый, преобладают ледниковые формы рельефа: сельги, друмлины, камы, озы и зандры. Климат Южной Карелии прохладный и влажный: годовое количество осадков около 650 мм, средняя температура июля около 16°C, средняя температура января около -11°C. Преобладающие естественные ландшафты – еловые, смешанные елово-берёзовые и сосновые леса средней тайги. В настоящее время естественные экосистемы в значительной степени нарушены и замещены вторичными мелколиственными лесами.

Исследования на антропогенно нарушенном участке проводились на бывшем картофельном поле на территории стационара Ин-

ститута биологии КарНЦ РАН в пос. Гомсельга (Кондопожский район, респ. Карелия). Размеры участка – 85х50 м<sup>2</sup>. Почва – агро-подзол иллювиально-железистый песчаный на озерно-ледниковых песках.

В качестве контрольного (естественного) участка использовался участок под лесом в районе пос. Каскеснаволок. Тип прибрежного лесного насаждения представлен большей частью березняком разнотравным *Betuletum mixto-herbosum* с небольшой долей осины. Почва – подзол глееватый песчаный на озерно-ледниковых песках.

Образцы отбирались с глубины 0-10 см непосредственно с поверхности (участок на поле) или под горизонтом опада (участок под лесом) по регулярной схеме с предпочтительным расположением точек с шагом 5 м. Было взято 150 образцов с участка под полем и 100 — с участка под лесом. Разделение выборки по типам горизонтов (A, Ah, H) не производилось. В почвенных образцах определялись значения рН<sub>KCl</sub> и содержание органического углерода (по Тюрину). Для всех данных были рассчитаны основные статистические характеристики и проведен регрессионный анализ (Дмитриев, 1995).

Для определения пространственной вариабельности почвенных свойств использовался метод вариографии, то есть построение экспериментального графика зависимости полудисперсии свойств от расстояния между точками опробования и подбор моделей, описывающих пространственную структуру исследуемых свойств (Демьянов и др., 1999; Джонгман и др., 1999; Кузякова и др., 2001; Burgess, Webster, 1980). Полудисперсия характеризует степень различия данных в зависимости от расстояний между ними. Полудисперсия рассчитывалась по формуле:

$$\gamma(h) = 1/(2 N(h)) \sum [z(x_i) - z(x_i + h)]^2 \quad [1]$$

где  $\gamma(h)$  — экспериментальное значение полудисперсии,  $z(x_i)$  и  $z(x_i + h)$  — результаты измерений в точках  $x_i$  и  $x_i + h$ , а  $N(h)$  — количество пар точек, удаленных друг от друга на расстояние  $h$ .

На основании полученных данных строились вариограммы – графики зависимости полудисперсии  $\gamma(h)$  от величины смещения  $h$ . Вариограмма характеризует зависимость среднего квадрата разности значений изучаемого показателя от расстояния между точками опробования, в которых эти значения измерены, то есть рас-

крывает определенную пространственную структуру распределения признака в пространственных координатах.

Основные параметры моделей вариограмм — наггет, порог и ранг. Наггет — это значение полудисперсии при шаге равном 0. Порог — постоянное значение, к которому стремится полудисперсия с возрастанием шага. Ранг — расстояние, на котором значения переменной становятся независимыми от дистанции.

Для определения различных классов пространственной зависимости переменных используется отношение наггета к порогу. Если это отношение  $\leq 25\%$ , переменная считается сильно пространственно зависимой, если отношение между 25 и 75% — пространственная зависимость рассматривается как средняя, и если  $>75\%$  — слабая пространственная зависимость.

Расчет экспериментальных вариограмм является первым шагом анализа пространственного варьирования переменных. На следующем этапе проводят подгон параметров теоретических кривых под экспериментальную вариограмму. Несколько функций (сферическая, экспоненциальная, Гауссова, линейная) использовались для подбора модели вариограммы по полученным значениям полудисперсии. Для подгона параметров использовался метод максимального правдоподобия (McBratney, Webster, 1986)

Для определения, является ли функция вариограммы зависимой от расположения точек опробования или нет, рассчитывались изотропные (по всем направлениям) вариограммы и анизотропные (по заданному направлению) вариограммы.

Для построения карт почвенных свойств могут быть использованы различные способы. Одним из таких является кригинг, основанный на теории регионализированных переменных. Принцип кригинга состоит в определении весов значений переменной в окрестных точках для оценки значения переменной в искомой точке или области. При этом вес каждой точки определяется по вариограмме (Матерон, 1968; Burgess, Webster, 1980).

Для расчета и построения вариограмм использовался пакет программ Variowin (Pennatier, 1996), а для построения карт пространственного распределения по предсказанным значениям — SURFER Version 6.02 software (Copyright © 1993-1996, Golden Software, Inc.).

## Результаты

Данные статистической обработки полученных результатов приведены в Табл. 1. Разброс данных достаточно велик, причем как внутри одного участка, так и между участками (Табл. 1, Рис. 1). Сравнительный анализ двух выборок (Благовещенский и др., 1987) позволил выявить достоверные отличия содержания органического углерода и кислотности в почве двух участков. Так, рН в солевой вытяжке в почве на поле было в среднем достоверно ( $P_{0,95}$ ) на 1,5 выше, чем в лесу, среднее содержание органического углерода достоверно ниже на 1 % ( $P_{0,95}$ ). Изменение дисперсии не значимо. Изменение коэффициента вариации связано главным образом с изменением среднего значения (Рис. 1, Табл. 1). Для значений рН отмечен низкий коэффициент вариации, таким образом, неоднородность участков по этому свойству не очень высока. На основании результатов сравнения медианы и среднего значения, а также коэффициента асимметрии и эксцесса, можно сделать вывод, что распределение свойств на обоих участках нормальное или близкое к нормальному.

Таблица 1. Статистические характеристики свойств поверхностных (0–10 см) горизонтов почв

Параметры	рН КСl		С, %	
	лес	поле	лес	поле
размах значений	1,66	1,53	5,88	5,61
минимум	3,64	5,25	1,20	0,06
нижний квартиль	4,38	5,95	2,82	1,90
медиана	4,64	6,16	3,51	2,85
верхний квартиль	4,82	6,33	6,41	3,44
максимум	5,30	6,78	7,08	5,67
среднее значение	4,60	6,12	3,61	2,65
дисперсия	0,10	0,09	1,20	1,55
стандартное отклонение	0,32	0,30	1,10	1,25
коэффициент вариации	7,01	4,91	30,35	47,02
эксцесс	0,11	-0,17	0,23	-0,40
асимметрия	-0,38	-0,39	0,39	-0,29

Для рН<sub>КСl</sub> и органического углерода на обоих участках вариограммы достаточно хорошо описывались сферической моделью вида (McBratney, Webster, 1986):



$$\gamma(h) = C_0 + C \left( \frac{3h}{2a} - \frac{1}{2} \left( \frac{h}{a} \right)^3 \right), 0 < h \leq a \quad [2]$$

$$= C_0 + C, a < h$$

Параметры моделей вариограмм представлены в Табл. 2.

Таблица 2. Дисперсия и параметры моделей вариограмм

Свойства	участок	дисперсия	модель	нагетт, $C_0$	порог, равный $(C_0+C)$	ранг (а), м	остаточная дисперсия $C_0/(C_0+C)$ , %
рН (KCl)	лес	0,10	сферическая	0,058	0,096	16,38	60,42
	поле	0,09	сферическая	0,041	0,095	30	43,16
С	лес	1,20	сферическая	0,60	1,24	12,48	48,39
	поле	1,55	сферическая	1,23	1,54	10,46	79,87

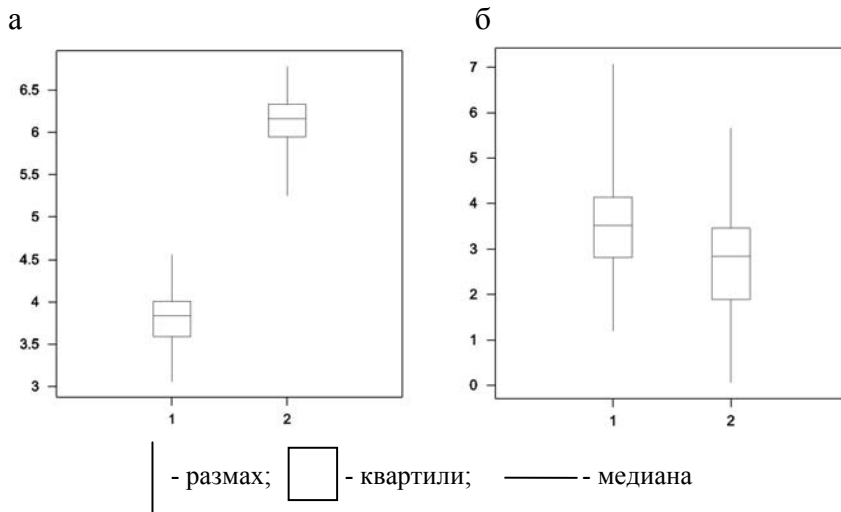


Рис. 1. Статистические параметры распределения значений рН (KCl) (а) и содержания углерода (б) для почв участков под лесом (1) и под пашней (2)

По отношению наггета к пороговому значению, рН (KCl) на обоих участках и содержание органического углерода на участке под лесом – умеренно пространственно зависимы, содержание органического углерода на поле – слабо пространственно зависимо.

Для рН (КС), вариограммы для обоих участков имеют одинаковое значение порога, однако значение наггета меньше на участке под полем (Табл. 2, Рис. 2а). Соответственно меньше и значение остаточной дисперсии. Это означает, что на участке под лесом, хотя ранг и больше 15 м, основное варьирование кислотности происходит на расстояниях до 5 м. Таким образом, на участке под лесом преобладает варьирование на коротких расстояниях. Для участка под полем, вариограмма для рН носит скорее гнездовой характер: на расстоянии больше 60 м значения полудисперсии начинают расти. Таким образом, можно выделить три уровня пространственной неоднородности на исследуемом участке. Первый – это варьирование на расстояниях до 5 м. Эта составляющая отражает существование «выбросов» значений в отдельных точках, то есть локальные максимумы или минимумы свойств. Второй уровень – это варьирование на расстояниях до 30 м и третий – варьирование на расстояниях свыше 60 м.

У вариограмм для содержания органического углерода практически совпадают значения ранга (10,5 и 12,5 м), но значения наггета и остаточной дисперсии больше для участка под пашней (Табл. 2, Рис. 2б). Таким образом, у органического углерода на поле преобладает варьирование на коротких расстояниях. Это значит, что уровень неоднородности имеет размеры, равные или меньшие, чем 5 м (шаг опробования).

Анизотропные вариограммы не выявили разницы в пространственном распределении по направлениям для рН (на обоих участках) и содержания органического углерода на участке под лесом.

Анализ по направлениям для содержания органического углерода на поле показал, что вариограммы по направлениям вдоль и поперек рядов значительно отличаются друг от друга. Вдоль рядов сохраняется практически 100% наггет-эффект. В перпендикулярном направлении выявлена периодическая составляющая с периодом 30 м (Рис. 3).

Эти результаты подтверждаются картограммой, построенной с помощью кригинга, для содержания органического углерода (Рис. 4). Здесь прослеживается чередование полос с высоким (более 3 %) и низким (менее 2 %) содержанием органического углерода. Очевидно, что такое распределение имеет антропогенное происхождение и связано с неравномерностью внесения органических удобрений.

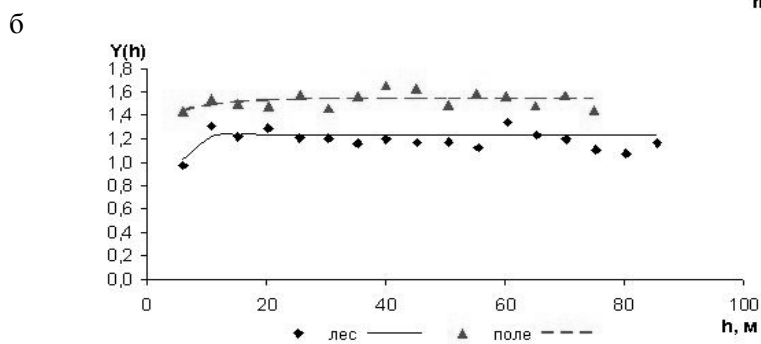
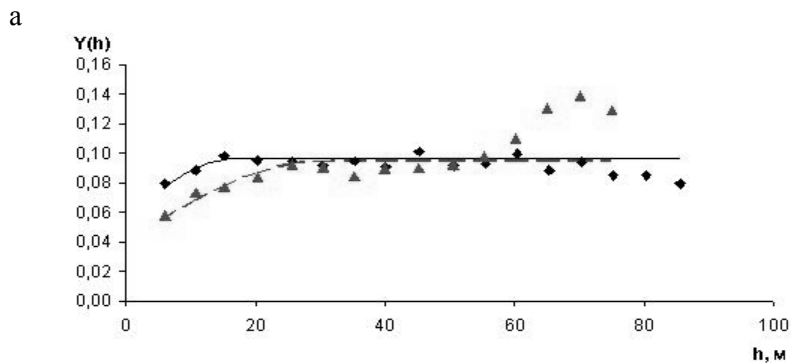


Рис. 2. Вариограммы для почвенных свойств (точки – экспериментальные данные, линии – модель): а – pH, б – содержание органического углерода

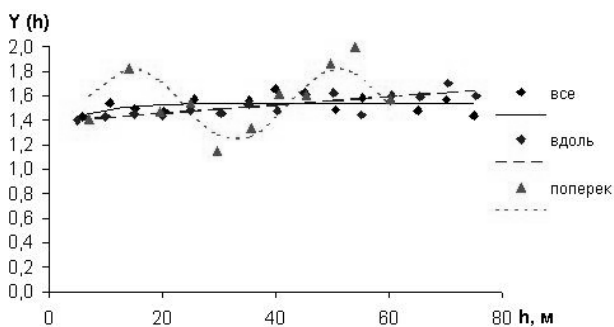
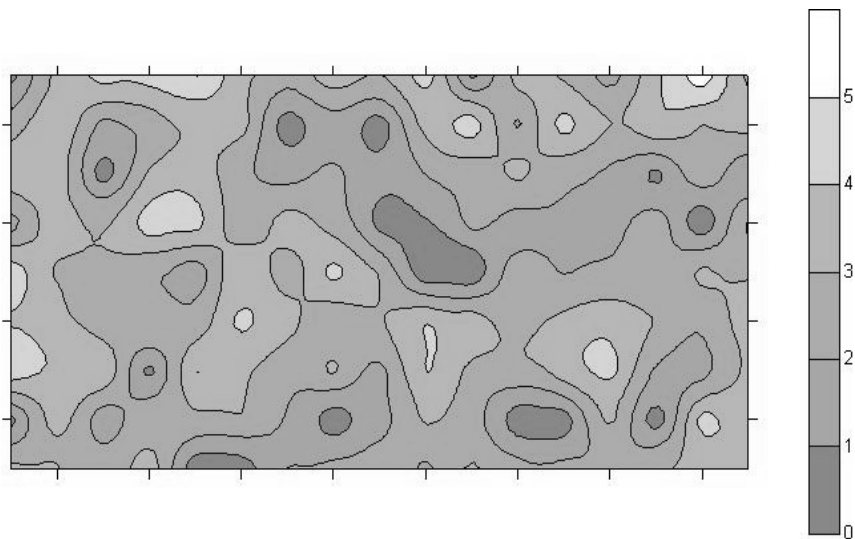


Рис. 3. Анизотропные вариограммы содержания органического углерода в пахотном слое (точки – экспериментальные данные, линии – модель)



**Рис. 4. Картограмма содержания органического углерода в пахотном горизонте**

### **Обсуждение**

Нами была исследована пространственная вариабельность участков, расположенных в естественных условиях (лес) и подвергшихся антропогенному воздействию (поле). Результаты анализов были обработаны с помощью классических статистических, а также геостатистических методов.

Почвы участка под лесом характеризуются средним уровнем вариабельности кислотности и содержания органического углерода. На исследованном участке значения  $pH_{KCl}$  варьировали от 3,64 до 5,30, среднее значение – 4,60. Содержание углерода варьирует от 1,20 до 7,08 % (среднее – 3,61%). Коэффициент вариации для свойств составляет от 7 до 30%. Таким образом, в первом приближении исследованный участок можно принять выровненным по значениям  $pH_{KCl}$ , органического углерода. Расстояния, на котором образцы оставались пространственно скоррелированы (ранг), находились в пределах 12-17 м. Пространственная корреляция оценивается как средняя.

Полученные результаты соответствуют данным других исследователей в ненарушенных лесах (Bruckner et al., 1999; Goovaerts, 1998; Liski, 1995; Qian, Klinka, 1995). Основные свойства лесных почв обычно показывают пространственную корреляцию на расстояниях в несколько метров (от 5 до 20 м). Уровень корреляции средний (30-70%). По мнению авторов, такой ранг пространственной зависимости отражает влияние деревьев (расположение, расстояние между деревьями, диаметр кроны) на почвенные свойства.

В результате сельскохозяйственного использования территории меняются почвенные свойства, а также их пространственное распределение. Значение pH в солевой вытяжке в почве на поле возрастает на 1,5, содержание органического углерода в среднем уменьшается на 1%. Похожие закономерности (снижение содержания органического углерода и уровня кислотности при антропогенном воздействии) отмечают многие исследователи (Самсонова и др., 1999; Paz-González et al., 2000). Они связывают подобные изменения с тем, что на культивируемых почвах происходит перемешивание с нижележащими слоями при обработке почв, а также с активным использованием удобрений, содержащих известь.

Геостатистический анализ показал умеренную или умеренную ближе к слабой пространственную зависимость свойств на обоих участках.

Для pH (KCl), вариограммы для обоих участков имеют одинаковое значение порога, однако значение наггета меньше на участке под полем. Соответственно меньше и значение остаточной дисперсии. Значение ранга, напротив, больше практически в два раза на участке под полем. То есть на участке под лесом преобладает варьирование на более коротких расстояниях, причем основная часть этого варьирования приходится на расстояния меньше, чем шаг опробования (в данном случае 5 м). Можно предположить, что такое распределение отражает локальную неоднородность растительного покрова в лесу по сравнению с относительной однородностью растительности на сельскохозяйственных полях.

Распределение органического углерода в пахотном слое отличается анизотропией (зависимостью от направления): равномерное вдоль рядов и периодическое – поперек. Такое распределение име-

ет антропогенное происхождение и связано с неравномерностью внесения органических удобрений.

### **Выводы**

В результате сельскохозяйственного использования меняются почвенные свойства, а также их пространственное распределение. Значение рН в солевой вытяжке в почве на поле возрастает на 1,5, содержание органического углерода в среднем уменьшается на 1%. Изменение дисперсии не значимо. В целом, оба участка однородны по кислотности и неоднородны по содержанию органического углерода.

При сельскохозяйственном использовании изменяется и распределение значений рН и содержания углерода в почве. Варьирование свойств на участке под лесом происходит главным образом на коротких расстояниях. В результате обработки происходит сглаживание этого варьирования для значений рН: возрастает значение ранга и уменьшается значение наггета.

Распределение органического углерода в пахотном слое отличается анизотропией (зависимостью от направления): равномерное вдоль рядов и периодическое – поперек. Такое распределение имеет антропогенное происхождение и связано с неравномерностью внесения органических удобрений.

### **Литература**

- Благовещенский Ю.Н., Самсонова В.П., Дмитриев Е.А. Непараметрические методы в почвенных исследованиях. М.: Наука, 1987. 96 с.
- Брехова Л.И., Щеглов Д.И. Воздействие антропогенного фактора на пространственную изменчивость содержания гумуса в профиле черноземов центральной России // Тез. докл. междунар. конф. "Проблемы антропогенного почвообразования". М., 1997. С. 67-70.
- Важенин И.Г., Музычкин Е.Т., Прохорова З.А., Алешина Т.Н. О методике составления крупномасштабных почвенно-агрохимических картограмм в целях применения удобрений // Почвоведение. 1961, № 4. С. 1-13.
- Демьянов В.В., Каневский М.Ф., Савельева Е.А., Чернов С.Ю. Вариография: исследование и моделирование пространственных корреляционных структур // Проблемы окружающей среды и природных ресурсов. Обзорная информация. Выпуск № 11. М.: ВИНТИ, 1999. С. 33-54.

- Джонгман Р.Г.Г., Тер Браак С.Дж.Ф., Ван Тонгерен О.Ф.Р. Анализ данных в экологии сообществ и ландшафтов. Пер. с англ. под ред. А.Н. Гельфана, Н.М. Новиковой, М.Б. Шадринной. М.: РАСХН, 1999. 306с.
- Дмитриев Е.А. Математическая статистика в почвоведении. М.: Изд-во МГУ, 1995. 318 с.
- Кузякова И.Ф., Романенков В.А., Кузяков Я.В. Метод геостатистики в почвенно-агрохимических исследованиях // Почвоведение. 2001, № 9. С. 1132-1139.
- Матерон Ж. Основы прикладной геостатистики. М.: Мир, 1968. 408 с.
- Михеева И.В. Изменение пространственной вариабельности свойств почвы при антропогенном воздействии // Почвоведение. 1997, № 1. С. 102-104.
- Самсонова В.П., Мешалкина Ю.Л., Дмитриев Е.А. Структуры пространственной вариабельности агрохимических свойств пахотной дерново-подзолистой почвы // Почвоведение. 1999, № 11. С. 1359-1366.
- Стрелкова А.А., Марченкова Н.Е., Перевозчикова Е.М., Кябелева Г.К., Амозова М.П., Павлова Н.Н. Пространственное варьирование агрохимических свойств пахотных торфяных низинных почв // Почвы Карелии и вопросы их мелиорации. Петрозаводск, Карельский филиал АН СССР, 1982. С. 49-62.
- Bruckner A., Kandeler E., Kampichler C. Plot-scale spatial patterns of soil water content, pH, substrate-induced respiration and N mineralisation in a temperate coniferous forest // Geoderma, 1999, vol. 93, p. 207-223.
- Burgess T.M., Webster R. Optimal interpolation and isarithmic mapping of soils properties: I. The semivariogram and punctual kriging // J. Soil Sci., 1980, vol. 31, p. 315-331.
- Geypens M., Vanongeval L., Vogels N., Meykens J. Spatial variability of agricultural soil fertility parameters in a gleyic podzol of Belgium // Precision Agriculture, 1999, vol. 1, p. 319-326.
- Goovaerts P. Geostatistical tools for characterizing the spatial variability of microbiological and physico-chemical soil properties // Biol. Fertil. Soil, 1998, vol. 27, p. 315-334.
- Liski J. Variation in soil organic carbon and thickness of soil horizons within a boreal forest stand – effect of trees and implications for sampling // Silva Fennica, 1995, vol. 29, p. 255-266.
- López-Granados F., Jurado-Expósito M., Atenciano S., García-Ferrer A., Sánchez de la Orden M., García-Torres L. Spatial variability of agricultural soil parameters in southern Spain // Plant Soil, 2002, vol. 246, p. 97-105.
- McBratney A., Webster R. Choosing functions for semi-variograms of soil properties and fitting them to sampling estimates // J. Soil Sci., 1986, vol. 37, p. 617-639.

- Pannatier Y. VARIOWIN: Software for Spatial Data Analysis in 2D. Springer-Verlag, New York, NY. 1996.
- Paz-González A., Vieira S. R., Taboada Castro M. T. The effect of cultivation on the spatial variability of selected properties of an umbric horizon // *Geoderma*, 2000, vol. 97, p. 273-292.
- Qian H., Klinka K. Spatial variability of humus forms in some coastal forest ecosystems of British Columbia // *Annales des Sciences Forestieres*, 1995, vol. 52, p. 653-666.
- SURFER Version 6.02 software. Copyright © 1993-1996. Golden Software, Inc.



## **Пространственное распределение почвенных свойств, контролирующих устойчивость почвы к эрозии, на кофейных плантациях Сьерра Сюр де Оахака**

Гарсиа Кальдерон Н. Е.<sup>1</sup>, Уриостеги Дельгадо Я.<sup>1</sup>,  
Альварес Ортеага Г.<sup>1</sup>, Ибаньес Уэрта А.<sup>1</sup>, Красильников П. В.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>*Факультет естественных наук, УНАМ, Мехико, Мексика*

<sup>2</sup>*Институт биологии КарНЦ РАН*

### **Введение**

Для горных территорий характерно широкое развитие склоновых процессов. Особенно большое влияние на почвенный покров оказывают последние во влажных горных тропиках и субтропиках, где осадки часто носят ливневый характер (Drees et al., 1987). Кроме того, глинистые почвы с высоким содержанием каолинита, которые обычны для тропических и субтропических природных зон, подвержены, с одной стороны, оползневым явлениям (Dykes, 2002), с другой же стороны – интенсивной поверхностной водной эрозии (Veihe, 2002). Развитие склоновых процессов приводит к формированию крайне неоднородной, мозаичной структуры почвенного покрова, где глубоководветрелые глинистые почвы соседствуют со сравнительно молодыми профилями на поверхностях, экспонированных эрозией и оползнями (Krasilnikov et al., 2005).

В результате пространственная организация почвенного покрова в горных тропиках и субтропиках во многом зависит от склоновых процессов. В то же время, очевидно, что склоновые процессы регулируются в большой степени внутренними свойствами почв, связанными с устойчивостью последних. Одним из важных показателей, характеризующих устойчивость почв к эрозионным процессам, является стабильность почвенных агрегатов (Gavande, 1992; Martí et al., 2001). Пространственные закономерности распределения стабильности агрегатов довольно трудно предсказать, поскольку, в свою очередь, стабильность агрегатов зависит от целого ряда почвенных параметров, и эта зависимость носит сложный характер. Большинство исследователей указывают на тесную зависимость стабильности агрегатов от гранулометрического состава почв. Обычно считается, что возрастанию содержания илистой фракции

сопутствует увеличению стабильности почвенных агрегатов (Gavande, 1992); при этом в глинистых почвах уже основную регуляторную функцию выполняют характеристики глинистого вещества, такие как минералогический состав и состав поглощающего комплекса (Akaigbo et al., 1999; Warrick, 2002). В последних работах (например, Veihe, 2002) отмечается, что в практических целях удобнее оценивать корреляцию содержания песчаной фракции (противоположной содержанию ила, но более простой и точной в определении) со стабильностью агрегатов; при этом наблюдалась негативная зависимость стабильности агрегатов и содержания песка. Эффект совместного действия содержания илистой фракции и органического вещества на стабильность агрегатов отмечался для тропических почв Бразилии и Венесуэлы (Roth, 1992). На позитивное влияние присутствия органического вещества почвы на стабильность агрегатов указывали многие исследователи (van der Watt and Valentin, 1992; Gavande, 1992; Warrick, 2002). В то же время отмечалось, что агрегирующее действие органического вещества выражено более ярко в почвах лёгкого гранулометрического состава (van der Watt and Valentin, 1992). Ряд авторов (van der Watt and Valentin, 1992) подчёркивает существенный вклад минералогического состава илистой фракции в формирование стабильных агрегатов почвы: согласно этим авторам, наиболее стабильные агрегаты формируются в почвах с преобладанием каолинита, в то время как почвы, содержащие преимущественно смектиты и иллиты, оказываются менее стабильными. Аналогичные результаты приводит А. У. Уоррик (Warrick, 2002), который обнаружил, что почвы с высоким содержанием каолинита и оксидов железа менее компактны (то есть более оструктурены), чем почвы, в которых преобладают минералы структуры 2:1. В то же время последние данные показывают (Denef et al., 2002), что степень устойчивости агрегатов зависит не столько от минерального состава почв или содержания органического вещества по отдельности, сколько от их совместного присутствия. В указанной работе сообщается о том, что максимальная стабильность почвенных агрегатов была обнаружена в почвах, содержащих преимущественно минералы структуры 2:1 в илистой фракции и с высоким содержанием органического вещества. Результаты были интерпретированы как подтверждение существенной роли органо-минераль-

ных соединений в формировании почвенной структуры. Минералы 1:1 и (гидр)оксиды железа и алюминия довольно слабо взаимодействуют – в силу отсутствия постоянного заряда – с органическими веществами почвы, в то время как большинство минералов структуры 2:1 в почве имеет отрицательный заряд (иллиты, вермикулиты, смектиты и смешанослойные образования); поэтому эти минералы формируют комплексы с отрицательно же заряженными гумусовыми соединениями через «мостики» двухвалентных обменных оснований (Nayan et al., 2002). Таким образом, стабильность агрегатов в некоторой степени может быть представлена как сложная функция гранулометрического состава, минералогического состава илистых фракций, содержания и состава органического вещества почв. Очевидно, что каждый из указанных параметров имеет собственные закономерности распределения; в то же время нельзя и отрицать их некоторой взаимной зависимости. Поэтому следует ожидать довольно сложного пространственного распределения устойчивости агрегатов почвы в пространстве. Также очевидно, что в большой степени данное распределение будет иметь локальный характер, зависящий от местных ландшафтных условий.

Задачами данного исследования было: (1) оценить стабильность агрегатов на территории кофейной фермы Эль Синаи, расположенной в субтропическом высотном поясе Сьерра Мадре де Оахака, (2) выявить факторы, определяющие стабильность агрегатов в районе исследований, (3) установить закономерности пространственного варьирования стабильности агрегатов и контролирующих её свойств методом вариографии и интерпретировать полученные результаты.

### **Объекты и методы**

Работы проводились на южном (тихоокеанском) макросклоне горной системы Сьерра Мадре дель Сюр; исследованная часть относится к горной цепи Сьерра Мадре де Оахака.

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 (Hernández et al., 1996). Орография региона связана с мощными тектоническими поднятиями в Плиоцене; ряд данных подтверждает, что менее интенсивное

поднятие происходило и в более позднее время, в том числе и в четвертичное (Morán et al., 1996). В историческое время была зафиксирована повышенная тектоническая активность в регионе: последнее из сильных землетрясений было зафиксировано в 1999 году (Rojas et al., 1987). Тектоническое поднятие привело к сильной расчленённости рельефа. Горные территории характеризуются крутыми склонами, иссечёнными множественными оврагами и ущельями. Вертикальная поясность природных зон в горной системе выражена достаточно чётко. Высоты более 1500 метров заняты сосновыми ксерофитными лесами с единичными фрагментами горных туманных лесов. Ниже 500 метров располагаются тропические ксерофитные леса. Между этими двумя поясами располагаются влажные субтропические леса, которые в Мексике классифицируются как *Bosque tropical subcaducifolio*, Тропические полулистопадные леса (Rzedowsky, 1978). Наиболее распространённые виды древесной растительности в поясе: *Brosimum alicastrum*, *Enterolobium cyclocarpus*, *Pterocarpus acapulcensis*, *Bursera simaruba*, *Caesalpinia coriacea*, *Ceiba pentandra*, *Cordia alliodora*, и *Ficus* spp. (Lorence and García, 1989; Flores and Manzanero, 1999). В настоящее время естественная растительность в некоторой степени изменена, однако, не коренным образом. Основной сельскохозяйственной культурой для региона является кофе, который выращивается под сенью естественной древесной растительности; только кустарниковый ярус вырубается, и практически не используется никакая обработка почвы, кроме копки лунок под кофейные деревья и локального внесения отжимок кофейных ягод. Считается, что качество кофе, выращенного в тени деревьев, выше, чем у кофе, выращенного под открытым солнцем (хотя урожайность существенно ниже) (Moguel and Toledo, 1996); также сохранение естественной растительности предохраняет почву на крутых склонах от эрозии (Staver, 1998).

В поясе субтропических лесов 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. В регионе выделяется два сезона: сухой с декабря по май и влажный с июня по ноябрь. Следует отметить, что климатические данные недостаточно точны в связи с малым количеством метеорологических станций в регионе.

Предварительные исследования выявили, что на данной территории преобладающими почвенными разностями являются Акрисоли, Алисоли, Лювисоли, Умбрисоли, Файозёмы и Камбисоли (García Calderón et al., 2000; Krasilnikov et al., 2005); почвы классифицировались в соответствии с Мировой Реферативной базой Почвенных ресурсов (WRB), официально используемой для почвенной съёмки в Мексике (FAO-ISRIC-ISSS, 1998).

Исследования проводились на участке «Эль Синаи», расположенном на 16°07'41.5" СШ и 97°06'12.9" ЗД на абсолютных высотах от 700 до 1300 м. Для исследования пространственного распределения факторов, контролирующих эрозионную устойчивость почв, были заложены два квадрата 100x100 м с шагом 1 м. С каждого из квадратов было отобрано по 100 образцов с поверхности (0-20 см) по регулярной сетке. Также для оценки репрезентативности квадратов была составлена картограмма распределения содержания органического углерода в почвах всей территории кофейной плантации на общей площади 156 га на основании 152 пробных точек (образцы также отбирались с поверхности (0.20 см) по регулярной сетке, шаг 100 м).

Содержание органического углерода определялось методом мокрого озоления (van Reeuwijk, 2002), аналогичном определению углерода по Тюрину. Содержание песчаной фракции (частиц размером 0,02–2 мм) определялось просеиванием на ситах после растирания почвы. Степень агрегированности почвы определялась путём подсчёта водостойких агрегатов после погружения 10 агрегатов в воду (метод, аналогичный методу Саввинова), при этом степень агрегированности подразделялась на 4 класса по увеличению числа водостойких агрегатов в почве (Martí et al., 2001). Для интерпретации полученных данных также использовались результаты анализа минералогического состава илистых фракций нескольких почвенных профилей. Илистые фракции выделялись отмучиванием в воде и исследовались в ориентированных препаратах на рентгеновском дифрактометре ДРОН-3 (НПО «Буревестник», Санкт-Петербург), Cu-K $\alpha$  излучение, пропущенное через графитовый монохроматор, 2 $\theta$  2-45°, U = 40 kV, I = 25 mA.

Для статистической обработки данных и построения графиков регрессионных зависимостей использовались стандартные версии па-

кетов программ Excel и Statistica (Microsoft). Для построения семивариограмм применялись пакеты программ VARIOWIN 2.2 (Pannatier, 1996) и GenStat (2002) (оценочная версия). Картограммы пространственного распределения свойств строились с помощью программы SURFER, версия 6.02 (Copyright © 1993-1996, Golden Software, Inc.).

## Результаты

Обычно отражение свойств почвы в виде картограмм является последним этапом исследований пространственного распределения свойств почв. Однако в настоящем случае задачи не сводились к графическому отражению свойств, последнее было лишь этапом в анализе пространственных закономерностей.

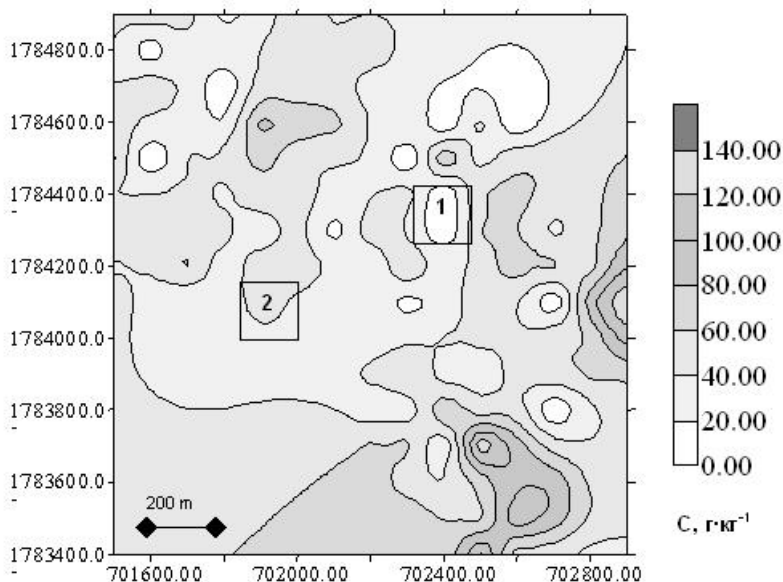
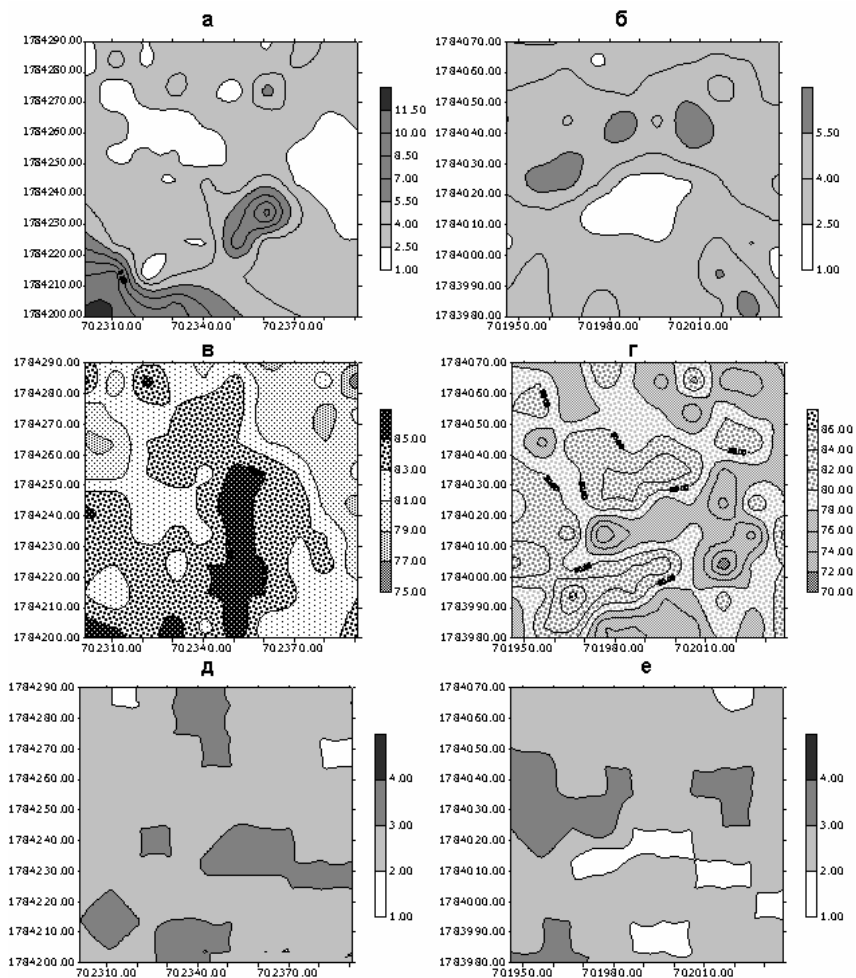


Рис. 1. Пространственное распределение содержания органического углерода в поверхностном горизонте почв кофейной фермы Эль Синаи; 1 – первый малый квадрат, 2 – второй малый квадрат

Распределение содержания органического углерода в верхнем горизонте почв показано на Рис. 1. Разброс значений очень велик:

от почти 0 до более 140 г/кг органического углерода. Связь с формами и элементами рельефа прослеживается только в общих чертах (данные не приводятся): относительно пологие возвышенные участки и днища балок характеризуются наличием почв с более высоким содержанием углерода, а крутые склоны, в особенности выпуклые – почв с низким содержанием углерода. Более точное определение связи содержания органического углерода с формами и элементами рельефа, к сожалению, было невозможно, поскольку подробных топографических карт на регион не существует. Составленная нами топографическая карта (на основании 400 точек съёмки координат с помощью системы геопозиционирования и высот с помощью альтиметра) не отражала всех мелких элементов рельефа, которые, возможно, имеют первостепенное значение для перераспределения органического углерода на поверхности.

На территории фермы были выбраны два квадрата 100x100 м, на участках со сравнительно низким и высоким содержанием органического углерода (Рис. 1). Распределение свойств внутри квадратов было сложным. В первом квадрате отмечается большой разброс значений содержания органического углерода (от 1 до 12 %) (Рис. 2). В основном почвы с высоким содержанием С сосредоточены в юго-западной части квадрата (которая расположена ниже всего по склону). Распределение содержания песчаной фракции имеет несколько иное расположение (вдоль небольшого оврага содержание песка имеет самые высокие значения), однако в целом просматривается связь более песчаных почв с более высоким содержанием углерода. Стабильность агрегатов имеет распределение, мало связанное с содержанием органического С и песчаной фракции: наиболее стабильные агрегаты наблюдаются как в наиболее гумусированных песчаных почвах, так и почвах, бедных органическим С и низким содержанием песка. Во втором квадрате разброс содержания углерода в почве не так велик. По рельефу наиболее гумусированные почвы находятся на возвышенном выровненном участке и в небольших оврагах (скорее, вымоинах). Содержание песчаной фракции варьирует в значительно большей степени и имеет внешне мало общего с распределением содержания С. Внешне стабильность агрегатов соотносится с содержанием органического углерода.



**Рис. 2. Пространственное распределение содержания органического углерода (а – квадрат 1, б – квадрат 2), содержания песчаной фракции (в – квадрат 1, г – квадрат 2) и стабильности агрегатов (д – квадрат 1, е – квадрат 2) в поверхностном горизонте почвы**

Линейная регрессия показала положительную связь стабильности агрегатов с содержанием органического С и песчаной фракции в почве (Рис. 3). Не обсуждая результаты в подробностях



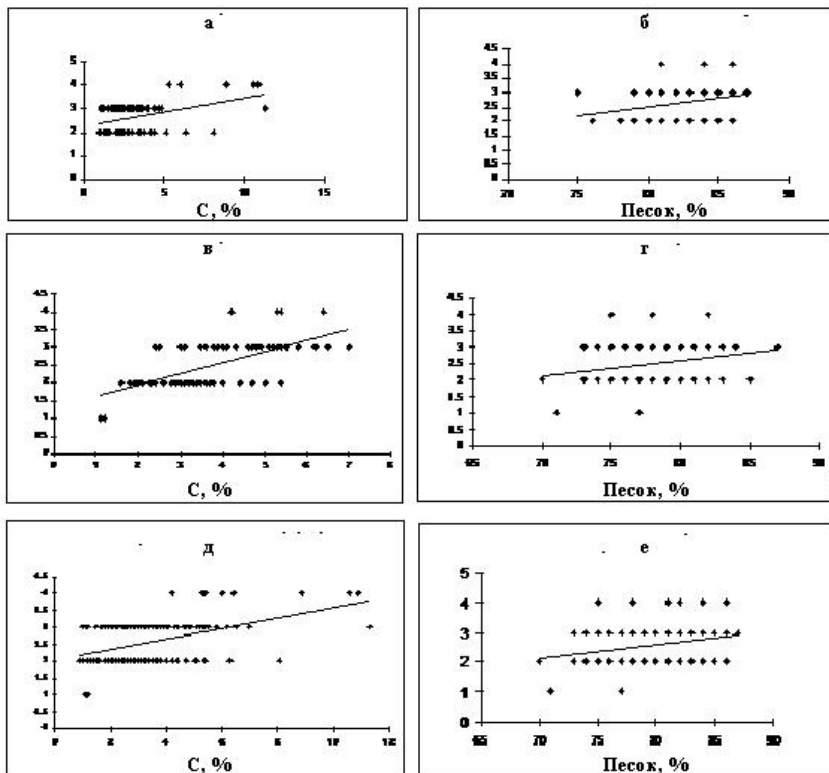


Рис. 3. Линейные регрессионные зависимости стабильности агрегатов от содержания органического углерода (а – квадрат 1, в – квадрат 2, д– для двух квадратов вместе) и содержания песчаной фракции (б – квадрат 1, г – квадрат 2, е– для двух квадратов вместе)

(см. предыдущую публикацию авторов, García Calderón et al., 2004), отметим, что степень достоверности регрессионных зависимостей была довольно низка, что объяснялось дискретным характером оценки стабильности агрегатов. Тем не менее, закономерность была получена на двух квадратах на достаточном количестве образцов, и не может считаться случайной. 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 аг-

регатов с увеличением содержания песка противоречит как общим выкладкам (Gavande, 1992), так и конкретным результатам, полученным другими исследователями (Akaigbo et al., 1999; Veihe, 2002). Была выдвинута гипотеза, что гранулометрический состав связан с минералогией илистой фракции почв, которая и влияет в большей степени на стабильность агрегатов. Гипотеза базировалась на полученных ранее данных, показывающий существенное различие в минералогии почв разного гранулометрического состава на территории как всего региона Сьерра Сюр де Оахака (García Calderón et al., 2000; Krasilnikov et al., 2005), так и конкретно фермы Эль Синаи (García Calderón et al., 2005). Поэтому нами дополнительно в 6 точках, где ранее были заложены разрезы, были проведены анализы минералогического состава илистой фракции. Результаты представлены в Табл. 1; в таблице точки приводятся по возрастанию содержания песчаной фракции в составе почвенных образцов. Из таблицы видно, что в почвах с меньшим содержанием песка в составе ила абсолютно преобладает каолинит и гиббсит. В почвах с высоким содержанием песка в составе ила, наряду с каолинитом, присутствует существенное количество минералов структуры 2:1.

**Таблица 1. Полуколичественное определение минералогического состава глин и процентного содержания песчаной фракции в поверхностных горизонтах почв кофейной плантации «Эль Синаи»**

Участок	Содержание песка, %	Минералогический состав илистой фракции			
		Слюда	Слюда-вермикулит	Каолинит	Гиббсит
Лос Санхонес	54.0			XX*	
Ла Преса	68.0		X	XX	XX
Ла Примавера	68.8		X	XX	X
Эль Мирадор	64.0		XX	XX	X
Эль Портийо	74.8	X	X	XX	X
Эль Эспинасо	77.6	X	X	XX	

\*XX – минерал доминирует; X – минерал присутствует

Пространственное распределение изученных свойств было обработано геостатистическими методами. Вариограммы, полученные при обработке данных по содержанию органического С и песчаной фракции и стабильности агрегатов, приведены на Рис. 4.

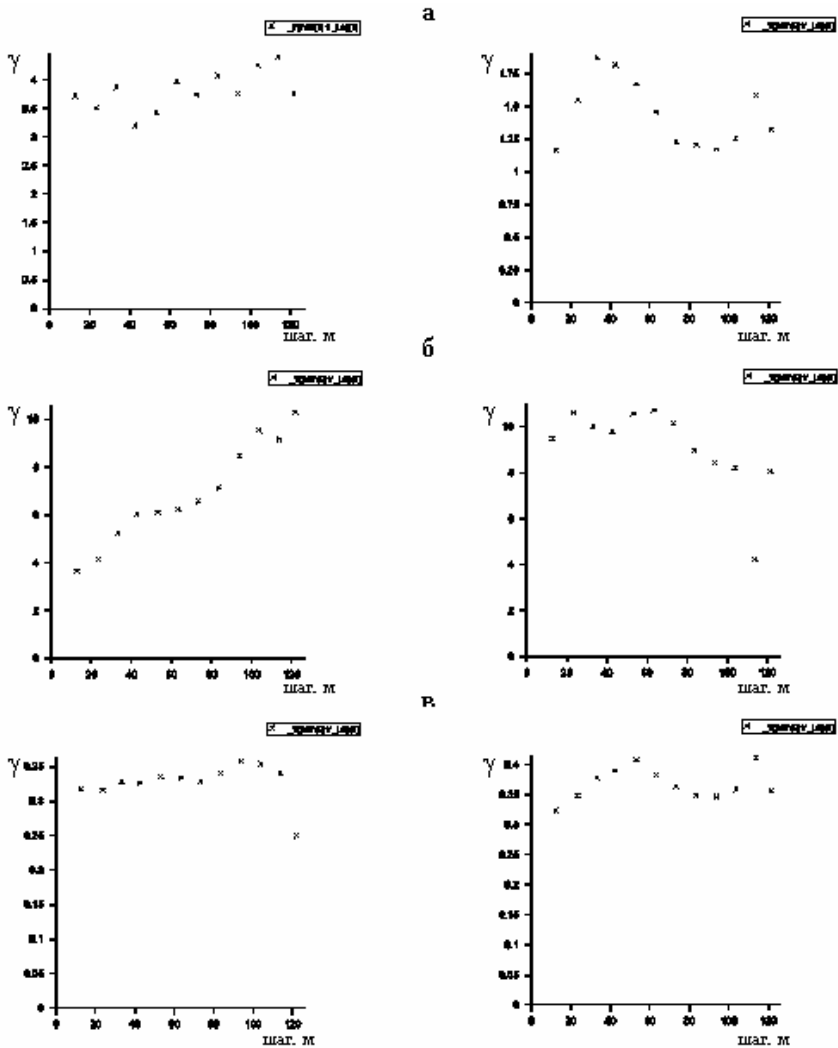


Рис. 4. Экспериментальные вариограммы распределения органического углерода (а), содержания песчаной фракции (б) и стабильности агрегатов (в) в поверхностных горизонтах малых квадратов; левая колонка – данные для квадрата 1, правая – квадрата 2

Экспериментальные вариограммы показали необычное распределение. Вопреки ожиданиям, не обнаружилось общих закономерностей пространственного распределения ни между показателями внутри квадратов, ни между двумя исследованными квадратами. В первом квадрате распределение органического С близко к чистому наггету. Распределение содержания песка имеет линейный характер, что указывает на наличие тренда. Распределение стабильности агрегатов имеет тенденцию к псевдопериодичности. Во втором квадрате распределение всех параметров имеет характер, близкий к нечёткому периодическому. Распределение органического С имеет максимумы полудисперсии на шагах около 40 и 120 м, песчаной фракции – около 20 и 60 м, а стабильности агрегатов – около 60 и 120 м. Только для второго квадрата отчасти можно говорить о некотором соответствии пространственного распределения содержания органического С и стабильность агрегатов.

Для всей территории фермы также были проанализированы данные распределения содержания органического углерода и стабильности агрегатов с учётом данных, полученных для двух малых квадратов. Вариограммы для обоих параметров имеют отчётливо периодический характер (Рис. 5). Подбор соответствующих стандартных модельных вариограмм возможен, однако очевидно, что ни экспоненциальная (для распределения органического С), ни Гауссова (для стабильности агрегатов) модели не описывают экспериментальные данные должным образом. Применение периодических моделей также затруднительно, поскольку максимумы полудисперсии носят нецелочисленный характер. Распределение органического углерода имеет максимумы на шагах около 120, 250, 350, 600, 850 и 1300 м, причём величина максимумов сильно варьирует. Обращает на себя внимание выброс в районе шага 1300 м. Обычно подобные выбросы связывают с недостаточной выборкой или с погрешностями анализов, однако в нашем случае (выборка более 400 точек) подобное объяснение трудно принять. Кроме того, этот же максимум, и также с очень высокой полудисперсией, наблюдается для стабильности агрегатов. Последняя показывает также максимумы на шагах около 250 и 750 м. В целом можно отметить, что часть максимумов периодической экспериментальной вариограммы совпадает для содержания органического С и ста-

бильности агрегатов, что указывает на частичную общность их пространственного распределения.

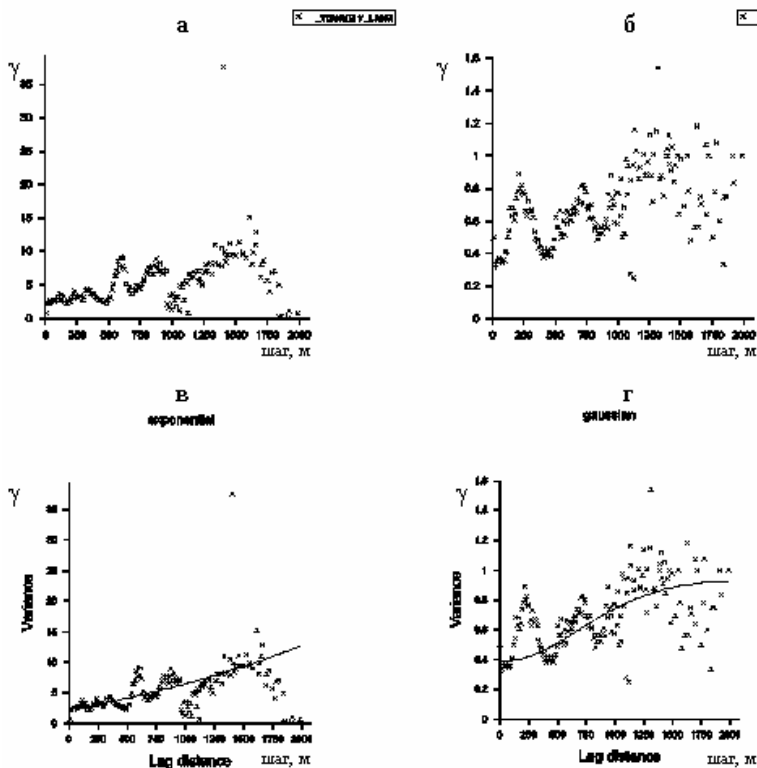


Рис. 5. Экспериментальные вариограммы (а, б) и их стандартные модели (в, г) для распределения содержания органического углерода (а, в) и стабильности агрегатов (г, д) на всей территории кофейной фермы Эль Синаï; для распределения органического С подобрана экспоненциальная модель, для стабильности агрегатов – Гауссова

## Обсуждение

Пространственное распределение стабильности агрегатов в исследованной зоне имеет закономерный характер, что позволяет прогнозировать эрозионную устойчивость почв. Для изученного района установлено закономерное возрастание стабильности агре-

готов с возрастанием содержания органического углерода в почвах, что согласуется с литературными данными. Также была установлена положительная зависимость стабильности агрегатов от содержания песчаной фракции в почвах, хотя формирование более стабильных агрегатов в почвах лёгкого гранулометрического состава противоречит данным, приводимым в литературе. Нами предложена гипотеза, объясняющая подобную необычную зависимость. Почвы, имеющие высокое содержание глины, имеют довольно большой возраст и содержат в илистой фракции преимущественно каолинит, который не образует комплексов с органическим веществом почв. Почвы несколько более лёгкого гранулометрического состава содержат, наряду с каолинитом, минералы структуры 2:1, которые образуют комплексы с гумусовыми веществами через «мостики» двухвалентных оснований (Nayan et al., 2002). Наличие комплексов, во-первых, стабилизирует гумусовые вещества, и почвы с большим содержанием песчаной фракции содержат больше органического углерода. Во-вторых, как известно, органо-глинистые комплексы стабилизируют почвенную структуру более эффективно, чем свободное органическое вещество почвы. Таким образом, наиболее стабильные агрегаты наблюдаются в почвах относительно лёгкого гранулометрического состава, содержащих существенное количество органического углерода.

Ранее нами (García Calderón et al., 2005) для изученной территории была предложена схема формирования почвенного покрова территории. Согласно этой схеме, 0-моментом развития почв является экспозиция поверхности в результате склоновых процессов. На этом этапе наблюдаются слаборазвитые почвы (Регосоли) лёгкого гранулометрического состава, с малым содержанием гумуса, насыщенные основаниями. Далее происходит развитие почв, что связано с накоплением органического вещества, выщелачиванием оснований, а впоследствии накоплением глины и иллювиированием последней. На последнем этапе почвы разрушаются в результате оползней по водонасыщенному глинистому горизонту (Dykes, 2002). Собственно, территорию данного горного региона можно представить как мозаику разновозрастных поверхностей, экспонированных склоновыми процессами, занятыми почвами разных этапов развития. Данная работа позволяет объяснить дополнительный

механизм формирования разновременной почвенной мозаики. Поверхность, экспонированная склоновыми процессами, на начальном этапе имеет песчаную малогумусовую почву. Вскоре на поверхности накапливается органическое вещество, которое образует комплексы с имеющимися минералами структуры 2:1 и стабилизирует, таким образом, агрегаты. Однако по прошествии тысячелетий ситуация меняется. Во-первых, выщелачиваются основания, которые служат «мостиками» для глинисто-органических комплексов. Во-вторых, постепенно разрушаются слоистые силикаты структуры 2:1 и остаются инертные каолинит и гиббсит. Несвязанное органическое вещество быстро минерализуется, агрегаты теряют стабильность, и почва эродируется. На экспонированной поверхности начинается новый этап почвообразования.

Поскольку приведённая схема изначально связана со склоновыми процессами, очевидно, что и распределение стабильности агрегатов, равно как и определяющих его свойств, связано с геоморфологической ситуацией. Как оползни, так и эрозионные формы рельефа имеют определённые характерные размеры; например, оползень не может произойти, если масса грунта не имеет определённой критической величины. Поэтому понятно, что структура почвенных свойств реализуется только в определённых масштабах. Как видно из полученных нами результатов, в пределах малых квадратов закономерностей распределения свойств практически не наблюдалось, точнее, они носили локальный характер (зависели от экспозиции, крутизны, формы и расчленённости склона) и не отражали региональной специфики.

Распределение содержания органического углерода и стабильности агрегатов в масштабе всей фермы показало периодическое распределение, что отражает очень ярко выраженную структуру распределения данных. Шаги, отражающиеся в вариограммах и содержания органического C, и стабильности агрегатов (250 и 1300 м), скорее всего, отражают расчленение рельефа разных порядков. Это соответствует полевым наблюдениям: малые овраги разделены дистанциями в 150-300 м, а крупные ущелья – чуть менее 1500 м.

Особое внимание вызывает нецелочисленная последовательность максимумов в периодических вариограммах исследованных свойств. Мы предполагаем, что она отражает наложение несколь-

ких периодических структур. К сожалению, аппарат анализа подобных распределений пока не разработан. Возможно, методы, применяемые для расшифровки смешанослойных неупорядоченных структур кристаллов, могут оказаться полезными. В любом случае, методическая база геостатистических исследований имеет ещё большой потенциал для дальнейшего совершенствования.

### Литература

- Akaigbo F.O.R., Igwu C.A.I., Mbagwu J.S.C. Chemical and mineralogical properties of soils in relation to aggregate stability // *Geoderma*, 1999, vol. 92, p. 111-123.
- Denef K., Six J., Merckx R., Paustian K. Short-term effects of biological and physical forces on aggregate formation in soils with different clay mineralogy // *Plant Soil*, 2002, vol. 246(2), p. 185-200.
- Drees L.R., Wilding L.P., Owens P.R., Wu B., Perotto H., Sierra H. Steepland resources: characteristics, stability and micromorphology // *Catena*, 2003, vol. 54, p. 619-636.
- Dykes A.P. Weathering-limited rainfall-triggered shallow mass movements in undisturbed steepland tropical rainforest // *Geomorphology*, 2002, vol. 46, p. 73-93.
- FAO-ISRIC-ISSS. World Reference Base for Soil Resources. Rome, 1998. Soil Resources Report 84.
- Flores A., Manzanero G.I. Tipos de vegetación del estado de Oaxaca. In: *Sociedad y Naturaleza de Oaxaca 3: Vegetación y Flora*. (Ed. M.A. Vasques). Oaxaca, 1999, p. 7-45.
- García E. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. UNAM, México, 1973.
- García Calderón N.E., Alvarez Arteaga G., Ibañez Huerta A., Krasilnikov P., Hernández Jiménez A. Soil diversity and properties in mountainous subtropical areas, in Sierra Sur de Oaxaca, Mexico // *Canad. J. Soil Sci.*, 2006, vol. 86, p. 61-76.
- García Calderón N.E., Ibañez Huerta A., Fuentes Romero E. *et al.* Características de los suelos de un sector de Pluma Hidalgo, Sierra Sur de Oaxaca, México. In: *La edafología y sus perspectivas al Siglo XXI*. (Eds. T. I. R. Quintero *et al.*). CPCa-UNAM- UACH, México, 2000, p. 61-67.
- García Calderón N.E., Urióstegui Delgado Y., Alvarez Arteaga G., Ibañez Huerta A., Krasilnikov P. Distribución espacial de las propiedades de los suelos en la zona cafetalera de la Sierra Sur de Oaxaca, México // *Memorias del III Seminario Latinoamericano de Geografía Física, Sección Geografía de Suelos*, 2004, CD-ROM, 11 p.



- Gavande S.A. Física de suelos. Principios y Aplicaciones. LIMUSA, Mexico, 1992.
- GenStat Release 6.2. Lawes Agricultural Trust (Rothamsted Experimental Station), 2002.
- Glade T. Landslide occurrence as a response to land use change: a review of evidence from New Zealand // *Catena*, 2003, v. 51, p. 297-314.
- Hernández J.R., Ortiz M.A., Zamorano J.J. Regionalización morfoestructural de la Sierra Madre del Sur, México // *Investigaciones Geográficas*, 1996, vol. 31, p. 45-67.
- Ibañez J.J., De Alba S., Bermudez F.F., García Alvarez A. Pedodiversity: Concepts and measures // *Catena*, 1995, vol. 24, p. 215-232.
- Krasilnikov P.V., García Calderón N.E., Sedov S.N., Vallejo Gómez E., Ramos Bello R. The relationship between pedogenic and geomorphic processes in mountainous tropical forested area in Sierra Madre del Sur, Mexico // *Catena*, 2005, vol. 62(1), p. 14-44.
- Lorence D.H., García A. Oaxaca, Mexico. *In: Floristic Inventory of Tropical Countries*. D.G. Campbell and H.D. Hammond (Eds.). NY Bot. Gard. Publ. Bronx, 1989, p. 253-269.
- Martí C., Abadía D., Buesa M.A. Determinación de la estabilidad de la estructura de suelos de Alto Aragón, por tamizado en húmedo y lluvia simulada // *Edafología*, 2001, vol. 8, p. 21-30.
- Moguel P., Toledo V.M. El café en México, ecología, cultura indígena y sustentabilidad // *Ciencias*, 1996, vol. 43, p. 40-55.
- Morán D.J., Corona P., Tolson G. Uplift and subduction-erosion in southwestern México since Oligocene: pluton barometry constraints // *Earth and Planetary Science Letters*, 1996, vol. 141, p. 51-65.
- Nayan A., Varadachari Ch., Ghosh K. Soil clay-humus complexes. II Bridging cations and DTA studies // *Austr. J. Soil. Res.*, 2002, vol. 40, p. 691-704.
- Pannatier Y. VARIOWIN: Software for Spatial Data Analysis in 2D. Springer-Verlag, New York, NY, 1996.
- van Reeuwijk L.P. (ed.) Procedures for soil analysis. 6th edition. ISRIC-FAO, 2002. ISRIC Technical Paper No. 9.
- Rojas T.R., Pérez J.M., Acosta G. "Y volvió a temblar". Cronología de los sismos en México" Cuadernos de la Casachata 13J. Centro de Investigación y Estudios Superiores de Antropología Social. México, D. F., 1987.
- Roth C.H. Soil Sealing and Crusting in Tropical South América. *In: Soil Crusting. Chemical and Physical Processes* (Eds. Summer M.E. et al.). Lewis Publishers, USA, 1992.
- Rzedowsky J. Vegetación de México. Limusa, México, D. F., 1978.
- Staver C. Managing ground cover heterogeneity in coffee (*Coffea arabica* L.) under managed tree shade: from replicated plots to farmer practice

- // Agroforestry in Sustainable Agricultural Systems (Eds. E. L. Buck et al.).  
CRC Press, Lewis Publ. Boca Raton, FL, 1998, p. 67-96.
- Veihe A. The spatial variability of erodability and its relation to soil types: a study from northern Ghana // *Geoderma*, 2002, vol. 106, p. 101-120.
- Warrick A.W. *Soils Physics Companion*. CRC Press, London, 2002
- van der Watt H.H., Valentin C. Soil Crusting: The African View. *In: Soil Crusting. Chemical and Physical Processes* (Eds. Summer M.E. et al.). Lewis Publishers, USA, 1992.

## **Почвы еловых лесов Восточной Фенноскандии**

Соломатова Е.А.

*Институт биологии КарНЦ РАН, Петрозаводск, Россия*

Материалы по почвам еловых лесов достаточно обширны (Марченко, 1962; Левкина, Яковлев, 1965; Казимиров, 1971; Лазарева, 1971; Морозова и др., 1971; Казимиров, Морозова, 1973; Морозова, Казимиров, 1975; Иванова, 1976; Морозова и др., 1979; Морозова, 1981; Морозова, 1991; Федорец и др., 2000 и др.). Строение почвенного покрова еловых лесов отличается большой сложностью и разнообразием сочетания почв. Еловые леса распространены чаще на почвах более тяжелого механического состава, чем сосновые леса, но встречаются и на песках. Основными почвообразующими породами под еловыми лесами являются супесчаная и суглинистая морена, а также ленточные глины. Типичны для еловых лесов иллювиально-гумусово-железистые и иллювиально-железисто-гумусовые подзолы, пятнисто-подзолистые почвы, подзолистые суглинистые и глинистые, элювиальные поверхностно-глееватые почвы, а также бурозёмы, сформировавшиеся на элюво-делювии диабазов, моренных и озёрных отложения, обогащенных элювием диабазов. На торфяных почвах, подстилаемых суглинками и глинами, распространены переувлажненные типы еловых лесов (Федорец и др., 2000).

Общими чертами почв ельников по Н.И. Казимирову (1971) являются сравнительно небольшая глубина профиля, высокая кислотность и слабая насыщенность растворимыми основаниями. Минеральные горизонты их бедны гумусом и зольными элементами питания и, наоборот, обогащены кремнием, железом и алюминием.

### **Объекты исследования**

Исследования проводились в среднетаёжной подзоне Карелии и Южной Финляндии, расположенной на Балтийском кристаллическом щите (рис. 1). Рельеф данных районов имеет расчленённый характер, отличающийся частым чередованиям холмов и гряд (как денудационно-тектонического, так и водно-ледникового генезиса) с понижениями. Для территории характерно большое количество мелких озёр и болот.

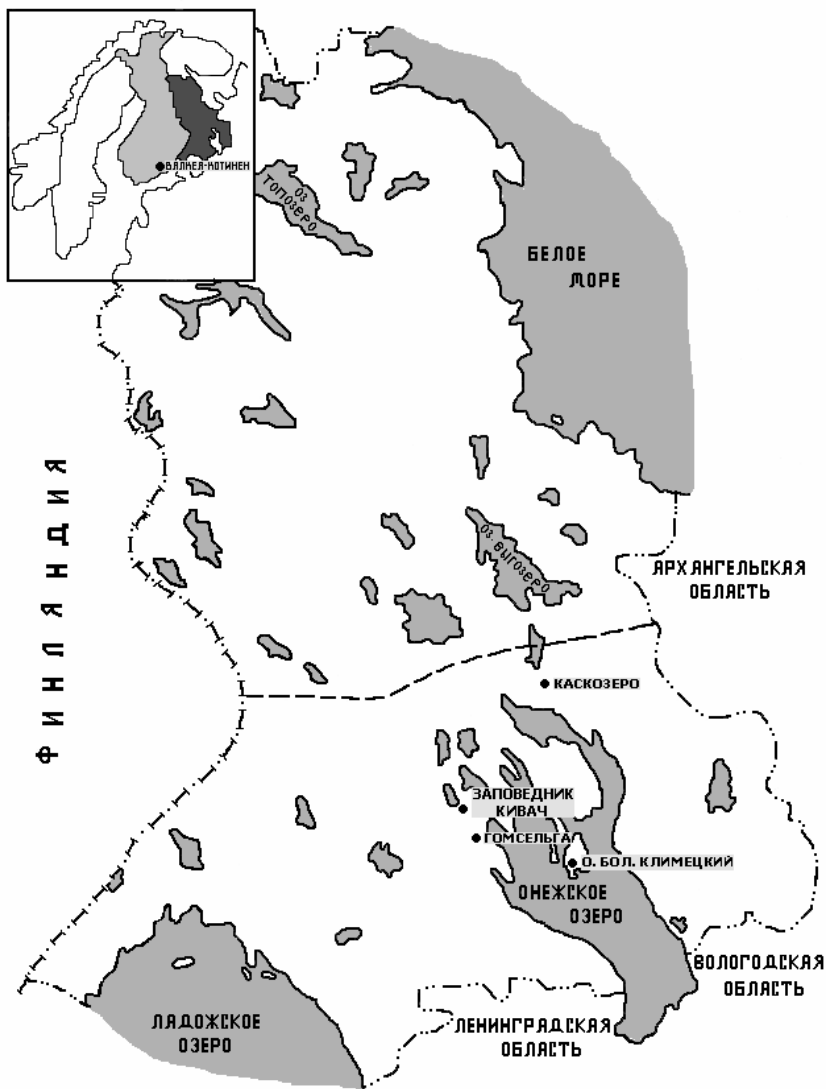


Рис. 1. Объекты исследований ♦

— — — граница между северной и средней тайгой

Объектами исследования послужили 6 участков: участок 1 – в районе интегрированного мониторинга Валкеа-Котинен (Южная Финляндия); участки 2 и 3 – в центральной Карелии на территории государственного заповедника "Кивач; участок 4 – в Медвежьегорском районе вблизи озера Каскозеро; участок 5 – в Заонежье на о. Большой Климецкий; участок 6 – в районе п. Гомсельга. Участки 1, 2, 3 находятся на охраняемых территориях, участки 4, 5 – в естественных условиях, участок 6 подвержен антропогенному влиянию.

**Участок 1** расположен на территории интегрированного мониторинга Валкеа-Котинен. Почвообразующая порода представлена пылевато-песчаной валунной мореной. Лес определен как ельник черничный свежий. Возраст деревьев 155-190 лет. Формула древостоя  $8E+2B+C$ . Господствующая древесная порода – ель европейская (76%), также встречаются и лиственные деревья, особенно берёза бородавчатая и берёза пушистая (21%); сосен немного (3%). Общее проективное покрытие деревьев очень высокое – около 80%, травяно-кустарникового яруса 29%, мохово-лишайникового – 17%. Количество стволов на гектаре 1133. В напочвенном покрове преобладает черника, довольно много встречается майника двулистного и кислицы, мало вейника лесного и луговика извилистого. Из папоротников обильно растет голокучник трёхраздельный. Нижний ярус исключительно занимают зелёные мхи, особенно *Hylacomium*. Средняя высота деревьев 17 м, средний диаметр 26 см. Почвы представляют собой подбуры оподзоленные. Обильны выходы коренных пород.

**Участок 2** расположен на территории заповедника Кивач. Почвообразующая порода представлена суглинистой мореной. Лес определен как спелый ельник черничный свежий. Возраст деревьев от 70 до 220 лет. Формула древостоя  $9E+1C+B$ . Господствующая порода ель европейская (91%). Подлеска нет. Сомкнутость древесного полога 0,6-0,8. Общее проективное покрытие деревьев 50%. Количество стволов на гектаре – 610. Мохово-лишайниковый ярус сравнительно более развит, чем травяно-кустарниковый. Проективное покрытие до 100% и 58,6% соответственно. Основная площадь занята черникой на Плевроции Шребера, на фоне которой выделяются пятна луговика извилистого, кислицы. На исследуемом участке много вывалов до 320 шт/га, что соответствует около

53% от количества живых деревьев ели европейской. Средняя высота деревьев 21 м, диаметр 26 см. Количество подроста 2160 шт/га. Почвы – подзолы иллювиально-железистые, иллювиально-гумусово-железистые, иллювиально-железисто-гумусовые.

**Участок 3** расположен на территории заповедника Кивач. Почвообразующая порода представлена ленточными глинами. Лес определен как ельник черничный свежий. Возраст древостоя от 80 до 250 лет. Формула древостоя 8Е+2Б. В древостое кроме ели европейской (81%), встречаются в примеси берёза бородавчатая (12%), сосна (4%), осина (3%). В подлеске – рябина обыкновенная и шиповник иглистый. Сомкнутость крон 0,7-0,8. Средняя высота деревьев 21 м, диаметр 26 см. Количество стволов 400 шт/га. Проективное покрытие древесного яруса 32%, травяно-кустарничковый ярус развит хорошо и равномерно до 60%, мохово-лишайниковый сравнительно беден до 35%. В надпочвенном покрове преобладает луговик извилистый, черника, вейник лесной, кислица, осока, хвощ, подмаренник, плаун. Основная площадь изучаемого участка занята пятнами Плевроция Шребера и черники, вейника лесного, а так же луговика извилистого и кислицы. Почва – поверхностно-подзолистая.

**Участок 4** представляет собой останец елового леса на крутой моренной гряде на берегу озера Каск. Почвообразующая порода представлена супесчаной завалуненной моренной. На глубине 1,2-1,5 м моренные отложения подстилаются диоритовой скалой. Лес определен как ельник черничный свежий. Формула древостоя 10Е + Б. Возраст елей деревьев 100-120 лет. В подросте обильна рябина, встречается берёза бородавчатая и можжевельник. В напочвенном покрове абсолютно преобладают зеленые мхи и черника, в единичном количестве встречаются брусника, майник двулистный и луговик извилистый. Напочвенный растительный покров в пределах пробных площадок однородный, парцеллярная структура не выражена. Почвы представляют собой подзолы иллювиально-железисто-гумусовые оглеенные песчано-супесчаные.

**Лес участка 5** определен как ельник черничный влажный. Почвообразующая порода представлена песчаной моренной. Формула древостоя 10Е+Б+О. Возраст деревьев 100 лет. В напочвенном покрове преобладают черника, кислица, разнотравье; встречаются земляника, ландыш, костяника, мышиный горошек, брусника, хвощ. Напочвен-

ный растительный покров в пределах пробной площадки неоднородный с выраженной парцеллярной структурой. Встречаются мертвопокровные участки, обильны выходы коренных пород. Почвенный покров представлен вариацией подбуров оподзоленных, подзолов иллювиально-железистых и иллювиально-гумусово-железистых. Условно пятнами торфяно-глеевых и щебнистых почв.

Территория участка 6 была покрыта еловым лесом, который был почти полностью уничтожен вырубками. Из обобщенных данных ельники района исследования характеризовались следующими данными: формула древостоя  $9E+1B+C+Os$ , сомкнутость крон 0,7-0,8, возраст 120-140 лет, средняя высота 20-22 м, средний диаметр 24 см. В травяно-кустарничковом ярусе преобладает черника, в малом количестве встречаются брусника, майник двулистный, луговик извилистый, вейник тростниковидный. Моховый покров сплошной из Плевроция Шребера, гилокомия блестящего. Почвообразующая порода представлена пылевато-песчаной мореной. В настоящее время участок исследования занят вторичным лесом. Определен как производный тип возрастом 50 лет. Формула древостоя  $1E+3C+3B+3O$ . В подросте встречаются сосна, береза, осина, рябина, ива, ель, можжевельник. В напочвенном покрове преобладают черника, брусника, костяника, ландыш, папоротник, земляника, иван-чай, вороний глаз, кислица, клевер, мох сфагнум, кукушкин лен. Почва – подзол иллювиально-железисто-гумусовый.

### **Результаты исследования**

Для ельников черничных характерно большее разнообразие сочетаний почв. В результате исследования установлено, что рассматриваемые участки ельника черничника и производного типа леса произрастают на почвах и почвообразующих породах разного механического состава.

#### ***Почвенный покров ельника черничного свежего (Валкеа-Котинен)***

Исследуемый ельник черничный свежий произрастает на подбуре оподзоленном супесчаном на пылевато-песчаной валунной морене, морфологическое описание которого дано в таблице 1. Почвы хорошо дренированные. Оподзоливание подбуров слабое.

Хорошо выраженного подзолистого горизонта нет. Оподзоленность проявляется в виде отбеленных кварцевых зёрен. В профиле выделяется иллювиально-гумусово-метаморфический горизонт  $V_{hm}$ . По характеру лесной подстилки ( $A_0=3$  см) относится к грубогумусным. Наблюдается высокая каменистость до 50%.

Таблица 1. Описание почвенного разреза ельника черничника свежего (Валкеа-Котинен)

Горизонт, мощность, см	Цвет	Структура	Граница	Переход	Включения			
					Корни	Камни, %	Особенности	
$A_0$	0-3	бурый	–	ровная	резкий	есть	нет	нет
$A_0A_2$	3-6	серо-коричневый	рыхлая	волнистая	резкий	мало	50	угли, единичные зёрна
$V_{hm}$	6-13	коричневый	рыхлая	волнистая	заметный	много	50	единичные зёрна
$V_m$	13-35	тёмно-жёлто-коричневый	рыхлая	волнистая	постепенный	единичны	50	нет
BC	35-63	светло-оливково-коричневый	рыхлая	–	–	единичны	50	слабые пятна, единичные зёрна

По данным Р.М. Морозовой (1991) для подбуров оподзоленных Карелии содержание скелета колеблется от 50 до 90%, количество песчаного и супесчаного мелкозёма и ила не превышает 3-4%. В гранулометрическом составе подбуров оподзоленных Карельского перешейка преобладают каменистые и песчаные фракции (Касаткина, 1993).

Результаты химического анализа почв даны в смешанных образцах по слоям. Подбур оподзоленный имеет кислую реакцию,  $pH_{KCl}$  колеблется от 3,3 до 3,7,  $pH$  водный от 4,1 до 4,5 (Табл. 2). Наблюдается уменьшение кислотности вниз по профилю, что связано с миграцией гумусовых кислот при этом увеличивается ГК. Обменная кислотность повышается в верхнем слое профиля. Насыщенность почв основаниями низкая (60,17% и 31,21% соответственно по слоям вниз по профилю). В подбуре оподзоленном исследуемого участка выше содержание азота 1,22% и углерода 39% по сравнению с



данными для Карелии – азота 0,97% и углерод 34,2%. Отношение C:N в подстилке 31,96; для нижележащих горизонтов 25,88 и 21,43 соответственно. Несколько шире отношение C:N 35,2 приводится в подстилке для подбуров оподзоленных Карелии, для нижележащих горизонтов – 26,6 и 12,7 (Федорец и др., 2000). Для подбуров оподзоленных характерна биогенная аккумуляция марганца (229,6 mg kg<sup>-1</sup>), серы (0,14%), кальция и магния (Табл. 2), калия (682,2 mg kg<sup>-1</sup>) и фосфора (677,7 mg kg<sup>-1</sup>) в лесной подстилке.

Таблица 2. Химическая характеристика подбуров оподзоленных (в каждом слое n=4) (Валкеа-Котинен)

Горизонт слой	Глубина, см	pH		C, %	N, %	C:N	ППП, %	Н	Обменная кислот- ность		Обменные основания		V, %
		смоль·кг <sup>-1</sup>							H <sup>+</sup>	Al <sup>3+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	
		H <sub>2</sub> O	KCl										
A <sub>0</sub>		4,10	3,30	39,00	1,22	31,96	68,90	71,20	3,60	0,20	18,76	4,36	24,52
1 (A)	0-5	4,30	3,30	4,40	0,17	25,28	8,40	15,90	3,20	2,30	1,03	0,28	7,60
2 (B)	5-20	4,50	3,70	3,00	0,14	21,42	7,30	17,90	2,00	1,60	0,35	0,12	2,53

Из литературных источников (Таргульян, 1971) известно, что содержание железа, как общего, так и подвижного, является важным диагностическим признаком подбуров. Весь почвенный профиль данных почв пропитан гумусом.

### ***Почвенный покров ельника черничного свежего (Кивач 1)***

В ельнике черничном свежем на участке Кивач 1 выделено три рода подзолов: иллювиально-железистые, иллювиально-гумусово-железистые и иллювиально-железисто-гумусовые. Морфологическое описание разрезов дано в таблице 3. Мощность генетических горизонтов сильно варьирует. Наблюдается высокая каменистость по всему профилю. Все переходы между горизонтами заметные. Механический состав супесчаный и суглинистый, следует отметить глинистый состав на пробной площадке b2 под Плевроцием Шребера (Табл. 4). Распределение ила и физической глины по профилю носит аккумулятивный и элювиально-иллювиальный характер. Для всех почв характерно высокое содержание среднего и мелкого песка и крупной пыли, для пробной площадке b2 – пыли.

Таблица 3. Описание почвенных разрезов ельника черничника свежего (Кивач 1)

Номер площадки, тип пятна, горизонт, мощность, см	Цвет	Структура	Граница	Переход	Включения			
					Корни	Камни, %		
d 1, черника+кислица обыкновенная+Плевроций Шребера								
A <sub>0</sub>	5	тёмно-бурый	–	ровная	заметный	густо	55	нет
A <sub>2</sub>	7...20	серо-коричневый	непрочно-пличчатая	карманная	заметный	много	55	нет
B <sub>п</sub>	3...25	буро-коричневый	непрочно-комковатая	карманная	заметный	много	25	нет
B <sub>2</sub>	5...25	тёмно-бурый	рыхлая	волнистая	заметный	–	нет	нет
b 2, Плевроций Шребера								
A <sub>1</sub> B	6	тёмно-бурый	рыхлая	ровная	заметный	много	70	нет
A <sub>2</sub> B	5...20	буро-коричневый	рыхлая	карманная	заметный	много	70	нет
B <sub>1</sub> C	15	серо-коричневый	неплотно-комковатая	волнистая	заметный	есть	50	нет
C	30	серо-бурый	рыхлая	ровная	заметный	единичны	–	нет
e 2, черника+ Плевроций Шребера								
A <sub>0</sub>	4	буро-коричневый	зернисто-пылеватая	ровная	заметный	много	–	нет
A <sub>2</sub>	8...18	серо-коричневый	неплотно-ореховатая	волнистая	заметный	много	70	нет
B <sub>пг</sub>	17	буро-коричневый	–	волнистая	заметный	есть	70	нет
с 3, Плевроций Шребера								
A <sub>0</sub>	9	бурый	–	ровная	заметный	густо	5	белый и желтый мицелий, есть угли
A <sub>2</sub>	5...25	светло-серый	рыхлая	карманная	заметный	много	85	–
B <sub>г</sub>	25	буро-коричневый	не плотно-комковатая	волнистая	заметный	нет	30	–
BC	45	тёмно-серый	ореховатая	ровная	заметный	нет	10	шунгит
C	↓	коричнево-серый	комковатая	–	–	–	–	шунгит
d 5, черника+Плевроций Шребера								
A <sub>0</sub>	7	бурый	–	ровная	заметный	густо	–	есть угли
A <sub>2</sub> B	5...25	серо-коричневый	не плотно-комковатая	карманная	заметный	много	70	–
B <sub>пг</sub>	30	буро-коричневый	комковато-ореховатая	волнистая	заметный	много	70	–

... – размах значений мощности горизонта.

Таблица 4. Механический состав почв ельника черничного свежего (Кивач 1)

Номер площадки, тип пятна, горизонт, мощность, см	Содержание частиц в % к общему количеству мелкозёма (по фракциям)								
	0,5-1	0,25-0,5	0,05-0,25	0,01-0,05	0,01-0,005	0,001-0,005	<0,001	<0,01	
d 1, V.m.+O.a+Pl. (черника+кислица обыкновенная+Плевроций Шребера)									
A <sub>2</sub>	7...20	10,11	29,91	18,82	22,44	6,42	7,51	4,79	18,72
B <sub>тн</sub>	3...25	8,22	29,62	23,52	19,24	6,64	7,45	5,31	19,40
B <sub>2</sub>	5...25	9,00	24,40	18,46	20,06	8,01	13,50	6,57	28,08
b 2, Pl (Плевроций Шребера)									
A <sub>1</sub> B	6	0,87	1,28	2,43	23,21	27,59	39,27	5,35	72,21
A <sub>2</sub> B	5...20	0,46	0,99	0,56	21,97	27,53	42,37	6,12	76,02
B <sub>1</sub> C	15	0,40	0,79	1,52	13,93	36,92	31,45	14,99	83,36
C	30	0,45	0,24	4,06	9,44	14,43	42,81	28,57	85,81
e 2, V.m.+Pl. (черника+Плевроций Шребера)									
A <sub>2</sub>	8...18	5,47	24,05	24,15	26,20	6,42	9,66	4,05	20,13
B <sub>тн</sub>	17	9,05	25,19	24,46	21,95	6,62	7,94	4,79	19,35
c 3, Pl. (Плевроций Шребера)									
A <sub>2</sub>	5...25	8,51	25,68	27,44	23,19	4,44	9,23	1,51	15,18
B <sub>тн</sub>	25	9,30	23,73	22,79	23,97	7,44	8,09	4,68	20,21
BC	45	12,84	23,64	19,39	21,33	7,08	9,96	5,76	22,80
C	↓	8,46	25,74	24,60	22,51	6,38	8,99	3,32	18,69
d 5, V.m.+Pl (черника+Плевроций Шребера)									
A <sub>2</sub> B	5...25	5,45	26,18	27,01	23,27	6,73	7,19	4,17	18,09
B <sub>тн</sub>	30	5,32	24,12	31,04	22,66	5,69	7,63	3,54	16,86

... – размах значений мощности горизонта.

В подзоле 150-летнего ельника черничного на суглинке южной тайги содержание частиц <0,02 мм составляет 17-18% с преобладанием фракции от 0,006 до 0,02% (Зонн, Карпачевский, 1964).

Подзол иллювиально-железисто-гумусовый сформировался под черникой и кислицей на Плевроции Шребера. Почва кислая, pH водный варьирует от 3,15 до 4,15; pH<sub>KCl</sub> от 2,9 до 4,25, более низкой кислотностью характеризуется подзолистый горизонт (Табл. 5). Вниз по профилю кислотность падает, обменные основания постепенно повышаются. Наблюдается биогенное накопление фосфора и калия в подстилке, а также их аккумуляция в иллювиальном горизонте 24,5 и 4,10 мг/100г соответственно. Фосфор фиксируется на элементах с переменным зарядом, которыми являются гидроксиды железа. Подвижные формы железа по Тамму преобладают в иллювиальном горизонте 4,39% и в горизонте B<sub>2</sub> 5,9%, по Джексону 4,55% в иллювиальном

горизонте. Отношение C:N в подстилке 31, в подзолистом горизонте 15,73, в иллювиальном горизонте 2,13.

Таблица 5. Химическая характеристика почв ельника черничного свежего (Кивач I)

Номер площадки, тип пятна, горизонт, мощность, см	pH		N, %	C, %	C:N	Обменные основания, смоль·кг <sup>-1</sup>		Доступные, мг/100 г		Железо		
	KCl	H <sub>2</sub> O				Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	По Тамму, %	По Джексо-ну, %	
d 1, V.m.+O.a+Pl. (черника+кислица обыкновенная+Плевроций Шребера)												
A <sub>0</sub>	5	3,19	3,4	2,15	68,7	31,00	—	—	36,00	105,00	—	—
A <sub>2</sub>	7...20	2,90	3,15	0,07	1,07	15,73	4,06	1,49	2,80	3,40	1,94	0,84
B <sub>пн</sub>	3...25	4,20	3,90	0,10	2,13	21,10	4,19	1,32	24,50	4,10	4,39	4,55
B <sub>2</sub>	5...25	4,25	4,15	0,09	—	—	5,18	2,82	11,00	3,80	5,90	4,37
b 2, Pl (Плевроций Шребера)												
A <sub>1</sub> B	6	3,30	3,75	0,14	1,76	12,48	13,97	13,8	16,10	7,40	1,96	—
A <sub>2</sub> B	5...20	—	—	0,08	1,17	15,41	3,22	0,83	—	—	2,02	—
B <sub>f</sub> C	15	4,30	5,60	0,01	0,15	15,00	6,71	4,93	64,20	10,50	1,27	—
C	30			0,01	—	—	35,48	8,88	—	—	0,99	—
e 2, V.m.+Pl. (черника+Плевроций Шребера)												
A <sub>0</sub>	4	3,03	3,30	1,55	47,5	30,64	—	—	34,00	91,00	—	—
A <sub>2</sub>	8...18	2,85	3,05	0,07	0,97	13,29	2,51	2,32	2,80	4,10	1,46	0,92
B <sub>пф</sub>	17	4,15	3,90	0,08	1,56	20,52	4,48	—	14,90	2,50	3,34	3,40
c 3, Pl. (Плевроций Шребера)												
A <sub>0</sub>	9	2,85	3,15	—	—	—	—	—	46,00	116,00	—	—
A <sub>2</sub>	5...25	2,85	2,95	0,06	0,88	16,00	3,92	0,66	4,30	5,20	0,56	0,34
B <sub>f</sub>	25	4,15	3,70	0,06	0,26	4,48	3,92	0,28	8,30	3,20	3,42	2,60
BC	45	—	—	0,04	—	—	3,36	0,66	—	—	0,79	0,68
C	↓	—	—	0,01	—	—	3,74	0,164	—	—	0,64	0,39
d 5, V.m.+Pl (черника+Плевроций Шребера)												
A <sub>0</sub>	7	3,00	3,20	—	—	—	—	—	40,00	112,00	—	—
A <sub>2</sub> B	5...25	3,15	3,30	0,04	0,54	14,10	3,22	1,99	1,60	3,40	0,69	0,36
B <sub>пф</sub>	30	3,20	3,76	0,07	1,57	21,50	3,35	1,32	19,60	2,90	7,11	5,19

... — размах значений мощности горизонта.

Подзол иллювиально-гумусово-железистый под черникой на Плевроции Шребера на пробных площадках e2 и d5 по сравнению с подзолом иллювиально-железисто-гумусовым характеризуется менее кислой реакцией по всему профилю (Табл. 5). Биогенная аккумуляция фосфора и калия в подстилке несколько выше. В иллю-

виальном горизонте накопление этих элементов ниже. На площадке d5 иллювиирование подвижных форм железа выражено сильнее. Отношение C:N в подстилке 30,64. В подзолистом горизонте – 13,29, в иллювиальном – 20,52.

Подзол иллювиально-железистый глинистый на пробной площадке b2 под Плевроцием Шребера имеет более низкую кислотность. Следует отметить наибольшее содержание обменных оснований по всему профилю и более высокую аккумуляцию фосфора 64,2% и калия 10,5% в иллювиальном горизонте по сравнению с другими почвами пробных площадок.

В подзоле иллювиально-железистом супесчано-суглинистом на пробной площадке c3 под Плевроцием Шребера наблюдается более высокая биогенная аккумуляция фосфора 46 мг/100 г и калия 116 мг/ 100 г.

По характеристике лесных земель О.Г. Чертова (1981) (Табл. 18) почвы участка Кивач 1 относятся к лесным землям на суглинках моренных бескарбонатных дренированных равнин и пологих склонов с ельниками черничными и чернично-кисличными. На моренных бескарбонатных суглинках в варианте с худшим дренажом формируются грубогумусные сильноподзолистые почвы, в лучших условиях модергрубогумусные и модергумусные разной ползолистости. Условия дренажа в этом типе земель определяются выраженностью уклона поверхности, поскольку суглинистая порода при неоднородности ее строения не обеспечивает полного сброса влаги. В формировании структуры почвенного покрова определенную роль играет микрорельеф. При сопоставлении свойств почв ельника черничного исследуемого участка с данными, приведенными О.Г. Чертовым (1981), почвенный покров участка Кивач 1 соответствует грубогумусным подзолистым почвам. Как отмечает автор, «в этом типе лесных земель ... лесные экосистемы обладают, по-видимому, значительной устойчивостью к разрушающим антропогенным воздействиям благодаря высокой скорости восстановления растительности почв на фоне достаточно высокой буферности суглинистых почв с развитым гумусовым горизонтом».

### ***Почвенный покров ельника черничного свежего (Кивач 2)***

Подзолисто-поверхностная почва ельника черничника свежего исследуемого участка Кивач 2 сформирована на ленточных глинах.

Ленточные глины являются весьма специфической почвообразующей породой. Генетическими особенностями почв Карелии на ленточных глинах в заповеднике «Кивач» занималась И.П. Лазарева (Лазарева, 1971; Лазарева, 1973; Зонн, Лазарева, 1974). Ленточные глины Карелии характеризуются большим количеством оснований (12-14%), среди оснований  $Mg^{2+}$  преобладает над  $Ca^{2+}$ ,  $Na^+$  и  $K^+$ . В ленточных глинах Карелии преобладают пылеватые фракции, содержание илистых фракций редко превышает 20% (Володин, 1969). Ленточные глины являются богатыми почвообразующими породами.

Морфологическое описание разрезов ельника черничного свежего на участке Кивач 2 дано в таблице 6. Профиль почв окрашен в различные тона коричневого цвета. Нижние горизонты уплотнены. Почвы имеют гумусированный элювиальный горизонт  $A_1B$ . Отличительной особенностью морфологии этих почв является прекрасно выраженная мелкозернистая структура  $A_1B$ , образование глинисто-иллювиальных горизонтов  $B_t$  и  $B_{tl}$ . В нижней части иллювиальных корнеобитаемых горизонтов ( $B_t$  и  $B_{tl}$ ) присутствуют ортштейны. В подстилке есть угли.

По механическому составу почвы относятся к средним глинам (Табл. 7). Наибольший процент падает на фракции пыли. Наблюдается небольшая аккумуляция ила в горизонте  $B_t$ . Распределение физической глины носит элювиально-иллювиальный характер.

По данным И.П. Лазаревой (1973) валовой состав илистой фракции довольно однороден. Профили обеднены оксидами кремния и железа и относительно обогащены оксидами алюминия и железа. Относительное накопление оксида кремния при снижении содержания других окислов отмечается только в гумусовых горизонтах. Характерно обогащение профилей подвижным железом по аккумулятивному типу распределения с максимумом в верхнем горизонте.

Почвы кислые, рН солевой колеблется от 2,9 до 4,3, рН водный от 3,06 до 4,65 (Табл. 8). В сравнении с данными И.П. Лазаревой (1971) в почве на ленточных глинах ельника черничника рН водный выше и варьирует от 4,6 до 6,4. Кислотность вниз по профилю падает. Следует отметить, более кислую реакцию горизонта  $A_1B$  в почве под черникой на пробной площадке 3. В лесной подстилке почвы под луговиком на участке а1 кислотность выше по сравнению с другими пробными площадками.

**Таблица 6. Описание почвенных разрезов ельника черничника  
свежего (Кивач 2)**

Номер площадки, тип пятна, горизонт, мощность, см	Цвет	Структура	Гра-ница	Пере-ход	Плот-ность	Включения		
						Корни	Осо-бенно-сти	
а 1, луговик извилистый								
A <sub>0</sub>	6	бурый	–				густо переплетены	есть угли
A <sub>1</sub> B	5	коричневый	мелко-зернистая	ровная	заметный	рыхлый	мало	–
B <sub>t</sub>	6	серо-коричневый	плитчатая	ровная	заметный	рыхлый	мало	–
B <sub>т1</sub>	15	серо-коричневый	плитчатая	ровная	заметный	уплотненный	–	–
а 1, вейник тростниковидный								
A <sub>0</sub>	6	буро-коричневый		ровная	заметный		густо	есть угли
A <sub>1</sub> B	7	тёмно-коричневый	мелкозернистая	ровная	заметный	рыхлый	мало	–
B <sub>t</sub>	8	серо-коричневый	сланцеватая	ровная	заметный	уплотненный	мало	–
B <sub>т1</sub>	12	серо-коричневый	сланцеватая	ровная	заметный	плотный	–	–
б 1, луговик извилистый								
A <sub>0</sub>	6	бурый	–	ровная	заметный		густо	есть угли
A <sub>1</sub> B	6	коричневый	мелкозернистая	ровная	заметный	рыхлый	мало	–
B <sub>t</sub>	7	серо-коричневый	плитчатая	ровная	заметный	рыхлый	мало	–
B <sub>t2</sub>	14	серый	плитчатая	ровная	заметный	уплотненный		оргштейны
3, черника								
A <sub>0</sub>	4	бурый	–	ровная	заметный	–	густо переплетены	угли
A <sub>1</sub> B	5	буро-коричневый	пылеватая	ровная	заметный	рыхлый	много	
B <sub>t</sub>	13	серо-коричневый	мелкозернистая	ровная	постепенный	уплотнённый	много	коричневые пятна
B <sub>т1</sub>	–	–	мелкозернистая	–	–	плотный	–	оргштейны

Номер площадки, тип пятна, горизонт, мощность, см	Цвет	Структура	Граница	Переход	Плотность	Включения		
						Корни	Особенности	
3, вейник тростниковидный								
A <sub>0</sub>	10	буро-коричневый	–	ровная	заметный	–	густо переплетены	угли
A <sub>1B</sub>	7	светло-буро-коричневый	комковато-ореховатая	ровная	заметный	рыхлый	много	–
B <sub>t</sub>	9	коричнево-серый	крупнокомковатая	ровная	заметный	уплотнённый	много	–
B <sub>т1</sub>	–	грязно-серый	крупнокомковатая	ровная	заметный	плотный	мало	орштейны

Таблица 7. Механический состав почв ельника черничного свежего (Кивач 2)

Номер площадки, тип пятна, горизонт, мощность, см	Содержание частиц в % к общему количеству мелкозёма (по фракциям)								
	0,5-1	0,25-0,5	0,05-0,25	0,01-0,05	0,01-0,005	0,001-0,005	<0,001	<0,01	
a 1, A.f. (луговик извилистый)									
A <sub>1B</sub>	5	2,50	9,29	16,22	26,67	5,95	33,25	6,12	45,32
B <sub>t</sub>	6	0,62	3,01	5,57	20,08	16,27	45,38	9,07	70,72
B <sub>т1</sub>	15	0,52	0,49	1,33	19,26	25,76	46,14	6,50	78,40
a 1, Cal. (вейник тростниковидный)									
A <sub>1B</sub>	7	0,30	0,95	6,11	35,94	18,00	31,13	7,57	56,70
b 1, A.f. (луговик извилистый)									
A <sub>1B</sub>	6	2,05	3,27	5,45	23,58	20,68	39,22	5,75	65,65
B <sub>t</sub>	7	0,83	2,61	4,66	19,55	20,26	43,00	9,09	72,35
B <sub>т2</sub>	14	0,56	1,55	1,09	25,41	22,36	40,06	8,97	71,39
b 2, V.m. (черника)									
B <sub>t</sub>	4	1,16	1,36	5,82	19,36	26,39	39,64	6,27	72,30
3, V.m. (черника)									
A <sub>1B</sub>	5	0,15	1,10	0,01	32,95	29,90	31,11	4,78	65,79
B <sub>t</sub>	13	0,50	0,86	2,76	29,73	28,05	31,66	6,44	66,15
B <sub>т1</sub>	–	0,45	0,53	3,09	35,02	27,69	29,10	4,12	60,91
3, Cal. (вейник тростниковидный)									
A <sub>1B</sub>	7	1,68	4,77	8,33	23,24	17,56	37,17	7,25	61,98
B <sub>t</sub>	9	0,40	0,87	7,44	23,15	22,65	37,16	8,33	68,14
B <sub>т1</sub>	–	0,16	0,29	4,34	25,47	27,39	35,28	7,07	69,74



Перераспределения обменных оснований в минеральном профиле почв не наблюдается (Табл. 8). Несколько выше содержание  $\text{Ca}^{2+}$  от 5,88 до 13,69 смоль·кг<sup>-1</sup> и  $\text{Mg}^{2+}$  от 3,15 до 6,25 смоль·кг<sup>-1</sup> в почве под луговиком.

Таблица 8. Химическая характеристика почв ельника черничного свежего (Кивач 2)

Номер площадки, тип пятна, горизонт, мощность, см	pH		N, %	C, %	C:N	Обменные основания, смоль·кг <sup>-1</sup>		Доступные, мг/100 г		Железо		
	KCl	H <sub>2</sub> O				Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	По Тамму, %	По Джексо-ну, %	
а 1, A.f. (луговик извилистый)												
A <sub>0</sub>	6	4,30	4,50	–	–	–	–	–	48,00	62,00	–	–
A <sub>1</sub> B	5	3,80	4,15	0,19	3,50	18,04	13,69	6,25	10,70	7,60	1,90	1,10
B <sub>1</sub>	6	3,60	4,20	0,07	1,09	15,41	5,88	5,47	9,20	8,90	2,34	0,90
B <sub>11</sub>	15	–	–	0,03	0,42	14,10	8,26	3,15	–	–	1,12	1,58
а 1, Cal. (вейник тростниковидный)												
A <sub>0</sub>	6	3,85	3,80	–	–	–	–	–	43,00	67,00	–	–
A <sub>1</sub> B	7	3,45	3,75	0,12	0,42	3,39	5,59	2,48	5,50	10,60	1,87	1,09
б 1, A.f. (луговик извилистый)												
A <sub>0</sub>	6	3,15	3,35	1,63	42,35	29,98	–	–	48,00	141,00	–	–
A <sub>1</sub> B	6	3,05	3,35	0,11	2,86	25,31	5,32	0,28	14,30	4,20	1,83	0,85
B <sub>1</sub>	7	3,50	3,80	0,06	1,03	16,89	3,91	2,30	30,00	5,60	1,59	0,76
B <sub>2</sub>	14	3,75	4,50	0,04	0,63	15,75	6,16	1,66	8,80	9,30	1,56	0,74
б 2, V.m. (черника)												
A <sub>0</sub>	5	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
A <sub>1</sub> B	4	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
B <sub>1</sub>	4	3,90	4,60	0,07	1,19	17,5	9,23	1,99	41,40	8,90	1,62	0,81
B <sub>11</sub>	22	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
3, V.m. (черника)												
A <sub>0</sub>	4	3,20	3,40	1,59	38,6	24,28	–	–	28,00	95,00	–	–
A <sub>1</sub> B	5	2,90	3,08	0,17	1,53	9,05	5,32	1,12	6,10	6,80	1,13	0,59
B <sub>1</sub>	13	3,40	3,65	0,08	1,22	15,94	4,61	2,14	21,70	5,90	1,54	0,82
B <sub>11</sub>	–	3,80	4,45	0,02	–	–	16,76	1,64	35,00	4,00	0,90	0,42
3, Cal. (вейник тростниковидный)												
A <sub>0</sub>	10	3,25	3,55	–	–	–	–	–	24,00	85,00	–	–
A <sub>1</sub> B	7	3,35	4,20	0,14	0,52	3,69	8,86	14,79	6,20	5,90	2,73	1,27
B <sub>1</sub>	9	4,15	4,65	0,07	0,31	4,25	10,63	0,66	11,80	6,20	1,76	0,84
B <sub>11</sub>	–	–	–	0,02	–	–	4,33	3,31	–	–	1,02	0,41

Биогенная аккумуляция фосфора и калия в подстилке несколько выше в почвах под луговиком на пробных площадках a1 и b1 (Табл. 8). Во всех почвах наблюдается аккумуляция фосфора в иллювиальных горизонтах. Характер профильного распределения подвижного железа своеобразен. Наибольшее количество отмечено в верхних горизонтах. Такой же характер распределения подвижных форм железа описан в работе И.П. Лазаревой (1973). Отношение C:N в подстилке 29,98%, в элювиальном горизонте 25,31%, в иллювиальных горизонтах 16,89% и 15,75% для пробной площадке b1 в почве под луговиком, в почве под черникой и вейником в элювиальном горизонте отношение C:N уже 9,5 и 3,69 соответственно.

Согласно типологии лесных земель О.Г. Чертова (1981) (Табл. 18), почвы участка Кивач 2 относятся к лесным землям на суглинках пылеватых (покровных и ленточных) бескарбонатных дренированных равнин и пологих склонов с ельниками черничными зеленомошными, а в частности, к грубогумусным подзолистым. «Лесным экосистемам на этих землях в процессе своего развития приходится преодолевать неблагоприятные физические условия местообитания. Поэтому процессы обезыливания почв здесь способствуют улучшению водно-физических свойств почв и условий дренажа и в итоге – большей реализации потенциального богатства плодородия», – отмечает автор.

### ***Почвенный покров ельника черничного свежего (Каскозеро)***

Морфологическое описание подзола иллювиально-железисто-гумусового оглеенного песчано-супесчаного на супесчаной завалуненной морене дано в таблице 9. Для этой почвы характерно сочетание подзолистого процесса с глеевым, который проявляется в нижних горизонтах. Высокий уровень стояния грунтовых вод и сезонное переувлажнение почвенного профиля являются причиной образования ржавых и сизых пятен. Подзолистый горизонт маломощный 3 см. Оподзоленность проявляется в виде отбеленных кварцевых зёрен. Горизонты уплотнены, в самом нижнем C<sub>g</sub> наблюдается некоторая цементация. Каменистость высокая по всему профилю.

Таблица 9. **Описание почвенного разреза ельника черничника свежего (Каскозеро)**

Горизонт, мощность, см	Цвет	Структура	Граница	Переход	Плотность	Включения		
						Корни	Особенности	
A <sub>0</sub>	0-9	бурый	–	ровная	заметный	–	есть	–
A <sub>2</sub>	9-12	светло-серый с розовым оттенком	непрочно плитчатая	волнистая	резкий	рыхлый	много	зёрна
B <sub>п</sub>	15-20	жёлто-бурый	плитчатая	волнистая	заметный	уплотнённый	много	–
B <sub>2</sub>	22-33	серовато-жёлтый	глыбисто-призмовидная	волнистая	заметный	уплотнённый	много	единичные камни
BC <sub>g</sub>	40-50	серовато-оливковый с ржавыми пятнами	глыбисто-призмовидная	ровная	постепенный	уплотнённый	единичные	единичные камни, щебень
C <sub>g</sub>	55-65	светло-серый с легким оливковым оттенком с ржавыми пятнами	глыбисто-ореховатая	–	–	плотный, некоторая цементация	–	крупные валуны, галька, щебень

Механический состав почв песчано-супесчаный, с очень низким содержанием илистых частиц. Наибольшее количество ила содержится в иллювиальном горизонте. Распределение физической глины по профилю носит аккумулятивный характер (Табл. 10). В основном почва состоит из фракций песка и крупной пыли.

Таблица 10. **Механический состав подзола иллювиально-железисто-гумусового оглеенного песчано-супесчаного на супесчаной завалуненной морене (Каскозеро)**

Горизонт	Глубина, см.	Содержание частиц в % к общему количеству мелкозёма (по фракциям)							
		0,5-1	0,25-0,5	0,05-0,25	0,01-0,05	0,01-0,005	0,001-0,005	<0,001	<0,01
A <sub>2</sub>	9-12	15,16	27,49	30,06	18,60	3,91	3,45	1,33	8,69
B <sub>п</sub>	15-20	22,50	25,37	30,95	11,70	3,03	4,05	2,40	9,48
B <sub>2</sub>	22-33	21,60	24,25	24,41	19,60	5,72	3,72	1,04	10,48
BC <sub>g</sub>	40-50	19,21	23,00	23,54	21,53	5,40	5,84	1,48	12,72
C <sub>g</sub>	55-65	28,03	21,34	21,12	17,92	4,31	5,30	1,68	11,29

Почва кислая, рН водный варьирует от 3,7 до 5,1;  $pH_{KCl}$  от 3,0 до 4,7, более низкой кислотностью характеризуется подзолистый горизонт (Табл. 11). Вниз по профилю кислотность падает. Профильное распределение обменных оснований характерное для подзолов: в лесной подстилке выше, в минеральных горизонтах резко снижается (Табл. 11). Аккумуляция подвижных форм калия и натрия наблюдается в подстилке в слаборазложившемся подгоризонте L, а по профилю распределение относительно равномерно. Гидролитическая и обменная кислотность снижается вниз по профилю. Степень насыщенности основаниями подстилки и верхних горизонтов 11,7-19,23%, иллювиального 5%, нижних возрастает до 19–31%.

Таблица 11. Химическая характеристика подзола иллювиально-железисто-гумусового оглеенного песчано-супесчаного на супесчаной завалуненной морене (Каскозеро)

Горизонт	Глубина, см	рН		С		ГК	Обменная кислотность		Обменные основания		Подвижные, мг/100 г	
		H <sub>2</sub> O	KCl	%			смоль·кг <sup>-1</sup>				K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O
						H <sup>+</sup>	Al <sup>3+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>			
L	0-3	3,90	3,20	26,70	82,70	135,60	5,60	1,20	17,00	8,00	82,68	41,02
F	3-8	3,50	3,00	26,40	82,03	153,10	5,80	4,20	14,00	13,50	18,42	9,47
FH	8-9	3,80	3,00	21,20	78,41	105,00	3,60	4,00	15,00	10,00	17,38	9,01
A <sub>2</sub>	9-12	3,70	3,20	1,20	4,37	11,30	0,30	2,30	0,80	0,70	4,40	2,27
B <sub>fh</sub>	15-20	4,40	4,10	3,68		24,30	0,20	3,30	0,90	0,60	1,45	4,92
B <sub>2</sub>	22-33	5,10	4,70	0,24		5,70	0,04	0,50	1,20	0,20	0,29	1,62
BC <sub>g</sub>	40-50	5,00	4,40	следы		3,10	0,04	0,48	1,00	0,40	0,44	1,98
C <sub>g</sub>	55-65	5,00	4,50	следы		2,20	0,04	0,56	–	–	0,91	1,79

Почва участка Каскозеро, согласно О.Г. Чертову (Табл. 18), относятся к подгруппе лесных земель на супесях разного генезиса дренированных равнин и склонов различной крутизны с ельниками черничными, в частности к грубогумусовой подзолистой. Уровень залегания грунтовых вод не играет решающей роли в формировании водного режима этих земель. Сочетание достаточного богатства и влагоемкости материнской породы с глубоким свободным дренажом почвы создает возможности для максимальной реализации потенциального плодородия породы. Как заключает автор, “лесные земли имеют довольно сложную внутреннюю структуру в отношении гумусового состояния, связанную с некоторой

неоднородностью гидрологического режима и динамикой растительности”. Лесные экосистемы этих земель обладают довольно высокой устойчивостью к нарушающим антропогенным воздействиям и большой скоростью восстановления почв и растительности.

### ***Почвенный покров ельника черничного влажного (Климецкий)***

Почвы ельника черничного влажного на участке Климецкий представлены вариацией подбуров оподзоленных, подзолов иллювиально-железистых и иллювиально-гумусово-железистых на песчаной морене, усложнены пятнами торфяно-глеевых и щебнистых почв. Морфологическое описание подзола иллювиально-железистого песчаного на песчаной завалуненной морене дано в таблице 12. Подзолы иллювиально-железистые имеют профиль с четкой дифференциацией на горизонты. Подзолистый горизонт мощностью 7 см светло-серого цвета, под которым расположен иллювиальный горизонт буроватых оттенков, затем окраска бледнеет. Горизонты уплотнены. По всему профилю встречаются камни. Механический состав почвы песчаный (Табл. 13). Подзолистый горизонт обеднен илом 0,88%, в нижних горизонтах содержание ила увеличивается до 1,38%. Содержание физической глины также увеличивается по профилю от 7,02% до 8,86%, с незначительным понижением в иллювиальном горизонте до 5,56%. В основном почва состоит из песка и крупной пыли.

Таблица 12. **Описание почвенного разреза ельника черничника свежего (Климецкий)**

Горизонт, мощность, см		Цвет	Структура	Граница	Переход	Плотность	Включения	
							Корни	Особенности
A <sub>0</sub>	0-8	светло-бурый	–	ровная	заметный	–	густо переплетён	–
A <sub>2</sub>	8-15	светло-серый	мелко-глыбистая	волнистая	резкий	уплотненный	много	камни
B <sub>hf</sub>	15-33	жёлто-бурый	мелко-глыбистая	волнистая	постепенный	уплотнённый	много	камни

Горизонт, мощность, см	Цвет	Структура	Граница	Переход	Плотность	Включения		
						Корни	Особенности	
B <sub>2</sub>	33-65	буровато-жёлтый	глыбисто-призмовидная	волнистая	заметный	уплотнённый	много	единичны камни
BC	65-↓	серовато-жёлтый	непрочно комковатый	волнистая	постепенный	плотный	единичны	единичны камни

Таблица 13. **Механический состав подзола иллювиально-железистого песчаного на песчаной завалуненной морене (Климецкий)**

Горизонт	Глубина, см	Содержание частиц в % к общему количеству мелкозёма (по фракциям)							
		0,5-1	0,25-0,5	0,05-0,25	0,01-0,05	0,01-0,005	0,001-0,005	<0,001	<0,01
A <sub>2</sub>	8-15	18,31	27,29	28,37	19,01	3,63	2,51	0,88	7,02
B <sub>f</sub>	15-33	26,88	28,46	25,37	13,73	2,31	2,13	1,12	5,56
B <sub>2</sub>	33-65	26,95	24,95	23,81	15,44	3,86	3,90	1,09	8,85
BC	65-↓	29,44	25,95	21,05	14,72	3,49	3,97	1,38	8,84

Подзол иллювиально-железистый характеризуются высокой кислотностью. Особо низкие значения рН<sub>KCl</sub> отмечены в лесной подстилке 2,9-3,0 и в подзолистом горизонте 3,2 (Табл. 14). В иллювиальном горизонте величина кислотности повышается до 4,7 рН<sub>KCl</sub>. Профильное распределение обменных оснований характерно для подзолов. В лесной подстилке содержание обменных оснований 10-15 смоль·кг<sup>-1</sup>, затем резко снижается до 0,3-0,6 смоль·кг<sup>-1</sup>. Содержание углерода по профилю падает до 0,48%. В подзолистом горизонте углерод обнаружен в следовых количествах. Аккумуляция подвижных форм калия и натрия наблюдается в подстилке в слаборазложившемся подгоризонте L 62,64 мг/100 г и 14,68 мг/100 г, а по профилю распределение относительно равномерно. Почвы бедны азотом: от 1,07% в подстилке до 0,056% в минеральных горизонтах (Федорев и др., 2000). Отношение C:N в подстилке 33,14. Степень насыщенности основаниями в подстилке и верхних горизонтах 14-19%, в иллювиальном – 11%, в нижних – падает до 3–5%. Исследуемая почва почти по всем параметрам совпадает с ранее изученными подзолами иллювиально-железистыми (Морозова, 1991; Федорев и др., 2000).

Таблица 14. Химическая характеристика подзола иллювиально-железистого песчаного на песчаной завалуненной морене (Климецкий)

Горизонт	Глубина, см	рН		С, %	ППП, %	Н	Обменная кислотность		Обменные основания,		Подвижные, мг/100 г	
		H <sub>2</sub> O	KCl				смоль·кг <sup>-1</sup>					
						H <sup>+</sup>	Al <sup>3+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	
L	0-4	3,60	3,00	23,20	80,95	131,30	7,00	4,00	10,00	12,50	62,64	14,68
F	4-8	3,70	2,90	21,00	73,34	131,30	5,40	1,60	15,00	15,00	18,18	7,58
A <sub>2</sub>	8-15	3,90	3,20	следы	—	4,80	0,16	1,80	0,50	0,30	0,28	1,97
B <sub>f</sub>	15-33	4,90	4,70	0,78	—	7,40	0,12	0,28	0,60	0,30	0,62	1,56
B <sub>2</sub>	33-65	5,40	5,40	0,48	—	3,10	0,08	0,04	0,50	0,50	0,40	1,24
BC	65-↓	5,30	4,90	следы	—	1,90	0,06	0,10	0,60	0,40	0,26	1,98

### Почвенный покров производного типа леса (Гомсельга)

Производный тип леса произрастает на подзоле иллювиально-железисто-гумусовом на пылевато-песчаной морене. Морфологическое описание почвы дано в таблице 15. Мощность подзолистого горизонта варьирует до 10 см, окрашен в серый цвет, ниже идут иллювиальные горизонты буроватых оттенков, затем окраска бледнеет. Верхние горизонты уплотнены, нижние плотные. В подстилке и иллювиальном горизонте встречается галька. Механический состав почвы пылевато-песчаный (Табл. 16). Подзолистый горизонт обеднен илом 0,55%, в нижних горизонтах содержание ила увеличивается до 6,49%. В основном почва состоит из песка и пыли.

Таблица 15. Описание почвенного разреза производного типа леса (Гомсельга)

Горизонт, мощность, см	Цвет	Структура	Граница	Переход	Плотность	Включения		
						Корни	Особенности	
A <sub>0</sub>	0-5	черный	—	волнистая	ясный	—	густо переплетён	галька
A <sub>2</sub>	5-15	серый	ореховато-зернистая	волнистая	ясный	рыхлый	мало	—
B <sub>ph</sub>	25-30	желтовато-бурый	ореховато-зернистая	волнистая	заметный	уплотнённый	мало	галька
B <sub>f</sub>	45-55	светло буровато-серый	ореховатая	волнистая	ясный	плотный	мало	—
BC	46-63	серовато-бурый	плитчато-глибистая	—	—	плотный	единичны	—

Таблица 16. Механический состав подзола иллювиально-железисто-гумусового на пылевато-песчаной морене (Гомсельга)

Горизонт	Мощность, см	Размер частиц, мм; содержание фракций, %					
		0,25-1	0,25-0,5	0,01-0,05	0,05-0,001	0,001-0,005	<0,001
A <sub>2</sub>	5-15	74,57	14,43	4,44	0,50	5,51	0,55
B <sub>th</sub>	25-30	2,02	43,00	6,90	6,50	2,50	0,40
B <sub>f</sub>	45-55	40,70	61,88	19,29	6,40	3,92	6,49
BC	75-85	1,00	75,33	16,59	1,15	2,52	3,42

Подзол иллювиально-железисто-гумусовый характеризуется слабой кислотностью. Более низкое значение pH водной отмечено в подзолистом горизонте (Табл. 17). Профильное распределение обменных оснований характерно для подзолов. В лесной подстилке содержание обменных оснований 45 смоль·кг<sup>-1</sup>, затем резко снижается до 0,04-2,0 смоль·кг<sup>-1</sup>. Содержание углерода в иллювиальном горизонте 2,62%. В подстилке подвижного фосфора содержится 70 мг/100 г, обменного калия – 4,31 мг/100 г. В профиле почвы содержание подвижного фосфора увеличивается от 1,98 до 23,90 мг/100 г, содержание обменного калия в иллювиальных горизонтах снижается от 2 до 0,8 мг/100 г, затем увеличивается до 1,4 мг/100 г. Почвы бедны азотом от 0,84% в подстилке до 0,02% в минеральных горизонтах. Отношение C:N в подстилке 57,50, в подзолистом горизонте 8, в иллювиальном 16,38. Степень насыщенности основаниями подстилки 54%, подзолистого горизонта 2%, иллювиально-железисто-гумусового 5%, иллювиально-гумусового 42%, переходного 50%.

Таблица 17. Химическая характеристика подзола иллювиально-железисто-гумусового на пылевато-песчаной морене (Гомсельга)

Горизонт	Мощность, см	pH, H <sub>2</sub> O	C	N	C/N	ГК	Сумма обменных оснований	Содержание подвижного фосфора	Содержание обменного калия
			%	смоль·кг <sup>-1</sup>			мг/100 г		
A <sub>0</sub>	0-5	5,70	48,30	0,84	57,50	38,00	45,00	70,00	4,31
A <sub>2</sub>	5-15	5,45	0,16	0,02	8,00	1,68	0,04	1,98	2,00
B <sub>th</sub>	25-30	5,65	2,62	0,16	16,38	6,40	0,40	2,30	1,60
B <sub>f</sub>	45-55	5,62	0,82	0,09	9,11	2,69	1,95	5,65	0,80
BC	75-85	5,30	0,24	0,04	0,06	1,98	2,00	23,90	1,40



Из литературных источников известно (Александрова, 1980 и др.), что гумус подзолистых песчаных и супесчаных почв обладает высокой подвижностью, особенно он подвижен в иллювиальных горизонтах. В подзолистом горизонте органическое вещество еще более подвижно. Для органического вещества подзолов еловых насаждений характерно полное отсутствие гуминовых и фульвокислот, связанных с кальцием, и очень незначительно содержание или полное отсутствие гуминовых и фульвокислот, прочно связанных с полуторными окислами. Таким образом, в подзолах как гуминовые, так и фульвокислоты представлены подвижными формами, связанными с полуторными окислами или находящимися в свободном состоянии. Это хорошо подтверждается и содержанием подвижных полуторных окислов, распределение которых по профилю почвы совпадает с распределением органического вещества. В составе гумуса минеральных горизонтов преобладают фульвокислоты.

Таблица 18. **Систематический список лесных земель**  
(согласно О.Г. Чертову, 1981)

Типы земель	Почвы	Типы леса	Средняя высота 80-летних древостоев, м
Пески разного генезиса дренированных равнин и склонов	Грубогумусные подзолы и подзолистые	Ельники чернично-зелено-мошные	18
Супеси разного генезиса дренированных равнин и склонов	Грубогумусные подзолистые	Ельники черничные, чернично-кисличные	18
Суглинки моренные бескарбонатные дренированных равнин и пологих склонов	Грубогумусные и модергрубогумусные подзолистые	Ельники черничные, чернично-кисличные	20
Суглинки пылеватые (покровные и ленточные) дренированных равнин и пологих склонов	Грубогумусные подзолистые	Ельники черничные	20

Почвы участков Климецкий, Гомсельга, согласно О.Г. Чертову (1981) (Табл. 18), относятся к подгруппе лесных земель на песках разного генезиса дренированных равнин и склонов с ельниками чер-

ничными и чернично-кисличными, в частности, к грубогумусовым подзолистым. Меньшая мощность породы при залегании на водоупорном материале и равнинный рельеф определяют характер водного режима. Сквозное промачивание и нисходящий ток почвенного раствора – главные условия формирования почв. При этом мощность подзолистого горизонта отражает особенности гидрологического режима: чем глубже грунтовые воды, тем подзолистый горизонт меньше. Лесные экосистемы имеют большую скорость восстановления растительности и почв после различных нарушений, а сами почвы обладают сравнительно высокой буферной способностью благодаря большей физико-химической и биохимической емкости аккумулятивной части профиля, что повышает устойчивость экосистем к антропогенным воздействиям (Чертов, 1981).

Таким образом, почвенный покров ельников черничных и производного типа леса характеризуется пространственной неоднородностью, вызванной хорошо развитым микрорельефом, парцеллярным строением напочвенного покрова, древесным ярусом и другими факторами. Наиболее сложное строение почв – в ельнике черничном влажном, развивающемся в переходных условиях увлажнения от сухих к влажным. Установлена высокая вариабельность химических свойств почв в пределах одного типа леса, связанная с изменчивостью экологических условий.

Влияние древесного яруса и состава напочвенной растительности сказывается в основном на самых верхних горизонтах лесной подстилки и почвы. Микрорельеф оказывает глубокое влияние на морфологические и химические свойства почв (Морозова, Федорец, 1992).

### Литература

- Александрова Л.Н. Органическое вещество почвы и процессы его трансформации. Л.: Наука, 1980, 287 с.
- Володин А.М. К вопросу изучения почвообразующих пород тяжелого механического состава // Учен. зап. Петрозаводск. Гос. ун-та. Т. 15. вып. 3, 1969. С. 138-142
- Зонн С.В., Карпачевский Л.О. Сравнительно-генетическая характеристика подзола, дерново-подзолистой и серой лесной почвы // Новое в теории оподзоливания и осолодения почв. М.: Наука, 1964. С. 5-44.
- Зонн С.В., Лазарева И.П. О генетических особенностях почв на ленточных глинах в Карелии // Почвенные исследования в Карелии. Петрозаводск, 1974. С. 12-22.

- Иванова Е.Н. Классификация почв СССР. М.: Наука, 1976. С. 104-144.
- Казимиров Н.И. Ельники Карелии. Л.: Наука, 1971, 140 с.
- Касаткина Г.А. Особенности почвообразования в условиях сельгового ландшафта Карельского перешейка: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Санкт-Петербург, 1993, 24 с.
- Лазарева И.П. Генетические особенности почв на ленточных глинах в Карельской АССР // Почвы Карелии и пути повышения их плодородия. Петрозаводск, 1971. С. 33-38.
- Лазарева И.П. Влияние рельефа на режим влажности почв еловых лесов в заповеднике "Кивач" // Тр. гос. заповедника "Кивач". вып. 2, 1973. С. 202-208.
- Левкина Т.И., Яковлев Ф.С. Взаимоотношение растительности и почв в ельниках заповедника «Кивач.» // Плодородие почв Карелии. М.-Л.: Наука, 1965. С. 5-19.
- Марченко А.И. Почвы Карелии. М.-Л.: Изд-во АН СССР, 310 с.
- Морозова Р.М., Егорова Н.В., Куликова В.К. Особенности почвообразования под березовыми и еловыми лесами средней тайги. // Почвы Карелии и пути повышения их плодородия. Петрозаводск, 1971. С. 5-16.
- Морозова Р.М., Еруков Г.В., Куликова В.К., Стрелкова А.А. Подзолистые почвы Карельской АССР. // Подзолистые почвы северо-запада европейской части СССР. М., 1979. С. 22-105.
- Морозова Р.М., Казимиров Н.И. Биологический круговорот веществ в средневозрастном ельнике черничном. // Вопросы лесоведения и лесоводства в Карелии. Петрозаводск, 1975. С. 51-78.
- Морозова Р.М. Лесные почвы Карелии. Л.: Наука, 1991, 184 с.
- Морозова Р.М., Федорец Н.Г. Современные процессы почвообразования в хвойных лесах Карелии. Петрозаводск, 1992, 284 с.
- Таргульян В.О. Почвообразование и выветривание в холодных гумидных областях. М.: Наука, 1971, 286 с.
- Федорец Н.Г., Морозова Р.М., Синкевич С.М., Загуральская Л.М. Оценка продуктивности лесных почв Карелии. Петрозаводск, 2000, 194 с.
- Чертов О.Г. Экология лесных земель. Л.: Наука, 1981, 190 с.

# **Почвенный покров Корзинской низины в новой классификации почв России**

И.А. Дубровина

*Институт биологии КарНЦ РАН, Петрозаводск, Россия*

## **Введение**

Почвенное картографирование – основа рационального землепользования и оценки земель. В связи с этим особое значение имеет адекватное отображение почвенного покрова территории, которое, в свою очередь, зависит от классификации почв, которая используется при почвенной съёмке. В настоящее время в России в качестве нормативного документа используется “Классификация и диагностика почв СССР” (1977), которая не вполне отвечает современному уровню знаний о почвах страны. Ее объективные недостатки – закрытость для почв, не вписывающихся в образ зональных типов, а также отсутствие в её составе почв неземледельческих территорий страны. Главной проблемой с точки зрения необходимости оценки почвенных ресурсов представляется то, что в ней слабо и непоследовательно отражены антропогенно-преобразованные почвы. В большинстве случаев старая классификация использует для коренным образом преобразованных человеком почв названия естественных зональных аналогов, которые принципиально отличаются по свойствам от антропогенных почв. В новой “Классификации и диагностики почв России” (2004) основой для диагностики и идентификации почв является система естественных и антропогенно-преобразованных генетических горизонтов, выделяемых по сумме субстантивных признаков и свойств, обусловленных формирующими их процессами. При этом факторы почвообразования учитываются при диагностике почв лишь в той мере, в какой они отражаются в субстантивных свойствах почв. Важнейшим нововведением классификации является присутствие на различных, в том числе высших таксономических уровнях антропогенно-преобразованных почв. Объектом почвенного картографирования являются также техногенные поверхностные образования – искусственные почвы или грунты, которые не входят в единую систему классификации. Для них разработана своя номенклатура и субстантивная диагностика.

Представленный материал является первым опытом проведения почвенной съемки с использованием “Классификации и диагностики почв России” (2004) в отдельно взятом хозяйстве. Этот опыт выявил существенную разницу в содержании компонентного состава почвенного покрова, что обусловлено двумя причинами: различными принципами диагностики почв по старой и новой классификации и реальной трансформацией почвенного покрова во времени.

### **Объекты и методы**

Работа выполнена на участке землепользования хозяйства “Эс-сойла”, расположенного в среднетаежной зоне Карелии. Данное хозяйство находится в южном агроклиматическом районе Карелии, характеризующимся мягкой и короткой зимой и относительно длительным и солнечным вегетационным периодом (Агроклиматические ресурсы Карельской АССР, 1974; Атлас Карельской АССР, 1979).

Непосредственным объектом полевых работ является Корзинская низина с болотным массивом Льеже-суо, которая представляет собой западный сектор Шуйской аккумулятивной озерно-ледниковой впадины и небольшой участок всхолмленной моренной равнины, примыкающей к Корзинской низине с запада. В основании торфяных болот залегают озерно-ледниковые ленточные глины. В западной части территории с расчлененным рельефом в виде озовых и камовых холмов, почвообразующими породами являются песчаные и супесчаные моренные и флювиогляциальные отложения (Елина, 1977; Козлов и др., 1982). Осушение центральной части Корзинской низины с мощной торфяной залежью было начато в 1962 г. Участок в основном осушен с использованием дрен, расстояние между которыми составляет 20 и 40 метров. Строительная глубина дрен 1,2-1,4 метра. Осушенное болото использовалось под многолетние травы. Исследования проводились на площади 1844 га, включающей как осушенный торфяной массив, так и прилегающий участок оза. Использовалась методика крупномасштабной почвенной съемки (Почвенная съёмка, 1959; Составление крупномасштабных почвенных карт с показом структуры почвенного покрова, 1989). На изучаемой территории было заложено 49 почвенных разрезов с учетом имеющихся почвенных контуров карты

ГИПРОЗЕМа 1979 года и мелиоративной сети. Привязка разрезов к местности произведена с использованием GPS.

### **Результаты и обсуждение**

Вначале дадим краткую характеристику почвенного покрова изучаемой территории в старой классификационной системе. Почвы принадлежат к четырем типам почв согласно “Указаниям по классификации и диагностике почв” 1967 года: подзолистые, болотно-подзолистые и торфяные мелиорированные (низинные и переходные).

На наиболее дренированных поверхностях вершин и склонов холмов выделены так называемые зональные почвы, в качестве которых выступают дерново-подзолистые почвы. Отнесение данных почв к дерново-подзолистым, а не к подзолистым (по “Указаниям по классификации и диагностике почв” 1967 года в средней тайге должны быть подзолистые почвы) вызвано их распашкой и формированием пахотного горизонта, который рассматривался как аналог естественного аккумулятивно-гумусового горизонта. Дальнейшее разделение этих почв производилось по степени выраженности подзолистого горизонта на средне- и слабоподзолистые. Отражался также гранулометрический состав почв и подстилающих пород. Дерново-, средне- и слабоподзолистые почвы в основном супесчаного и легкосуглинистого гранулометрического состава, развитые на озерно-ледниковых песках, супесях и суглинках приурочены к пологим склонам грядобразных повышений, к сглаженным вершинам холмов и гряд.

По мере нарастания гидроморфизма в мезопонижениях показаны дерново-подзолистые глееватые и глеевые почвы, относящиеся к болотно-подзолистому типу. Дерново-подзолисто-глееватые легкосуглинистые и суглинистые на озерно-ледниковых суглинках и ленточных глинах приурочены к плоско-равнинным участкам. Дерново-подзолисто-глеевые различного гранулометрического состава, сформированные в основном на ленточных глинах приурочены к пониженным равнинным участкам. На плоских слабо дренированных поверхностях в микропонижениях (в западинах и ложбинах) показаны торфянисто-подзолисто-глееватые и торфяно-подзолисто-глеевые почвы.

Наконец, наименее дренированные мезопонижения Корзинской низины заняты болотными почвами. На Корзинской низине выделены болотные низинные и переходные – остаточнo-низинные засфагненные с различной мощностью органогенного горизонта и торфяной залежи (торфянисто-глеевые, торфяно-глеевые, торфяные мало- и среднемощные и мощные) и различной степени разложения торфа (торфяные и торфяно-перегнойные). Болотные низинные торфянисто-глеевые и торфяно-глеевые почвы приурочены к замкнутым понижениям рельефа. Болотные низинные торфяные почвы разной мощности развиты во впадинах, древнеозерных равнинах. Переходные – остаточнo-низинные засфагненные болотные почвы образуются из болотных низинных почв при потере верхними органогенными горизонтами связи с минерализованными грунтовыми водами. Они приурочены к замкнутым понижениям рельефа. Ряд авторов (Бухман и др., 1967; Елина и др., 1984; Лопатин, 1973) выделяют переходные болотные почвы в отдельный тип, в отличие от официальных источников, где они выделяются как подтип болотных низинных почв (Классификация и диагностика почв СССР, 1977; Указания по классификации и диагностике почв, 1967; Указания по диагностике подзолистого и болотно-подзолистого типов почв по степени оглеенности, 1982). На карте 1979 года они также выделены в отдельный тип – торфяные переходные.

Отметим также, что дерново-подзолистые почвы и их глееватые и глеевые аналоги показаны на субстратах, гранулометрический состав которых колеблется от песков до тяжелых суглинков. Между тем, в официальной классификации (Указания по классификации и диагностике почв, 1967; Классификация и диагностика почв СССР, 1977) предусмотрено разделение подзолистых и дерново-подзолистых почв на уровне рода на собственно дерново-подзолистые почвы (на суглинисто-глинистых отложениях) и иллювиально-железистые и иллювиально-гумусовые (на песчано-супесчаных отложениях). Кроме того, не использованы выделенные в официальной классификации дерново-подзолистые почвы, используемые в земледелии и культурные дерново-подзолистые почвы. По существу, на карте 1979 года отображен не реальный, а гипотетический восстановленный естественный почвенный покров.

В ходе полевого обследования были зафиксированы генетические изменения почв во времени под влиянием природных и антропогенных факторов. Наши полевые исследования показали, что строение профиля большинства автоморфных и полугидроморфных почв, формирующихся на холмистой равнине, примыкающей с запада к Корзинской низине, не соответствует диагностике дерново-подзолистых, а также дерново-подзолистых глееватых и глеевых почв. Во всех этих почвах отсутствует относительно тяжелый, с ореховато-призматической структурой текстурный горизонт – основной диагностический показатель дерново-подзолистых, подзолистых почв. Кроме того, во многих почвах запахивается осветленный элювиальный или подзолистый горизонт, на месте которого сформировался агрогенно-преобразованный горизонт. В первом случае, почвы, обозначены как дерново-подзолистые и их полугидроморфные аналоги, согласно новой классификации (Классификация и диагностика почв России, 2004), идентифицируются как серия различных элювоземов, а во втором – агроземов. На территории исследования имеют место агроземы светлые и агроземы альфегумусовые. Естественная почва, расположенная под лесом, относится к дерново-подзолам.

На территории исследования имеют место агроземы светлые (с агрогумусовым горизонтом), в профиле которых специфический срединный горизонт либо залегает непосредственно на почвообразующей породе, либо на частично припаханном иллювиально-железистом горизонте. Ниже приводятся морфологическое описание, данные агрохимических анализов и гранулометрического состава наиболее характерных почв выделенных типов.

Разрез 35. Заложен на пологом склоне, пашня.

P1, 0-22 см – темно-серый, рыхлый, оземленный супесчаный горизонт, свежий, комковатый. Переход постепенный по цвету, граница ровная.

P2, 22-35 см – коричнево-серый, рыхлый, песчано-супесчаный горизонт, свежий, комковатый. Переход постепенный по цвету, граница ровная.

C, 35-70 см – серо-желтая, уплотненная, песчано-супесчаная порода, с 60 см – ржавые пятна. Свежий, структура плитчатая.



Почва: Агрозем светлый типичный глубокопахотный супесчаный на озерно-ледниковых песках и супесях.

Разрез 34. Заложен на вершине холма, пашня.

P1, 0-15 см – темно-серый, рыхлый песчаный горизонт, свежий, комковатый, содержит много корней. Переход постепенный по цвету, граница слабоволнистая.

P2, 15-30 см – серый с желтыми пятнами, рыхлый песчаный горизонт, свежий, комковатый, содержит материал нижележащего горизонта и древесный уголь. Переход резкий по цвету, граница слабоволнистая.

BF, 30-43 см – охристо-желтый, рыхлый песчаный горизонт, свежий, структура призматическая, содержит округлые агрегаты 1-3 мм в диаметре. Переход постепенный по цвету, граница волнистая.

BC, 43-70 см – желтовато-серый, рыхлый песчано-супесчаный горизонт, свежий, структура призматическая, содержит округлые агрегаты до 1 мм в диаметре. Переход ясный по цвету и плотности, граница волнистая.

C, 70-90 см – белесовато-серый, уплотненный супесчаный горизонт, свежий, структура плитчатая.

Почва: Агрозем альфегумусовый иллювиально-железистый глубокопахотный песчаный на озерно-ледниковых песках и супесях.

В отличие от агроземов, элювоземы имеют осветленный элювиальный горизонт, сменяющийся почвообразующей или подстилающей породой. Чаще всего они формируются на неоднородных, обычно слоистых по гранулометрическому составу отложениях.

Разрез 33. Заложен на вершине холма, пашня.

P1, 0-12 см – серый, рыхлый, гумусированный супесчаный горизонт, свежий, комковатый. Переход постепенный, граница ровная.

P2, 12-22 см – серый, с включениями оземленного торфа и нижележащего горизонта рыхлый супесчаный горизонт, свежий, бесструктурный. Переход резкий по цвету и плотности, граница слабоволнистая.

EL, 22-33 см – белесовато-серый, уплотненный суглинисто-супесчаный горизонт, свежий, структура плитчато-чешуйчатая. По граням структурных отдельностей мелкие конкреции, местами

прокрашена желтизна, иногда видна слоистость. Переход ясный по цвету, граница слабоволнистая.

C1, 33-70 см – неоднородно окрашенный, уплотненный слоистый горизонт. Чередуются слои серовато-бурого суглинка мощностью до 3 см и более светлого супесчано-суглинистого материала мощностью до 5 см. Переход постепенный по цвету, граница слабоволнистая.

C2, 70-90 см – слоистый, светло-серый супесчаный материал.

Почва: Агродерново-элювозем типичный среднепахотный мелкоэлювиальный супесчаный на двучленных отложениях.

Описанные агроземы характеризуются легким гранулометрическим составом. Элювиально-иллювиальная дифференциация их профиля по илу отчетливо не выражена. Профиль элювозема отличается слоистостью почвообразующего субстрата и более тяжелым супесчано-суглинистым гранулометрическим составом (Табл. 1). Почвы характеризуются кислой или слабо кислой реакцией среды и высоким содержанием органического вещества в агрогоризонтах при низком содержании общего азота (Табл. 2).

С более сложной проблемой мы столкнулись при сравнительном анализе почвенного покрова непосредственно Корзинской низины с ее плоским рельефом, способствующему заболачиванию территории. В ходе исследований мы обнаружили не только и не столько несоответствие строения профиля с их идентификацией по старой классификации, сколько с реальным изменением содержания многих почвенных контуров за счет осушительной мелиорации, сопровождающейся строительством сети открытого дренажа, а также частичной сработкой торфа. В результате болотно-подзолистые почвы, а также торфяные почвы переходных болот, с мощностью торфа не превышавшей 30-50 см, мы идентифицировали как агроземы окисленно-глеевые, агроземы торфяные окисленно-глеевые и агроземы торфяно-минеральные окисленно-глеевые.

Разрез 15. Заложен на плоском равнинном участке, многолетние травы.

Р<sub>аг1</sub>, 0-20 см – темно-серый, рыхлый горизонт, содержит корни и включения глеевого горизонта, свежий, комковатый. Переход резкий по цвету и текстуре, граница ровная.

**Таблица 1. Гранулометрический состав, % от абсолютно сухой почвы**

Гори-зонт	Глубина отбора, см	Содержание частиц, мм							
		1-0,5	0,5-0,25	0,25-0,05	0,05-0,01	0,01-0,005	0,005-0,001	< 0,001	< 0,01
Разрез 35. Агрозем светлый типичный супесчаный на озерно-ледниковых песках и супесях									
P1	0-22	7	8	44	30	2	2	7	11
P2	22-35	7	7	60	17	2	1	6	9
C	35-70	15	10	60	8	2	1	4	7
Разрез 34. Агрозем альфегумусовый иллювиально-железистый песчаный на озерно-ледниковых песках и супесях									
P1	0-15	13	31	27	25	1	1	2	4
P2	15-30	9	27	31	25	4	2	2	8
BF	30-43	0	21	54	19	2	1	3	6
BC	43-70	0	4	65	26	1	2	2	5
C	70-90	1	2	43	39	5	6	4	15
Разрез 33. Агродерново-элювозем типичный супесчаный на двучленных отложениях									
P1	0-12	8	23	20	33	8	6	2	16
P2	12-22	9	14	23	37	4	9	4	17
EL	22-33	2	3	27	48	8	8	4	20
D1	33-70	1	2	25	44	8	12	8	28
D2	70-90	0	1	19	64	8	6	2	16
Разрез 15. Агрозем светлый агрогетерогенный окисленно-глеевый суглинистый на ленточных глинах									
Pagr1	0-20	5	9	19	18	11	30	8	49
Pagr2	20-28	12	8	16	15	10	30	9	49
Cgox	28-55	2	3	19	6	9	44	17	70
Разрез 11. Реплантозем торфяно-глинистый окисленно-глеевый на ленточных глинах									
1 слой	0-15	2	4	20	14	9	40	11	60
2 слой	15-45	1	1	52	13	6	19	8	33
3 слой	45-65	2	7	23	11	8	39	10	57
Gox	65-70	1	2	20	6	9	45	17	71

**Таблица 2. Физико-химические и химические свойства почв**

Гори-зонт	Глубина отбора, см	pH сол	Hг	H <sup>+</sup> +Al <sup>3+</sup> мг-экв / 100 г	N		C	C : N	Зольность %	Обменные основания мг-экв / 100 г		
					%	C				Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Сумма
Разрез 35. Агрозем светлый типичный супесчаный на озерно-ледниковых песках и супесях												
P1	0-22	5,2	3,7	0,7	0,4	2,2	5,5	—	5,5	2,0	7,5	
P2	22-35	5,6	0,9	0,6	0,3	2,1	7,0	—	0,3	сле-ды	3,0	
C	35-70	5,3	0,7	0,5	—	0,3	—	—	0,3	0,5	3,3	

Горизонт	Глубина отбора, см	pH сол	Hr	H <sup>+</sup> +Al <sup>3+</sup> мг-экв / 100 г	N		C	C : N	Зольность %	Обменные основания мг-экв / 100 г		
					%					Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Сумма
Разрез 34. Агрозем альфегумусовый иллювиально-железистый песчаный на озерно-ледниковых песках и супесях												
P1	0-15	5,5	3,8	0,8	0,4	6,1	15,3	–	18,5	31,1	21,6	
P2	15-30	5,9	2,5	0,6	0,4	6,4	16,0	–	28,9	4,1	33,0	
BF	30-43	5,8	1,3	0,5	–	1,1	–	–	5,0	0,5	5,5	
BC	43-70	5,8	1,0	0,6	–	0,8	–	–	7,5	0,5	8,0	
C	70-90	5,8	1,3	0,5	–	0,9	–	–	4,0	1,5	5,5	
Разрез 33. Агродерново-элюозем типичный супесчаный на двучленных отложениях												
P1	0-12	5,3	4,4	0,6	0,3	4,2	14,0	–	17,5	2,1	19,6	
P2	12-22	5,6	2,8	0,5	0,3	3,9	13,0	–	15,4	2,1	17,5	
EL	22-33	4,7	1,3	0,6	–	0,3	–	–	5,0	1,0	6,0	
D1	33-70	4,6	1,6	0,7	–	0,3	–	–	5,1	1,0	6,1	
D2	70-90	4,2	1,6	0,8	–	0,4	–	–	5,0	1,0	6,0	
Разрез 15. Агрозем светлый агрогетерогенный окисленно-глеевый суглинистый на ленточных глинах												
Pagr1	0-20	6,0	1,9	0,3	0,5	6,4	12,8	–	9,5	1,1	10,6	
Pagr2	20-28	5,4	3,5	0,7	0,4	5,9	14,8	–	12,1	1,1	13,2	
Cgox	28-55	5,0	3,2	0,7	–	2,0	–	–	3,1	1,1	4,2	
Разрез 16. Агрозем торфяно-минеральный окисленно-глеевый на ленточных глинах												
PTR1	0-15	5,6	4,1	0,6	0,6	11,4	19,0	76,4	17,1	2,1	19,2	
PTR2	15-30	5,2	5,0	0,6	0,6	10,6	17,7	86,2	13,9	2,3	16,2	
Gox	30-55	4,6	2,2	0,6	–	0,8	–	–	4,0	сле- ды	4,0	
Разрез 22. Торфяная эуτροφная деструктивная среднemocная												
TEmd	0-15	4,6	41,8	0,9	2,8	38,7	13,8	13,9	32,8	5,6	38,4	
TT	130	4,2	49,9	2,1	2,4	40,2	16,8	6,4	12,8	2,5	15,3	
Разрез 14. Торфозем агроминеральный окисленно-глеевый маломocный												
PTR	0-25	3,6	24,6	1,8	1,0	19,6	19,6	60,7	12,0	3,3	15,3	
TT	25-55	2,9	85,1	7,0	2,1	43,0	20,5	7,9	29,0	8,7	37,7	
DGox	55-75	3,0	7,6	4,5	–	1,1	–	–	4,1	2,0	6,1	
Разрез 11. Реплантазем торфяно-глинистый окисленно-глеевый на ленточных глинах												
1 сл.	0-15	6,2	1,0	0,2	0,2	4,2	21,0	88,0	10,3	1,0	11,3	
1 сл.	30-40	5,4	5,4	1,1	0,6	8,4	14,0	84,1	11,0	4,4	15,4	
2 сл.	45-65	4,7	5,0	0,7	0,3	4,0	13,3	91,5	6,3	2,1	8,4	
3 сл.	65-70	4,5	2,8	0,7	–	0,9	–	–	4,1	6,1	10,2	

Примечание. Прочерк – не определяли.

Paгr2, 20-28 см – серый с рыжими пятнами плотный горизонт, свежий, комковатый. Переход резкий по текстуре, граница ровная.

Cгох, 28-55 см – сизая с рыжими пятнами плотная глина, влажная, структура плитчатая.

Почва: Агрозем светлый агрогетерогенный окисленно-глеевый среднепахотный суглинистый на ленточных глинах.

Агроземы Корзинской низины, в отличие от агроземов холмистой моренной равнины, характеризуются выраженным остаточным оглеением с признаками его окисления, глинистым гранулометрическим составом (Табл. 1), преимущественно слабокислой реакцией и, судя по данным зольного анализа смешанного торфяно-минерального материала, значительным содержанием органического вещества (Табл. 2).

При осушении почв Корзинской низины проводилось последующее внесением минерального материала, что сильно видоизменило их облик и свойства. За счет ускорения минерализации органического вещества и сработки торфа происходит общее уменьшение мощности торфяной залежи, а иногда и незначительное припахивание минеральной толщи и превращение торфяного горизонта в агроторфяный с минерально-торфяным признаком. Почвы с мощностью торфа изначально не превышавшей 30-50 см, такие как торфяно-глеевые и торфянисто-глеевые низинных и переходных болот, а также торфяные маломощные, в которых мощность торфа определяется как 50-100 см в настоящее время диагностируются в зависимости от состояния торфяного горизонта как торфяно-глееземы (Т-G-CG), агроторфяно-глееземы (РТ-Т-G-CG) либо агроземы торфяные (РТ-С) и торфяно-минеральные (РТR-С).

Разрез 16. Заложено на равнинном пониженном участке, многолетние травы.

РТmr1, 0-15 см – темно-серый, рыхлый торфяной горизонт с примесью минерального горизонта, пронизан корнями, свежий. Переход ясный по плотности, граница волнистая.

РТmr2, 15-30 см – серо-бурый уплотненный торф с примесью минерального горизонта (особенно в нижней части), свежий. Переход ясный по цвету и плотности, граница волнистая.

Сох, 30-55 см – сизый с ржавыми пятнами, плотный глинистый горизонт, в верхней части пропитан органикой, влажный.

Почва: Агрозем торфяный минерально-торфяный окисленно-глеевый торфяный на озерных глинах.

Почвы мощных торфяников в новой классификации принципиально не меняются, введено лишь новое название, не меняющее представление о почве. Если мощность торфяной залежи превышает 50 см, то почвы диагностируются как органогенные. Это подвергшиеся осушению деградирующие торфяные эутрофные (низинные) почвы. Возможно, мощность их в настоящее время сократилась, но почвы остались в пределах тех же видовых градаций по мощности торфа – среднемошных и мощных.

Разрез 22. Заложено на пониженном равнинном участке в микропонижении, многолетние травы.

ТТmd, 0-15 см – коричневый, рыхлый, сухой торф. Переход постепенный по влажности, граница ровная.

ТЕ, 15-140 см – коричневый, свежий, рыхлый торф. С 40 см – мокрый.

Почва: Торфяная эутрофная деструктивная среднемошная.

Эта почва характеризуется кислой реакцией, высокими значениями гидролитической кислотности, высокой зольностью торфа (Табл. 2).

Освоение мелиорированных торфяников с малой мощностью торфяной залежи или уменьшением этой мощности в результате сработки торфа, часто сопровождается привнесением минерального материала в верхнюю часть торфяной толщи и, соответственно, формированием агроторфяно-минерального горизонта, залегающего на органогенной почвообразующей породе.

Разрез 14. Заложено в плоском понижении, многолетние травы.

РТР, 0-25 см – темно-коричневый, рыхлый торф с примесью глинистого материала, содержит корни, свежий. Переход постепенный по плотности, граница волнистая.

ТТ, 25-55 см – темно-коричневый уплотненный торф, свежий. Переход резкий по текстуре и цвету, граница ровная.

DGox, 55-75 см – сизая с ржавыми пятнами плотная глина, влажная.

Почва: Торфозем агроминеральный окисленно-глеевый мало-мощный.

Судя по данным Табл. 2, эта почва отличается наиболее киллой реакцией, высокими значениями гидролитической кислотности, высокой зольностью незапаханного торфяного горизонта.

На Корзинской низине были проведены мелиоративные работы порядка 40 лет назад. В результате осушения почвы массива претерпели значительные изменения. Так при расстоянии между дренами 20 метров грунт из траншей укладывался на поверхность почвы, затем разравнивался и перепахивался, что привело к более или менее равномерному перемешиванию верхних горизонтов с нижележащими. Такие техногенные поверхностные образования идентифицированы нами согласно новой классификации как реплантоземы, которые сформировались на месте торфяных эутрофных почв. Примером таких образований может служить приведенное ниже описание профиля.

Разрез 11. Заложен в понижении, многолетние травы.

1 слой, 0-45 см – неоднородно окрашенный, рыхлый глинисто-торфяный материал, пропитан органическим веществом, комковатый, свежий. Переход постепенный по плотности, граница волнистая.

2 слой, 45-65 см – неоднородно окрашенный торфяно-глинистый материал, уплотнен, комковатый, свежий. Переход резкий по плотности и цвету, граница волнистая.

Gox, 65-70 см – сизоватая с ржавыми пятнами плотная глина, свежая.

Почва: Реплантозем торфяно-глинистый окисленно-глеевый глубокотурбированный на ленточных глинах.

По нашим данным (Табл. 1 и 2), эти почвоподобные техногенные образования имеют чрезвычайно неоднородный по глубине, преимущественно тяжелый гранулометрический состав, слабокислую или даже близкую к нейтральной реакцию среды, относительно высокое содержание поглощенных оснований и органического вещества.

## Выводы

Анализируя результаты почвенной съемки можно отметить, что использование новой диагностики почв позволило выявить реальное строение профиля почв изучаемой территории. Прежде всего, следует подчеркнуть, что выделенные по зональной принадлежности, но без учета строения их профиля дерново-подзолистые почвы различной степени оподзоливания, на территории исследования – отсутствуют. На месте их отображения на карте формируются агроземы и элювоземы. Для первых характерно наличие специфического агрогоризонта при отсутствии осветленного элювиального и текстурного горизонтов. Для верхних горизонтов агроземов характерна слабокислая реакция среды, низкое содержание общего азота и достаточно высокое – углерода. Обогащенность азотом средняя и высокая. Агродерново-элювоземы, для которых характерен формирующийся под агрогумусовым горизонтом осветленный элювиальный горизонт, имеют кислую реакцию среды и низкую обеспеченность азотом и углеродом, при достаточно высоком содержании общего фосфора.

Торфяные почвы данной территории подвергались осушению с последующим внесением минерального материала, что сильно видоизменило их облик и свойства. За счет ускорения минерализации органического вещества происходит общее уменьшение мощности торфяной залежи. Новая классификация позволяет отразить наличие в профиле минеральных примесей и выделить такие горизонты как агроторфяно-минеральный – РТR (в отделе торфоземы), либо минерально-торфяный – тг (выделение подтипов в типах почв с торфяными и перегнойными горизонтами).

На исследуемой территории имеются также массивы торфяных мощных и среднемощных почв, засеянных многолетними травами, которые, по всей видимости, слабо затронуты мелиорацией и сохранили свое естественное сложение и мощность. Исследования показали, что почвы торфяников кислые и сильнокислые, с высокими показателями гидролитической и обменной кислотности, обогащенность азотом средняя и низкая.

Следует отметить, что Классификация 2004 года позволяет выделять непочвенные образования на месте бывших торфяно-глеевых почв. Данные образования возникли в результате сильного из-



менения естественного облика почв посредством мелиорации. В нашем случае это реплантоземы, характеризующиеся слабокислой реакцией среды, низкими значениями гидролитической и обменной кислотности, повышенной зольностью.

### Литература

- Агроклиматические ресурсы Карельской АССР. Л.: Гидрометеиздат, 1974, 115 с.
- Атлас Карельской АССР. М.: ГУГК СССР, 1989, 40 с.
- Бухман В.А., Цыба М.М. Агрохимические свойства и плодородие торфяных почв Карелии. Петрозаводск: Карел. кн. изд., 1967, 107 с.
- Елина Г.А. Типы болот Шуйской равнины // Стационарное изучение болот и заболоченных лесов в связи с мелиорацией. Петрозаводск: КФ АН СССР, 1977. С. 5-19.
- Елина Г.А., Кузнецов О.Л., Максимов А.И. Структурно-функциональная организация и динамика болотных экосистем Карелии. Л.: Наука, 1984, 128 с.
- Классификация и диагностика почв России / Шишов Л.Л., Тонконогов В.Д., Лебедева И.И., Герасимова М.И. Смоленск: Ойкумена, 2004, 342 с.
- Классификация и диагностика почв СССР. М.: Колос, 1977, 224 с.
- Козлов Л.Г., Михкиев А.И., Синькевич Е.И. Луговые агроценозы на мелиорированных землях. Л.: Наука, 1982, 180 с.
- Лопатин В.Д. О принципах классификации торфа болот Северо-Запада на экологической основе // Вопросы комплексного изучения болот. Петрозаводск: Карел. фил. АН СССР, Институт биологии, 1973. С. 51-62.
- Почвенная съемка. М.: Изд-во АН СССР, 1959, 348 с.
- Составление крупномасштабных почвенных карт с показом структуры почвенного покрова: Метод. рекомендации. М.: Изд-во ВАСХНИЛ, 1989, 56 с.
- Указания по диагностике подзолистого и болотно-подзолистого типов почв по степени оглеенности. М.: Картфилиал Росземпроекта, 1982, 10 с.
- Указания по классификации и диагностике почв. Вып. I. М.: Колос, 1967, 80 с.

# Горизонтальная структура агроценозов южной Карелии

М.Г.Юркевич

*Институт биологии Карельского НЦ РАН, г. Петрозаводск*

## Введение

Во всех фитоценозах обычно наблюдается более или менее выраженное пятнистое или мозаичное сложение растительности (Дохман, 1963; Шенников, 1964; Сурова, 1999). Горизонтальное строение растительного покрова в связи с его неоднородностью связано как с условиями среды, так и с эколого-биологическими особенностями видов, характером их распространения, размножения и произрастания. В результате изучения растительных сообществ установлено, что мозаичность представляет собой горизонтальное расчленение всего сообщества и присуща всем без исключения фитоценозам, даже таким, которые представлены моновидовыми популяциями (Сурова и др., 1999; Сидоренко и др., 2002). Изучением и теоретическим осмыслением мозаичности растительных сообществ занимались многие геоботаники (Каплин, 2004; Каплин, Кузнецов, 2005; Комаров и др., 2002; Сапегин, Шульга, 2006). Для обозначения горизонтального строения фитоценозов используют различные термины, обозначающие отдельные элементы мозаики: "микроруппировка" и "микроценоз" (Василевич, 1983), "парцелла" (Дылис, Сукачев, 1964), "квант" (Ястребов, 1991). Изучение горизонтальной неоднородности растительных сообществ важно для описания и учета растительности, для познания динамики растительности и динамических смен. Оно имеет не только научное, но и практическое значение, поскольку помогает вскрыть причины понижения урожайности сеяных лугов и разработать практические предложения по ее увеличению.

Цель данной работы – исследовать мозаичность луговых агроценозов на дерново-подзолистых суглинистых почвах и установить связь видового состава и продуктивности луговых угодий с эдафическими условиями.

## Материалы и методы

Основной структурной единицей нами была принята парцелла по Н. В. Дылису (Дылис, Сукачев, 1964). Исследовался раститель-

ный покров парцелл, особенности их распределения, происхождение и продуктивность. Выделенные парцеллы отличаются по жизненности, густоте, высоте и составу растений. Соотношение площадей, занятых теми или иными парцеллами, определялось методами линейной таксации и трансект. Протяженность их составила более 13000 м, охваченная исследованиями площадь – 70 га. Видовой состав парцелл и их урожайность определялись путем отбора пробных укосов в шестикратной повторности на каждой трансекте. Трансекты шириной 1 метр закладывались по всей ширине исследованных полей через каждые 10 метров. Исследования проводились на Корзинском научном стационаре, расположенном в Южной Карелии, в конце июня – начале июля 2002-2003 гг., в фазу колошения злаков.

Объектами исследования служили производственные посевы сеяных трав (шесть полей), созданные на дерново-подзолистых суглинистых почвах. Четыре агроценоза расположены на легкосуглинистых почвах, это травосмеси из *Phleum pratense* и *Trifolium pratense* 4-го года жизни (поля 1 и 4), посев *Dactylis glomerata* 3-го года жизни (поле 2), посев *Dactylis glomerata* и *Trifolium pratense* 3-го года жизни (поле 3). Два агроценоза – посевы *Dactylis glomerata* 4-го года жизни (поля 5 и 6) расположены на тяжелосуглинистой почве.

Экологическая контрастность лугов рассчитывалась по индексу процентного сходства Ренконена (Krebs, 1989):

$$R = \sum \min(p_{1i}, p_{2i}) \quad [1]$$

где  $p_{1i}$  и  $p_{2i}$  – встречаемость определённого вида на каждой из пары сравниваемых полей. Для определения встречаемости суммировалось количество зафиксированных встреч всех видов растений, а затем для каждого вида количество встреч приводилось к 100 процентам. При расчёте индекса Ренконена суммировались минимальные из сравниваемой пары почв значения встречаемости каждого вида. Поля условно расценивались как экологически сходные, когда индекс Ренконена превышал 50 процентов, и экологически контрастные, когда индекс был менее 50 процентов.

Почвы под обследованными агроценозами несколько различались. Статистическую обработку экспериментальных данных проводили методами дисперсионного и корреляционного анализов.

## Результаты

На дерново-подзолистых легкосуглинистых почвах исследовано четыре агрофитоценоза. В посеве *Phleum pratense* и *Trifolium pratense* 4-го года жизни (поле 1) травостой относительно ровный, много густого, *Trifolium pratense* встречается куртинами, участки с густой и нормальной *Phleum pratense* чередуются с массивами *Elytrigia repens*, который образует густой, местами лежащий травостой. Было выделено шесть парцелл:

1) нормальный темно-зеленый травостой (проективное покрытие 90%), расположенный на ровном участке. На 4-й год жизни содержание сеяных видов составило 61,8%. Сеяные виды с примесью *Elytrigia repens* образуют достаточно густой высокий травостой;

2) густой травостой (проективное покрытие 100%) темно-зеленого цвета, местами лежащий, состоит преимущественно из *Phleum pratense* и *Elytrigia repens* с примесью *Trifolium pratense*;

3) разреженный травостой (проективное покрытие 60-70%). Основу ценоза составляют *Phleum pratense* светлого цвета, менее мощные по сравнению с нормальным травостоем, с небольшим количеством *Trifolium pratense*. В травостое также присутствуют *Ranunculus acris*, *Matricaria inodora*, *Poa pratensis*, *P. trivialis* и значительное количество *Elytrigia repens*;

4) нормальный травостой с внедрившимися видами (проективное покрытие 70%). К сеяным видам примешиваются *Alopecurus pratensis*, *Poa pratensis* и *P. trivialis*, *Matricaria inodora*. Основную массу внедрившихся видов составляет *Elytrigia repens*;

5) нормальный травостой в понижении (проективное покрытие 80%), более светлый по сравнению с нормальным травостоем, расположенном на ровном участке. Состоит преимущественно из *Elytrigia repens* и *Phleum pratense*;

6) колея с разреженным травостоем (проективное покрытие 50%), состоящая, главным образом, из *Elytrigia repens* с примесью *Phleum pratense*, *Poa pratensis* и *P. trivialis* и разнотравья: *Chenopodium album*, *Galeopsis speciosa*, *Matricaria inodora*, *Ranunculus acris*, *Taraxacum officinale*.

В посевах *Dactylis glomerata* 3-го года жизни (поле 2), посевах *Dactylis glomerata* и *Trifolium pratense* 3-го года жизни (поле 3), посевах *Phleum pratense* и *Trifolium pratense* 4-го года жизни (поле 4)

травостой был более неоднородный, в этих агроценозах выделены следующие парцеллы:

1) нормальный травостой (проективное покрытие 80%). Сеяные виды образуют достаточно густой высокий травостой с примесью *Phleum pratense*;

2) густой травостой (проективное покрытие 100%). Преобладают сеяные виды, травостой темно-зеленого цвета, выше и гуще, чем на парцелле с нормальным травостоем. В посеве *Dactylis glomerata* и *Trifolium pratense* с примесью *Phleum pratense*;

3) разреженный травостой (проективное покрытие 60-70%), преобладают сеяные виды, в посеве *Phleum pratense* и *Trifolium pratense* к сеяным видам примешиваются *Alopecurus pratensis*, *Poa pratensis*, *Taraxacum officinale*;

4) редкий травостой (проективное покрытие 40-50%), преобладают сеяные виды, в посеве *Dactylis glomerata* с примесью *Taraxacum officinale*;

5) травостой из *Trifolium pratense* (проективное покрытие 70-80%) в посеве *Phleum pratense* и *Trifolium pratense*, местами высокий, местами низкий;

6) нормальный травостой с внедрившимися видами (проективное покрытие 80%), доминируют сеяные виды, из внедрившихся преобладают *Phleum pratense*, *Sorghus arvensis*, *Taraxacum officinale*, *Urtica dioica*; в посеве *Phleum pratense* и *Trifolium pratense* к высокому травостою из сеяных видов примешиваются *Deschampsia cespitosa*, *Poa palustris*, *Ranunculus acris*;

7) нормальный низкий травостой в понижении (проективное покрытие 60%), состоит в основном из сеяных видов, отмечен в посеве *Phleum pratense* и *Trifolium pratense*;

8) нормальный травостой в понижении (проективное покрытие 80%), состоит преимущественно из сеяных видов;

9) густой травостой в понижении (проективное покрытие 100%), более густой и высокий, чем нормальный, состоит в основном из сеяных видов;

10) разреженный травостой в понижении. В посеве *Dactylis glomerata* и *Trifolium pratense* преобладают сеяные виды, проективное покрытие 70%. В посеве *Dactylis glomerata* проективное покрытие 60 %, к сеянному виду примешивается *Elytrigia repens*;

11) колея, отмечена в посеве *Phleum pratense* и *Trifolium pratense* (проективное покрытие 60%), наряду с *Phleum pratense* присутствуют *Deschampsia cespitosa*, *Ranunculus acris*, *Taraxacum officinale*;

В травосмеси из *Phleum pratense* и *Trifolium pratense* (поле 1) фактический урожай сена 4,43 т/га, что на 10% меньше, чем на парцелле с нормальным травостоем, с которой собрано 24% урожая. Урожай, собранный с остальных парцелл, расположенных на ровном участке, составил 69% и лишь 7% – с понижений (Табл. 1).

Таблица 1. Урожай сена и соотношение парцелл на дерново-подзолистых суглинистых почвах

Парцеллы	% от общей площади						Воздушно-сухая масса, т/га					
	Поле											
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
Нормальный травостой	38,2	31,6	21,3	18,9	25,7	20,1	4,9	5,8	7,2	5,0	7,3	5,0
Густой травостой	30,5	32,4	49,5	22,1	47,0	34,8	5,3	12,4	9,5	7,4	8,2	5,3
Разреженный травостой	18,5	9,6	5,8	6,1	13,5	11,3	2,9	3,1	3,8	4,1	2,7	1,6
Редкий травостой	–	0,5	2,9		–	–	–	1,0	1,4	–	–	–
Травостой из <i>Trifolium pratense</i>	–	–	–	9,8	–	–	–	–	–	4,7	–	–
Нормальный травостой с внедрившимися видами	2,5	9,8	–	19,0	–	8,1	4,15	5,96	5,00	–		
Нормальный низкий травостой	–	–	–	–	–	6,2	–	–	–	–	–	1,8
Нормальный низкий травостой в понижении	–	–	–	12,6	–	–	–	–	–	2,8	–	–
Нормальный травостой в понижении	7,8	9,2	2,4	5,5	12,7	9,8	3,3	4,2	7,1	3,5	4,9	4,2
Густой травостой в понижении	–	1,6	14,4	–	–	8,0	–	12,8	14,5	–	–	3,2
Разреженный травостой в понижении	–	5,3	3,7	–	–	–	–	2,4	3,3	–	–	–
Колея	2,5	–	–	6,0	1,1	1,7	2,0	–	–	2,7	1,0	1,1
НСР <sub>05</sub>							0,43	1,80	1,45	1,53	0,76	0,56

В молодом посеве *Dactylis glomerata* (поле 2) средний урожай составил 8,84 т/га при урожае парцеллы с нормальным травостоем 7,18 т/га. Это объясняется тем, что 63,9% площади посева занимает густой травостой. С парцеллы с нормальным травостоем собрано 17,3% урожая, с остальных парцелл, расположенных на ровном участке поля 69%, в понижении 26,9%.

Средний урожай травосмеси из *Dactylis glomerata* и *Trifolium pratense* (поле 3) составил 4,28 т/га, что на 26,1% меньше, чем на парцелле с нормальным травостоем (5,79 т/га). Урожай сена, собранный с парцеллы с нормальным травостоем, составил 42,9%, с остальных парцелл, расположенных на ровном участке почвы 40,1%, с понижений 17%.

В травосмеси из *Phleum pratense* и *Trifolium pratense* (поле 4) величины фактического и заданного урожая различаются незначительно (5,1 и 4,99 т/га). С парцеллы с нормальным травостоем собрано 18,5%, с парцелл на ровном участке поля 70,9%, с понижений 10,6% урожая.

На дерново-подзолистых тяжелосуглинистых почвах обследовано два луговых агроценоза посева *Dactylis glomerata* 4-го года жизни (поля 5 и 6). Выделены следующие парцеллы:

1) нормальный травостой (проективное покрытие 80-90%), состоит из сеяного вида с примесью *Elytrigia repens* и *Phleum pratense*;

2) густой травостой (проективное покрытие 100%) темно-зеленого цвета, состоит из сеяного вида;

3) разреженный травостой (проективное покрытие 60-70%), расположен на ровном участке, состоит, главным образом, из сеяного вида и *Elytrigia repens* с примесью *Phleum pratense*, *Poa pratensis*, *Barbarea vulgaris*, низкого *Chamaenerion angustifolium*, *Deschampsia cespitosa*, *Matricaria inodora*, *Ranunculus acris*, *R. repens*, *Taraxacum officinale*;

4) нормальный травостой с внедрившимися видами (проективное покрытие 80%), состоит из *Dactylis glomerata* и *Elytrigia repens* с включением *Poa palustris*, *P. pratensis*, *Matricaria inodora*, *Sonchus arvensis* и *Taraxacum officinale*;

5) нормальный низкий травостой (проективное покрытие 70%), ниже и светлее, чем нормальный травостой;

6) редкий травостой с разнотравьем (проективное покрытие 30%), травостой состоит преимущественно из *Deschampsia cespitosa*, *Poa palustris*, *P. pratensis* и редкой *Dactylis glomerata*;

7) нормальный травостой в понижении (проективное покрытие 75-80%), более светлый и редкий, чем нормальный на ровном участке, по краям поля к сеянному виду примешиваются *Phleum pratense*, *Poa pratensis*, *Barbarea vulgaris*, низкий *Chamaenerion angustifolium*, *Deschampsia cespitosa*, *Matricaria inodora*, *Ranunculus acris*, *R. repens*, *Taraxacum officinale*;

8) густой травостой в понижении (проективное покрытие 100%), темно-зеленого цвета, состоит в основном из *Dactylis glomerata* и *Elytrigia repens*;

9) кося (проективное покрытие 40%), редкий травостой из *Phleum pratense* и разнотравья.

Таблица 2. Распределение индекса Ренконена по посевам, %

Посев	Парцелла		
	Нормальный и нормальный травостой	Густой и густой травостой	Нормальный в понижении и нормальный в понижении травостой
Дерново-подзолистые легкосуглинистые почвы			
<i>Dactylis glomerata</i> 3 год жизни (поле 2) и <i>Dactylis glomerata</i> + <i>Trifolium pratense</i> 3 год жизни (поле 3)	69,1	47,6	79,8
Дерново-подзолистые тяжелосуглинистые почвы			
<i>Dactylis glomerata</i> 4 год жизни (поле 5) и <i>Dactylis glomerata</i> 4 год жизни (поле 6)	90,8	60,2	24,8

Таблица 3. Распределение индекса Ренконена по парцеллам, %

Посев	Парцеллы						
	Нормальный и густой травостой	Нормальный и нормальный в понижении травостой	Густой и густой в понижении травостой	Нормальный и разреженный травостой	Нормальный в понижении и разреженный в понижении травостой	Нормальный в понижении и густой в понижении травостой	Разреженный и разреженный в понижении травостой
<i>Phleum pratense</i> + <i>Trifolium pratense</i> 4 год жизни (поле 1)	83,7	56,0	–	81,8	–	–	–
<i>Dactylis glomerata</i> 3 год жизни (поле 2)	98,2	84,8	98,6	98,4	–	83,5	26,3
<i>Dactylis glomerata</i> + <i>Trifolium pratense</i> 3 год жизни (поле 3)	65,7	87,9	61,9	71,0	83,4	75,5	82,7
<i>Phleum pratense</i> + <i>Trifolium pratense</i> 4 год жизни (поле 4)	90,4	43,5	–	76,6	–	–	–
<i>Dactylis glomerata</i> 4 год жизни (поле 5)	79,9	83,8	–	79,2	–	–	–
<i>Dactylis glomerata</i> 4 год жизни (поле 6)	54,6	36,0	88,1	41,9	–	74,7	–



Урожайность обследованных агроценозов несколько различалась. На 5-ом поле, обследованном в 2002 г., 47% площади посева занимает густой травостой, в результате средний урожай посева 6,1 т/га при планируемом 7,27 т/га. С парцеллы с нормальным травостоем собрано 20,4% урожая, с остальных парцелл, расположенных на ровном участке 69,2%, с парцелл в понижении 10,4% урожая. На 6-ом поле, обследованном в 2003 г., фактический урожай сена равен 3,89 т/га при урожае нормального травостоя 4,99 т/га, что составило 20,6%. С остальных парцелл, расположенных на ровном участке, собрано 61,1%, с понижений 18,3% урожая.

Экологическая контрастность сеяных лугов рассчитывалась по индексу процентного сходства Ренконена (Табл. 2, 3).

### Обсуждение

Урожайность луговых агроценозов является интегральным показателем жизнедеятельности луговых сообществ. На минеральных почвах ботанический состав, плотность травостоев, а следовательно их продуктивность, в значительной мере определяется выровненностью поверхности полей. В отдельных случаях, особенно в молодых агроценозах, значительную долю в формировании урожая составили густой и нормальный травостой, поэтому полученный урожай близок к планируемому. На половине обследованных полей вследствие горизонтальной неоднородности травостоя потери урожая от нормального составили от 10% (на 1-ом поле) до 21,8 – 26,1% (на 3, 5 и 6-ом полях).

Расчеты экологической контрастности агрофитоценозов по индексу Ренконена показали, что на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве трехлетние посевы *Dactylis glomerata* на разных полях близки по видовому составу парцелл с нормальным травостоем как на ровном участке поля (индекс Ренконена 69,1%), так и в понижении (79,8%), а в парцеллах с густым травостоем отмечены существенные различия ботанического состава (индекс не превышает 47,6%), так как на третьем поле велико участие *Phleum pratense* (22,3%) и *Sonchus arvensis* (12,8%).

На дерново-подзолистых тяжелосуглинистых почвах контрастность травостоев *Dactylis glomerata* 4-го года жизни в большей степени зависела от микрорельефа полей. На выровненных участках 5

и 6-го полей парцеллы с нормальным травостоем практически идентичны (индекс Ренконена 90,8%), в понижении же они различны (индекс сходства 24,8%). На 5-ом поле в парцеллах, расположенных в понижении, преобладает *Dactylis glomerata* (60,1%), а на 6-ом поле – *Elytrigia repens* (74%). Значительная засоренность поля *Elytrigia repens* объясняется, возможно, не вполне тщательной подготовкой участка к посеву многолетних трав.

В пределах одного поля также отмечена вариабельность горизонтальной структуры растительных сообществ. На дерново-подзолистых легкосуглинистых почвах видовой состав агроценозов *Phleum pratense* 4 года жизни (поля 1 и 4) во многом определяется выравненностью микрорельефа. В понижении индекс сходства парцелл с нормальным травостоем не превышает 56% (поле 1) и 43,5% (поле 4), в тоже время на ровном участке близки по своему видовому составу парцеллы с нормальным и густым травостоем (83,7%-90,4%) и нормальным и разреженным (81,8-76,6%).

Высокая конкурентная способность *Dactylis glomerata* способствует значительной степени сходства всех парцелл в посевах *Dactylis glomerata* 3-го года жизни. Однако на ботанический состав травостоя повлиял микрорельеф поля, ввиду доминирования более влаголюбивого и агрессивного вида – *Elytrigia repens* (74,3%) на участке расположенном в понижении, разреженные травостои на ровном участке и в понижении имеют низкий коэффициент сходства (26,3%).

Дерново-подзолистая тяжелосуглинистая почва характеризуется высокой влагоудерживающей способностью, вследствие чего агроценоз *Dactylis glomerata* (поле 6) значительно различается по видовому составу парцелл с нормальным травостоем (индекс 36,0%), расположенных на разных участках микрорельефа почвы (в понижении велико участие *Elytrigia repens* – 74%).

## Выводы

Во всех исследованных луговых растительных сообществах наблюдалась горизонтальная неоднородность травостоя, что позволило выделить на обследованных полях 6-11 парцелл. Одна из причин мозаичного сложения агроценозов неоднородность поверхности полей. Происхождение остальных парцелл, за исключе-

нием нормального травостоя, связано с нарушениями агротехники, главным образом, неравномерным разбросом удобрений.

На идентичность ботанического состава как между агроценозами, так и внутри ценоза оказал заметное влияние микрорельеф поля. На выровненных участках преобладают сеяные виды. В понижении значительную долю травостоя составляют более влаголюбивые внедрившиеся виды, на большинстве полей преимущественно *Elytrigia repens*.

Урожайность луговых агроценозов в значительной мере зависит от выровненности поверхности почвы. В отдельных случаях, особенно в молодых агроценозах, значительную долю в формировании урожая составили густой и нормальный травостой, поэтому полученный урожай близок к планируемому. На четырех из шести обследованных полей вследствие горизонтальной неоднородности травостоя отмечены потери урожая по сравнению с нормальным, причем в монокомпонентных посевах *Dactylis glomerata* они составили 2,4-2,5 %, а в травосмесях с *Trifolium pratense* от 10,0% (при участии *Phleum pratense*) до 26,1% (при участии *Dactylis glomerata*).

## Литература

- Василевич В.И. Очерки теоретической фитоценологии. Л.: Наука, 1983, 247 с.
- Дохман Г.И. Синузильное сложение фитоценозов // Бюл. МОИП, отд. биол., 1963. Т.68, вып. 3. С. 110-118.
- Дылис Н.В., Сукачев В.Н. Основы лесной биогеоценологии. М.: Наука, 1964. С. 103-106.
- Каплин В.Г. К изучению горизонтальной структуры и функционирования агроценозов // Научные результаты – агропромышленному производству. Курган, 2004; Т. 1. С. 56-59.
- Каплин В.Г., Кузнецов К.А. О горизонтальной структуре и продуктивности пастбищ лесостепи Самарской области // Актуальные проблемы сельскохозяйственной науки и образования. Самара, 2005; Вып. 4. С. 157-167
- Комаров А.А., Клейн В.Ф., Шарашова В.С. Мозаичный травостой как способ сохранения видового разнообразия планеты // Экология и с.-х. техника. СПб., 2002. Т.2. С. 182-187.
- Сапегін Л.М., Шульга С.У. Гарызантальная структура травастоя лугавых экосістэм [Горизонтальная структура травостоя луговых экоси-

- стем. (Белоруссия)]// Молодые исследователи – ботанической науке, Гомель, 2006. С. 68-74
- Сидоренко В.Г., Сурина Н.Г., Гончарова Л.Ю. Оценка устойчивости и оптимизации агроценозов разной горизонтальной структуры // Роль ботан. садов в сохранении биоразнообразия. Ростов н/Д, 2002. С. 60-61
- Сурина Н.Г. Оценка устойчивости и оптимизация агрофитоценозов разной горизонтальной структуры. Автореф. дис... канд. биол. наук. Кубан. гос. аграр. ун-т. Краснодар, 1999. 16 с.
- Шенников А.П. Введение в геоботанику. Л.: Изд-во ЛГУ, 1964. 447с.
- Ястребов А.Б. Методы изучения мозаичности растительного покрова с применением ЭВМ. Л.: Изд-во ЛГУ, 1991. 200 с.
- Krebs C.J. Ecological Methodology. Harper & Row Publ., N.Y., 1989. 560 p.

# **Засолённые почвы Венгрии: прогноз распространения на основе гидрогеологических карт**

Тот Т.<sup>1</sup>, Пастор Л.<sup>1</sup>, Кабош Ш.<sup>2</sup>, Кути Л.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>*Исследовательский институт почвоведения и агрохимии Венгерской академии наук, Будапешт, Венгрия*

<sup>2</sup>*Университет Эйтвёш, Будапешт, Венгрия*

<sup>3</sup>*Геологический институт Венгрии, Будапешт, Венгрия*

## **Введение**

Присутствие повышенных концентраций растворимых солей в почвах приводит к повышению осмотического потенциала и понижению доступности влаги растениям. Преобладание Na и Mg в поглощающем комплексе почв тяжёлого гранулометрического состава замедляет движение почвенных растворов. Накопление солей на территориях, которые потенциально могли бы использоваться в сельском хозяйстве, представляет собой всемирную проблему, охватывая 340 миллионов гектар во всём мире. Хотя большинство исследователей уделяют большее внимание антропогенному засолению орошаемых земель, территории, подверженные естественному засолению, значительно больше, чем засоляется в результате орошения. В некоторых странах эти естественно засоленные участки важны как потенциальные поля или заповедники.

Для рационального использования засоленных земель необходимо использовать карты состояния накопления солей. Благодаря последним достижениям в технологии и концептуальных разработках картографирование ЗСП значительно облегчилось на каждом уровне управленческих решений (Tóth et al., 1998). Из-за сложности процессов почвообразования трудно установить детерминистское соотношение между почвенными свойствами и факторами почвообразования. Однако в пределах ограниченного района существует возможность установить статистическую зависимость между почвенными свойствами и факторами почвообразования. Подобные зависимости полезны при прогнозе пространственного распределения типов почв и почвенных свойств. Если, например, относительная значимость основных факторов образования засоленных почв (ЗСП) оценена количественно, то можно предсказывать с большей вероятностью риски различного землепользования, которые могут привести к засолению или изменению солевого баланса.

Приводя почвенные карты и карты факторов-почвообразователей можно создать пространственную базу данных, содержащую пространственное распределение категорий для их изображения на карте. Для анализа количественных отношений цифровых карт должны использоваться методы, пригодные для анализа категориальных переменных.

Мы описали распределение основных гидрогеологических факторов, связанных с формированием ЗСП на Великой Венгерской равнине на основании опубликованных карт. Как Ф. К. Дайнеко и В. М. Фридланд (Daineko and Fridland, 1972), мы рассчитали статистические ассоциации на основании пересечения почвообразующих факторов. Эти ассоциации были интерпретированы в свете существующих теорий формирования венгерских ЗСП.

Использование существующих карт в качестве предсказателей накопления солей имеет большое значение во всех случаях, когда (1) не существует детальных данных по пространственному распределению засоления и (2) основные факторы и механизмы аккумуляции солей не прояснены.

Ю. К. Вэй и С. Ю. Лиу (Wei and Liu, 1988) попытались предсказать потенциальное засоление на основе следующих факторов: содержание органического вещества в почве, глубина залегания грунтовых вод, концентрация солей в грунтовых водах и переслаивание отложений. Сначала было установлено отношение между концентрацией растворимых солей в почве (зависимая переменная) от различных факторов (независимых переменных). Действие каждого из влияющих факторов было выражено по отношению к стандартному почвенному профилю. Таким образом, значимость отдельных факторов была выражена в виде коэффициентов, и прогноз уровня засоления осуществлялся путём перемножения всех коэффициентов. Полученная величина колебалась от 0 до 1, и её увеличение указывало на возрастающую вероятность засоления.

С. Дж. Тикелл (Tickell, 1997) использовал сходный подход, при котором категории карт засоления грунтовых вод (1:250.000), растительности (1:1.000.000), количества осадков (1:10.000.000), количества влаги (1:250.000) и присутствия латерита (1:2.000.000) были ранжированы от 1 до 10 по отношению к их значению для опасности засоления. Эти карты затем были наложены друг на

друга, ранги опасности результирующих контуров суммированы, и была скомпилирована карта опасности засоления масштаба 1:2.000.000 с четырьмя категориями от очень низкой до высокой опасности засоления.

Р. Г. Эйлерс с соавторами (Eilers et al., 1997) использовал несколько усовершенствованную методику, в которой индекс риска засоления был продуктом ранжирования от 1 до 10 трёх групп факторов, а именно факторов современного состояния (площадь современного засоления), статических и динамических факторов. Определение статических факторов было продуктом ранжирования топографии, поверхностных отложений, геологии и гидрологии. Динамические факторы рассчитывались путём умножения рангов аридности, поверхностного покрытия и типа охраны почв.

Дж. М. Брадд с соавторами (Bradd et al., 1997) использовали метод «веса признака» при составлении карт опасности засоления. Они использовали геологические, почвенные карты, карты землепользования, осадков, форм рельефа, характеристик грунтовых вод и растительности. Карты были заново классифицированы, конвертированы в формат ГИС, и проанализированы каждая в паре с картой встречаемости засоления в сухих областях. Веса, вычисленные для каждой отдельной карты (которые считались взаимно независимыми) были скомбинированы для составления конечного уравнения.

В данном исследовании мы провели одновременную обработку нескольких карт–предсказателей для прогноза аккумуляции солей и анализа значимостей гидрогеологических и геоморфологических факторов. Нашей задачей было проверить недавно разработанные методики обработки пространственно-распределённых данных и статистические методы для прогноза разных уровней аккумуляции солей на основе ранее созданных карт. Поскольку классические статистические методы прогноза, такие как ANOVA и линейная регрессия принимают, что показатели проб стохастически независимы (т. е. что величина ошибки независима от одного наблюдения к другому), что нетипично в случае почвенных свойств, мы предложили альтернативный статистический подход, принимающий во внимание пространственную регионализацию участков. Частично результаты данного исследования были представлены ранее в работах Т. Тота и соавторов (Tóth et al., 2001, 2002).

## Материалы и методы

Карта засоленных почв Венгрии была опубликована И. Саболчем (Szabolcs, 1974). Почвенные категории этой карты (Табл. 1) скоррелированы с другими классификационными системами в том же издании на стр. 39-40. Большинство категорий соотносится с таковыми К. Е. Келлога (Kellog, 1934), К. А. МакКлеланда с соавторами (McClelland et al., 1959) и Е. Н. Буи с соавторами (Bui et al., 1998).

Около трети территории Великой Венгерской равнины подвергается содификации, в основном процессам осолонцевания, одна треть представляет собой потенциальные ЗСП и треть не подвержена засолению и содификации. К потенциальным ЗСП были причислены те почвы, которые в настоящее время не подвержены этим процессам в настоящее время, но могут стать существенно засоленными или насыщенными натрием в результате орошения (Szabolcs, 1974). Территориальное распределение некоторых типов ЗСП очевидно. Почвенные типы 2–6 из Табл. 1 сконцентрированы преимущественно на междуречье Дуная и Тисы, типы 7–10 более типичны для долины р. Тисы. За исключением карбонатных ЗСП (4 и 6), сгруппированных с солончаками, Табл. 1 приводит типы ЗСП в целом по убыванию концентрации солей.

**Таблица 1. Площадь, занимаемая категориями карты «Засоленные почвы Венгрии в пределах Великой Венгерской равнины»**

Почва (№ категории на карте)	Площадь		Количество контуров		Средний размер, км <sup>2</sup>	Стандартное отклонение
	км <sup>2</sup>	%		%		
Содовый солончак (№ 2)	200,9	0,4	17	4,0	11,8	8,7
Содовый солончак–солонец (№ 3)	1135,5	2,5	51	11,9	22,3	56,0
Карбонатный луговой солонец (№ 4)	61,7	0,1	7	1,6	8,8	3,7
Карбонатная солонцовая Луговая почва (№ 6)	462,4	1,0	19	4,4	24,3	26,2
Луговой солонец (№ 7)	3451,7	7,5	71	16,6	48,6	27,4
Луговой остепняющийся солонец (№ 8)	2503,5	5,4	67	15,6	37,4	63,2
Солонцовая луговая почва (№ 9)	1585,5	3,4	57	13,3	27,8	86,0
Чернозёмы и луговые чернозёмы, глубинно-засоленные(№10)	3552,4	7,7	45	10,5	78,9	36,1
Потенциально засоленные почвы (№ 11)	16827,6	36,6	83	19,3	202,7	63,2
Незасоленные почвы (№ 12)	16185,9	35,2	12	2,8	1348,8	2744,7
<b>ВСЕГО:</b>	<b>45967,1</b>	<b>100,0</b>	<b>429</b>	<b>100,0</b>		



Методология гидрогеологического картографирования была сформулирована А. Ронаи (Rónai, 1975). Между 1964 и 1985 годами на Равнине было заложено 12422 неглубоких скважины. Глубина бурения была 10 м или до первого твёрдого или гравийного слоя. Почвенные и подпочвенные образцы отбирались из каждого стратиграфически выделяющегося слоя. Глубина уровня грунтовых вод определялась с точностью до 0,5 м. Абсолютные высоты скважин считывались с топографической карты масштаба 1:25.000. На начальном этапе катионы в грунтовых водах определялись комплексонометрически и на пламенном фотометре, а затем с помощью атомно-адсорбционной спектрометрии и спектрофотометрии в пучке связанной плазмы. Анионы титровались, за исключением сульфатов, которые определялись гравиметрически. Распределение частиц по размерам в образцах почв и грунтов определялось просеиванием для частиц более 0,06 мм и седиментацией с последующим отбором пипеткой для более мелких частиц (Methodological Publications, 1973).

Карта «Классы по гранулометрическому составу формаций, близких к поверхности» показывает стратификацию почв и подстилающих материалов в 10-метровых скважинах. Индексы в Табл. 2 показывают последовательности слоёв мощностью 2 м, где G означает гравий (>2 мм), S – песок (2-0,06 мм), I – суглинок (0,06-0,002 мм), а C – глину, (<0,002 мм). Например, SCGGG для выдела 27 указывает, что данная категория содержит песок с поверхности до глубины 2 м, ниже 2 м идёт глина, а ниже глины до 10 м идут гравийные отложения.

В легенде к карте «Ионный состав грунтовых вод» в тех случаях, когда один катион или анион составлял более 50% катионного или анионного состава вод, соответственно, только этот катион или анион упоминается. Если два аниона или катиона составляли 25-50% от общего эквивалента концентрации анионов или катионов, соответственно, но первый из упомянутых ионов имел более высокую концентрацию, упоминались два иона. Если три аниона или катиона составляли 25-50% от общей эквивалентной концентрации анионов или катионов, соответственно, и преобладающим ионом был бикарбонат ион или ион кальция, упоминались три иона. В таблице 2 используются химические символы элементов, за исключением bi=бикарбонат ион и su=сульфат ион.





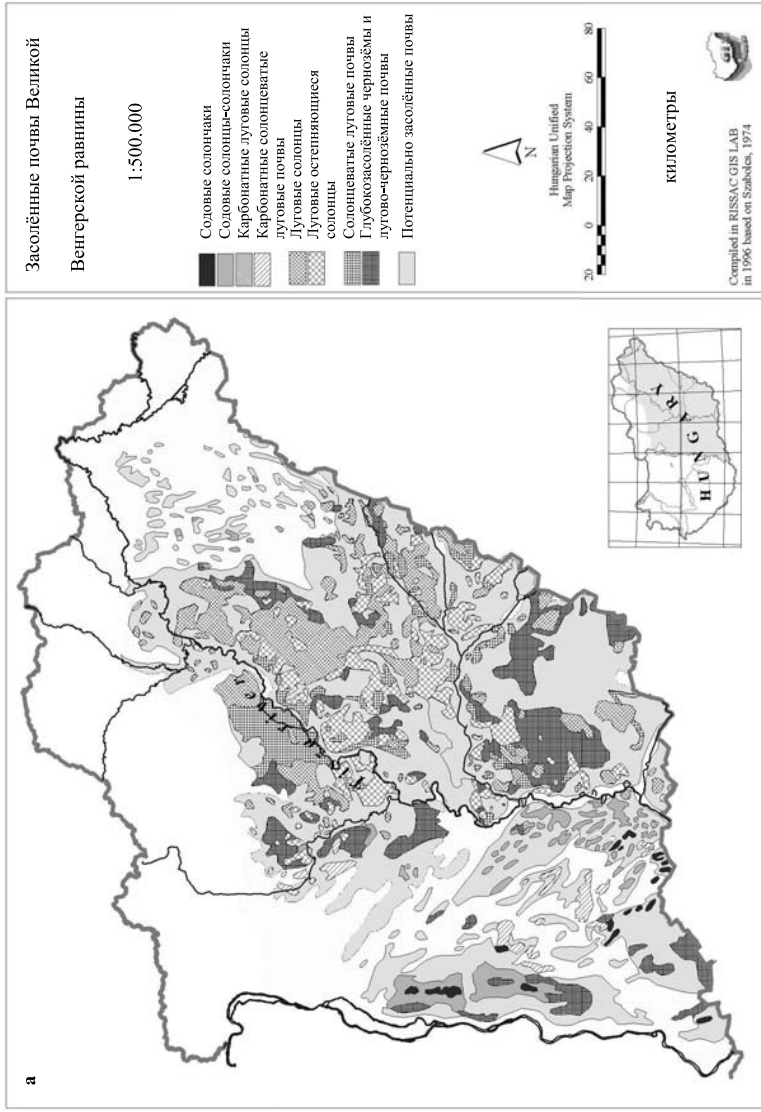


Рис. 1. Карта засоленных почв и гидрогеологические карты Венгрии: а — карта засоленных почв

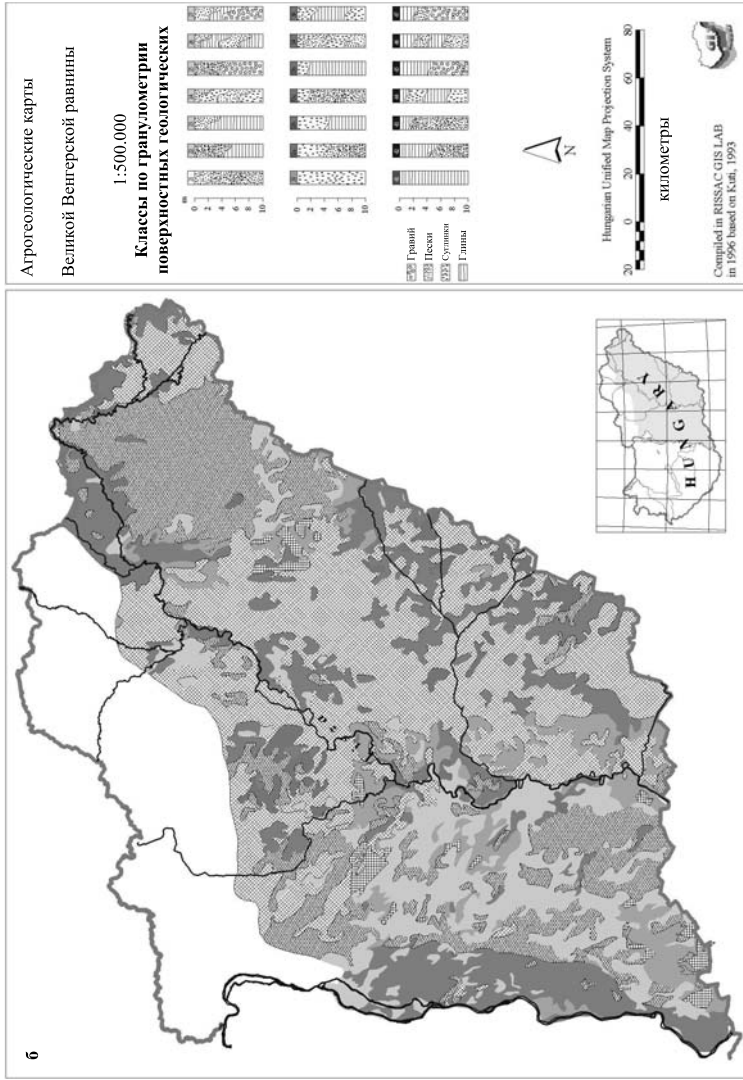


Рис. 1. Карта засоленных почв и гидрогеологические карты Венгрии:  
б – карта гранулометрического состава поверхностных отложений



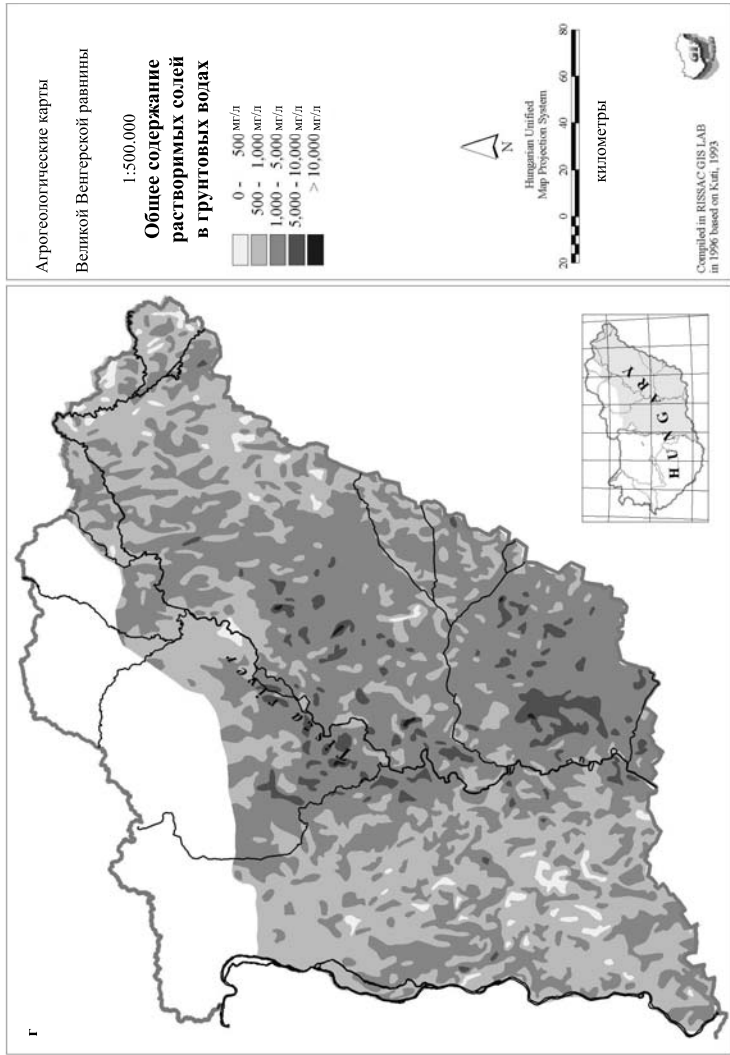


Рис. 1. Карта засоленных почв и гидрогеологические карты Венгрии:  
 г – общее содержание растворимых солей в грунтовых водах

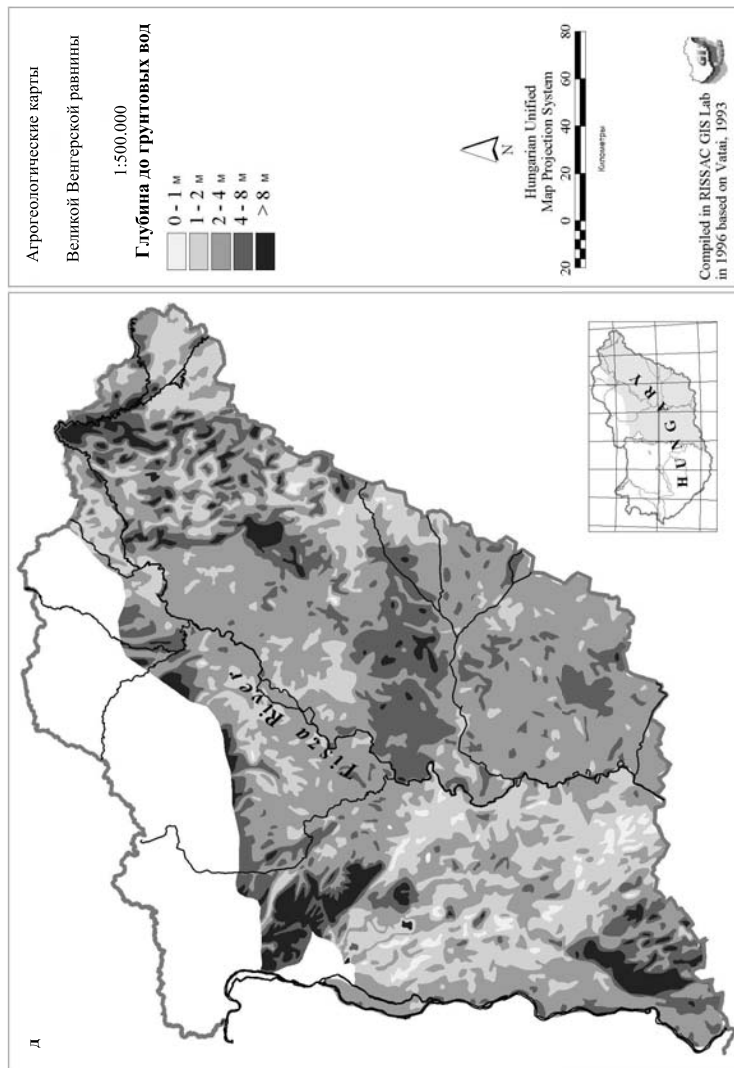


Рис. 1. Карта засоленных почв и гидрогеологические карты Венгрии:  
д – относительный уровень грунтовых вод



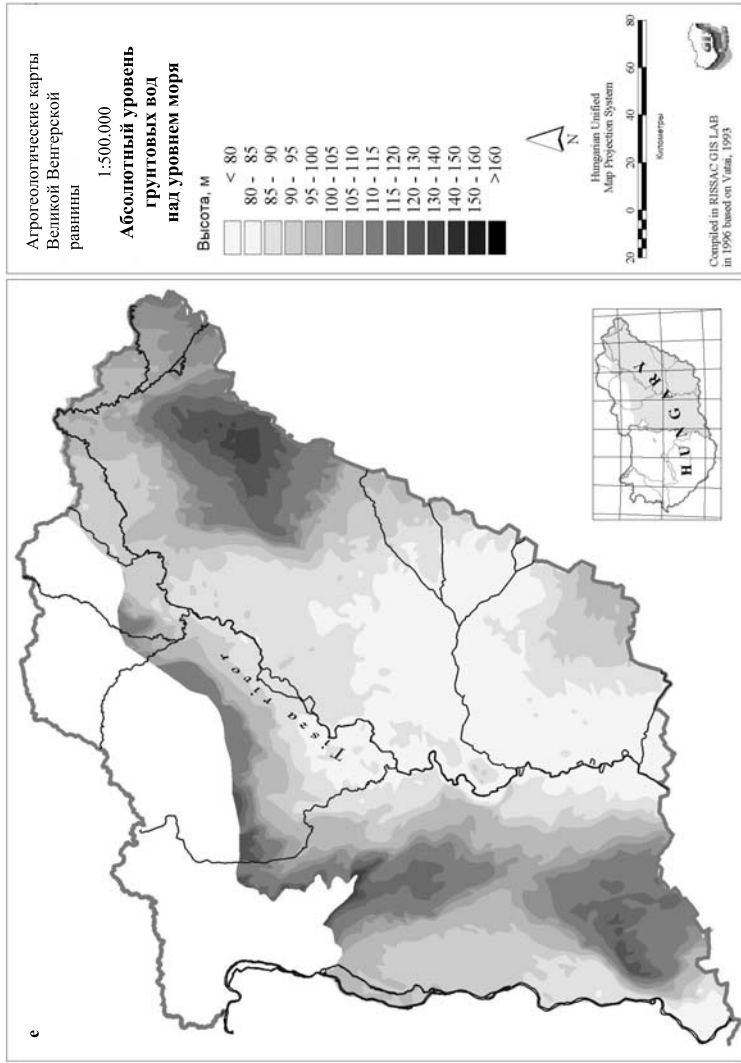


Рис. 1. Карта засоленных почв и гидрогеологические карты Венгрии:  
е – абсолютный уровень грунтовых вод

## ***Обработка картографических данных с помощью ГИС***

Тематические данные карт были переведены на цифровые карты. При помощи точек подгонки координат карты были переведены в Венгерскую унифицированную картографическую проекцию. Карты, отражающие разные факторы засоления почв, были наложены друг на друга как разные слои. Тематическое содержание всех карт было объединено, что означает, что каждый из контуров характеризовался шестью параметрами в отличие от исходных карт, каждая из которых отражала лишь один параметр.

В процессе наложения карт появились мелкие и/или удлиненные контуры. Распределение площадей контуров показало явный максимум на  $0,14 \text{ км}^2$ , и этот размер был принят как минимальный, ниже которого контура удалялись из статистического анализа. С математико-статистической точки зрения, выделы карты представляют собой элементы многомерного пространства факторов. Соответственно, было изучено статистическое поведение 16601 выдела в полученном шестимерном факторном пространстве.

### ***Использованные статистические обработки***

Статистические тесты были основаны на кросс-табуляции данных, используя тип ЗСП как зависимую переменную, а гидрогеологические показатели как независимые переменные. Поскольку количество выделов не обязательно отражает площадь, занимаемую каждым типом ЗСП, в данном тесте были использованы весовые значения, привязанные к данным в строке; в качестве весов использовались площади контуров.

Мы попытались вычислить количественную меру статистической связи между типом ЗСП и гидрогеологическими переменными (категориями легенд исходных карт). В теории информации обычным методом измерения ассоциации между двумя номинальными переменными является вычисление асимметричного коэффициента неопределённости, показывающего относительное уменьшение неопределённости одной из переменных, когда другая переменная известна.

Асимметричный коэффициент неопределённости  $U_{j_i}$  Таблицы 4 вычислялся как:

$$U_{j_i} = (U_j + U_i - U_{ij}) / (U_j),$$

где  $U_{ij} = -\sum_i \sum_j (a_{ij}/N) \log(a_{ij}/N)$

$$U_j = -\sum_j (c_j/N) \log(c_j/N)$$

$$U_i = -\sum_i (r_i/N) \log(r_i/N)$$

$a_{ij}$ ;  $i = 1, \dots, F$ ;  $j = 1, \dots, G$  – величины частоты в кросс-таблице  $F \times G$ , индекс  $j$  обозначает зависимую переменную, а  $i$  обозначает независимую переменную, и где

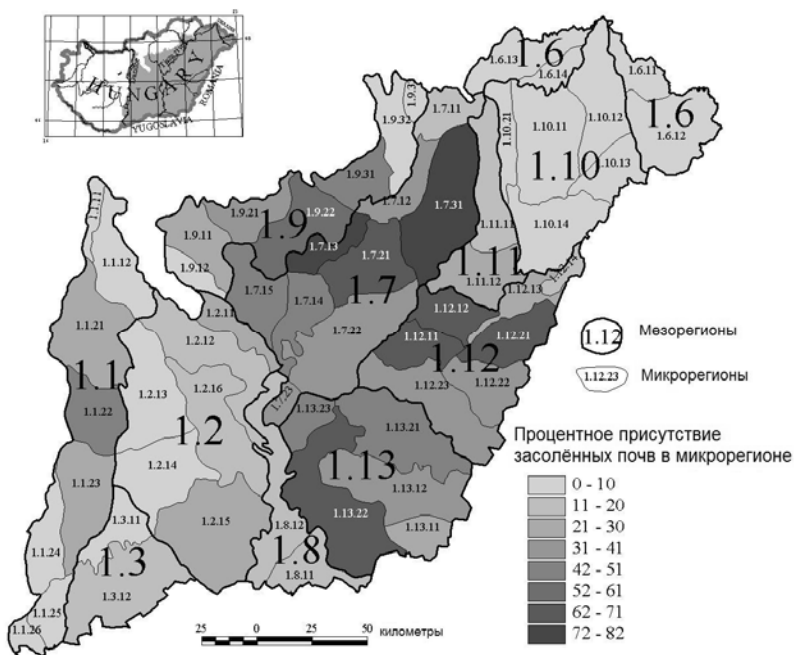
$$r_i = \sum_j a_{ij} \text{ и } c_j = \sum_i a_{ij}, \text{ суммы результатов в строке и колонке,}$$

и  $N = \sum_i \sum_j a_{ij}$ , общий размер выборки, а

значения  $U_{j_i}$  варьируют от 0 до 1. Значение 0 означает, что независимая переменная не даёт информации для прогноза. Значение 1 означает, что независимая переменная полностью определяет прогнозируемую переменную. Преимущество использования коэффициентов неопределённости в их строгой формулировке состоит в том, что они показывают уменьшение энтропии зависимой переменной (как было предложено в теории информации Шанноном (Shannon, 1948)), если независимая переменная известна.

Переменные, полученные из базовых карт, обозначены как: „TFM- gw asl” полученные из «Карты абсолютного уровня грунтовых вод над уровнем моря», „TVM- gw depth” полученные из «Карты глубины грунтовых вод» и „OAT- gw cc” полученные из «Карты общей концентрации растворимых солей в грунтовых водах».

Карта «Таксономическое разделение регионов Венгрии» (Somogyi, 1991) (Рис. 2) была основана на последних геоморфологических и региональных исследованиях. Она представляет иерархическую таксономию регионов. В пределах собственно Великой Венгерской равнины выделяется один макрорегион с 13 мезорегионами, которые подразделяются на 70 микрорегионов. В нашем анализе для количественной оценки мы использовали мезорегионы, однако при представлении результатов мы также использовали и микрорегионы. База данных, созданная на основе базовых карт, была также дополнена этой картой.



**Рис. 2. Географические мезо- и микрорегионы Великой Венгерской равнины с указанием процента площади, занятой засоленными почвами**

На основании карты засоленных почв (Szabolcs, 1974) почва расценивалась как засоленная (ЗСП), если принадлежала к первым 8 группам почв, подверженных засолению, и расценивалась как незасоленная (не-ЗСП), если принадлежала к группам «Потенциально засоленных почв» либо «Незасоленных почв».

Количественная оценка категорий HOMALS (анализ гомогенности методом наименьших квадратов) из пакета программ SPSS Categories (SPSS, 1996) преобразует номинальные переменные в численные путём присвоения количественных значений категориям (математическое обоснование см. Gifi, 1990). Проанализированные таблицы (Табл. 3 и 6) включали площадь (км<sup>2</sup>), покрытую ФАК – типами ионов, и ТКТ – гранулометрический состав как переменные в строках, и мезорегион как переменную в столбце. Переменные, вычисленные SPSS HOMALS были названы ТТКТ1,

ТТКТ2 – количественно оцененные преобладающих типов ионов (изначально ТКТ) и ТФАК1, ТФАК2 – количественно оцененные переменные классов по гранулометрическому составу близких к поверхности отложений (изначально ФАК).

**Таблица 3. Наиболее распространённые категории гидрогеологических переменных и занимаемая ими площадь (в %) в сравнении с общим распространением каждого типа почв**

Почвы/гидрогеология	Последовательность отложений	Ионы в ГВ	Концентрация солей в ГВ, г/л	Глубина ГВ, м	Абсолютная глубина ГВ, м над у.м.
№ 2 Содовый солончак	SSSSS 43%	Ca bi 58%	1-5 60%	2-4 62%	90-95 26%
№ 3 Содовый солончак-солонец	CCGGG 25%	Na bi 60%	1-5 65%	2-4 55%	<80 53%
№ 4 Карбонатный луговой солонец	SISSI 36%	Ca bi 45%	1-5 66%	2-4 83%	<80 26%
№ 6 Карбонатная солонцеватая луговая	SSSSS 52%	Ca bi 70%	0,5-1 57%	2-4 57%	100-105 31%
№ 7 Луговой солонец	CCCCC 66%	Na bi 65%	1-5 70%	2-4 71%	85-90 52%
№ 8 Луговая остепняющаяся почва	CCCCC 67%	Na bi 61%	1-5 75%	2-4 63%	80-85 48%
№ 9 Солонцовая луговая почва	CCCCC 69%	Na bi 52%	1-5 76%	2-4 61%	85-90 40%
№ 10 Глубинно-засоленный чернозём	CCCCC 43%	Na bi 62%	1-5 65%	2-4 74%	80-85 32%
№ 11 Потенциально ЗСП	CCCCC 40%	Ca bi 41%	1-5 61%	2-4 66%	80-85 23%
№ 12 Незасоленные почвы	CCCCC 45%	Ca bi 78%	0,5-1 61%	2-4 50%	120-130 12%

В терминах анализа данных, нашей задачей было предсказать переменную функции (ЗСП) на основании переменных аргумента (ТФАК1 – количественно оцененный гранулометрический состав, ТТКТ1 – количественно оцененный тип ионов, TVM – глубина залегания грунтовых вод, TFM – абсолютный уровень грунтовых вод и ОАТ – общее засоление грунтовых вод). Статистическая обработка проводилась как с включением, так и с исключением количественно оцененных переменных. Случай двухвариантного прогноза (ЗСП/не-ЗСП) был подробным образом обработан, однако приводятся вкратце и результаты трёхвариантного прогноза (ЗСП/потенциальные ЗСП/не-ЗСП). Мы объединили наши данные в 508 групп, гомогенных

по отношению к ЗСП, TVM, TFM, и ОАТ. Переменные ТТКТ1-2 и ТФАК1-2 были рассчитаны как средневзвешенные от соответствующих количественно оцененных переменных, генерированных NOMALS. Взвешивание происходило по площадям контуров.

Было использовано 4 метода статистической обработки: линейная вероятностная модель, логистическая регрессия, дискриминантный анализ и классификационное дерево. Первые три являются стандартными методами статистического анализа, четвёртый же, как нам кажется, недооценивается в почвоведении, поэтому он рассматривается здесь более подробно.

Последовательное разделение данных в соответствии с некоторыми выбранными значениями переменных может быть представлено в виде классификационного и регрессионного дерева (CART) (Breimann et all, 1984.; Breimann-Friedmann, 1985). Виртуальное «дерево», использованное в данной работе было сгенерировано статистическим пакетом программ S-PLUS (1994). Алгоритм начинается со всего множества объектов и выбирает объясняющие (разделяющие) переменные, уточняя классификационное дерево.

Метод CART принимает категориальные переменные в качестве объясняющих переменных, но количество уровней разделения сильно ограничено (поскольку на уровне L категориальная переменная приводит к возникновению  $2^{(L-1)}$  подразделений). Переменные «Преобладающий тип ионов в грунтовых водах» (ТКТ, 29 уровней) и «Классы по гранулометрическому составу близких к поверхности отложений» (ФАК, 18 уровней), были за пределами допустимого количества. Поэтому мы нуждаемся в методе количественной оценки для использования ТКТ и ФАК как объясняющих переменных.

## Результаты и обсуждение

Таблица 2 показывает кросс-таблицу, вычисленную для типов ЗСП и гидрогеологических переменных. Типы ЗСП приводятся на карте (Рис. 1а). Переменные в колонках – это категории (также приводятся оригинальные обозначения на Рис. 1) гидрогеологических карт. В Табл. 2 показаны относительные встречаемости категорий гидрогеологических карт (колонки) в пределах отдельных почвенных типов (строки), сравненные с общим покрытием той же

категории (вся колонка). Для этого мы подсчитали процентное отношение величин. В этом отношении нумератором служил процент площади определённой гидрогеологической категории (колонка) во всей области, занятой определённым почвенным типом (строка).

Деноминатором отношения был общий процент площади определённой категории (колонка) гидрогеологических карт в пределах Великой Венгерской равнины, который приводится в нижней строке Табл. 2 как общий % колонки. Когда это отношение было выше 1,5 – в ячейке таблицы ставилась заглавная X. Это означает, что встречаемость данного почвенного типа (строка) по крайней мере, на 50% больше в данной категории (колонка), чем средняя встречаемость категории (колонка). Когда отношение было менее 0,5, указывая на более низкую встречаемость, в ячейку ставилась точка. Когда отношения были в диапазоне от 0,5 до 1,5, это указывало на то, что встречаемость категории внутри почвенного типа была близка к средней встречаемости категории на всей исследованной территории, и в ячейке ставилась прописная x. Пустые ячейки показывали несуществующие комбинации картографических категорий.

Таблица 3 показывает, в каких категориях соответствующих карт какие типы почв имели наибольшее распространение.

### ***Классы по гранулометрическому составу поверхностных отложений***

В соответствии с опытом (Gardner, 1960), средние классы по гранулометрическому составу и утяжеление последнего с глубиной вызывает капиллярное поднятие влаги из грунтовых вод. В Венгрии А. де Зигмонд (Sigmond, 1927) прогнозировал большую засоленность в почвах с утяжеляющимся с глубиной гранулометрическим составом в связи с нулевым выщелачиванием солей. В противоположность указанным теориям, в данном исследовании категории с утяжелением с глубиной были мало распространены, и не показывали большего покрытия ЗСП, чем другие последовательности отложений.

Связь между типом ЗСП и классами по гранулометрическому составу поверхностных отложений (Табл. 4) была высокой, и раз-

ница в гранулометрическом составе между солонцами и солончаками ясно видна в Табл. 2. Удивительно, что солончаки и карбонатные ЗСП (№№ 3 и 4) тесно связаны с песками, и большая часть их находится в междуречье Дуная и Тисы на отложениях лёгкого состава). Солончаки-солонцы встречаются на песчаных, пылеватых и поверхностно глинистых отложениях. Для развития горизонта В со столбчатой/призматической структурой в солонцах, наиболее распространённых ЗСП в Венгрии, необходимо, чтобы в почвообразующей породе присутствовал тонкий материал. На половине территории Великой Венгерской равнины, покрытой ЗСП, солонцы и солонцеватые почвы встречаются в пределах долины Тисы, и они связаны с глинистыми категориями, такими как CCCC, CSSSS и CSCSS. За исключением двух типов почв, все они показали наибольшую встречаемость либо в категории CCCC, либо SSSSS (Табл. 3). Содовые солончаки-солонцы встречаются чаще всего на отложениях тяжёлого гранулометрического состава, подстилаемых гравием, отложенным Дунаем (CCGGG).

Таблица 4. Матрица соответствия между изученными картами (n=16,601)

Значения коэффициента неопределённости (значения T и их значимость в скобках) между					
Переменная (карта)	Класс по гранулометрическому составу	Преобладающие ионы	Содержание растворимых солей	Глубина залегания грунтовых вод	Абсолютный уровень грунтовых вод
Тип ЗСП	0.08 (61, 0.00)	0.13 (80, 0.00)	0.05 (44, 0.00)	0.03 (32, 0.00)	0.16 (93, 0.00)
Класс по гранулометрическому составу		0.07 (60, 0.00)	0.02 (34, 0.00)	0.02 (33, 0.00)	0.10 (77, 0.00)
Преобладающие ионы			0.10 (61, 0.00)	0.02 (27, 0.00)	0.16 (84, 0.00)
Содержание растворимых солей				0.01 (16, 0.00)	0.11 (49, 0.00)
Глубина залегания грунтовых вод					0.084 (49, 0.00)

### *Преобладающие ионы в грунтовых водах*

Ряд исследователей (Eugster and Jones, 1979; Timpson and Richardson, 1986) показали, что в ходе процесса транспорта, парал-



тельно с увеличением концентрации, натрий имеет тенденцию преобладать в ионном составе грунтовых вод. В Венгрии Э. Эндrédi (Endrédi, 1941) предложил модель аккумуляции солей в масштабе Карпатского бассейна, в которой первичный источник растворимых солей – выветривание риолитовых вулканических туфов в горных системах, окаймляющих Великую венгерскую равнину. Дождевые воды вымывают соли в грунтовые воды, которые стекаются в самые нижние точки равнины, и там, вследствие отношений растворимости, ионы натрия накапливаются.

Данные поддерживают эту концепцию. Соответствие типов почв с преобладающими ионами в грунтовых водах (Табл. 4) было высоким. В Табл. 2 солончаки значительно более распространены в районах, где в составе грунтовых вод преобладают ионы Mg и  $\text{HCO}_3$ , чем в среднем. Обычно ЗСП встречаются в районах, где преобладающий катион – Na и преобладающий анион –  $\text{HCO}_3$ . Табл. 3 показывает, что все типы почв имеют наибольшее распространение в районах с типом засоления грунтовых вод “Na bi” либо “Ca bi”, причём первый тип характерен для солонцов и солончаков-солонцов.

### ***Общая концентрация растворимых солей в грунтовых водах***

Часто существует тесная связь между засоленностью грунтовых вод и почв (Henry et al., 1985), поскольку большие концентрации солей в грунтовых водах увеличивают поток солей в почву, что было подтверждено для Венгрии (De Sigmond, 1927; Scherf, 1935; Endrédi, 1941; Darab, 1967).

Табл. 2 подтверждает эти идеи, поскольку встречаемость не-ЗСП выше в районах, где минерализация грунтовых вод менее 1 п/л. Табл. 3 показывает, что категория с концентрацией солей 1–5 г/л наиболее часто встречается в почти всех почвенных типах, соответственно, коэффициент неопределённости в Табл. 4 низок. Солонец, в отличие от содового солончака и содового солончака-солонца, имеет большую встречаемость, чем в среднем в случае, если засоленность грунтовых вод выше 5 г/л.

### ***Глубина залегания грунтовых вод***

Когда грунтовые воды залегают неглубоко, вероятность накопления солей в возрастает (Fullerton, Pawluk, 1987) в результате увели-

чения потоков солей в почву. В Венгрии существует несколько типов почв, которые могут быть связаны с высоким уровнем грунтовых вод, наиболее важные из которых луговые и торфянистые почвы, которые занимают 17% территории равнины. На Рис. 1 и в Табл. 1 большая часть этих почв была включена в категорию потенциальных ЗСП, поэтому соответствие типу почв было низким, как показывает коэффициент неопределённости (Табл. 4). Табл. 2 показывает, что встречаемость не-ЗСП больше в районах с глубоко залегающими грунтовыми водами, чем в среднем. Солончаки и солончаки-солонцы встречаются над более близкими к поверхности грунтовыми водами, чем солонцы. Луговые солонцы встречаются над более глубоко залегающими грунтовыми водами, чем солонцеватые луговые почвы. Табл. 3 показывает, что для каждого из типов почв наиболее частой категорией была глубина залегания грунтовых вод 2-4 м, поэтому соответствие для данной карты было наименьшим.

Другая причина, по которой встречаемость типов ЗСП показала низкое соответствие уровню грунтовых вод, связана с современной антропогенной откачкой грунтовых вод. Табл. 2 приводит значительно более низкие уровни грунтовых вод, чем обычно описывается для формирования типов ЗСП. Более того, соответствующие карты составлялись на основе наблюдений в течение двух десятилетий, без учёта сезонных и временных изменений уровня грунтовых вод.

### ***Абсолютный уровень грунтовых вод над уровнем моря***

ЗСП главным образом располагаются либо на самых низких, либо на близких к таковым позициях в аллювиальных топориях (Fullerton, Pawluk, 1987), и могут быть охарактеризованы типичными диапазонами абсолютных высот. В соответствии с Л. Крейбигом и Э. Эндреди (Kreybig, Endrédi, 1935) и Э. Эндреди (Endrédi, 1941), встречаемость ЗСП в пределах Великой Венгерской равнины ограничена некими зонами с определёнными диапазонами абсолютных высот. Эти авторы установили, что абсолютные высоты имеют сильное влияние на распространение ЗСП опосредованно, через уровень грунтовых вод, поэтому уровень грунтовых вод, выраженный в абсолютных отметках превышений, как ожидалось, должен быть фактором, сильно связанным с встречаемостью ЗСП.

Эта концепция уверенно подтвердилась нашими данными. Связь с типами почв была самой высокой. В Табл. 2 не-ЗСП чаще встречаются в категориях с более высоким уровнем грунтовых вод. Большая часть солончаков встречается на высотах 90–100 м, но некоторые встречаются на высотах залегания грунтовых вод от 120 до 140 м. Последние встречаются в верхней части долины Тисы, над маленькими карманами неглубоко залегающих засоленных грунтовых вод. Разница между высотами уровня грунтовых вод солончаков и карбонатных луговых солонцов показывает, что последние находятся ниже, близко к р. Тиса. Разница между высотами долин Дуная (более высокие) и Тисы ясно отражается в том, что луговой солонец (типичный для долины Тисы) встречается при более низких абсолютных уровнях залегания грунтовых вод, чем солончаки. Табл. 3 показывает, что в верхнем течении Тисы встречаемость луговых солонцов (абсолютный уровень грунтовых вод 85–90 м над уровнем моря) выше, чем в нижнем течении. Табл. 3 показывает, что бескарбонатный солонец и связанные с ним почвы (3, 7, 8, 9, и 10) часто встречаются в сходных условиях (глина, Na и  $\text{HCO}_3$  преобладают в грунтовых водах, 80–90 м над уровнем моря). Содовый солончак и карбонатный солонец (2, 4, и 6) наиболее часто встречаются на песке в случае, если Ca – преобладающий ион в грунтовых водах. Одна комбинация наиболее распространённых категорий делилась двумя типами почв: луговым солонцом и солонцеватой луговой почвой (7 и 9), которые очень похожи и разделяются только на основании структурных особенностей горизонтов А и В.

### ***Взаимная зависимость гидрогеологических переменных***

Как показывает Табл. 4, ассоциации, выраженные через коэффициент неопределённости, между гидрогеологическими переменными были не так сильны, как ассоциации типов ЗСП с гидрогеологическими переменными. Это доказало, что гидрогеологические переменные и ЗСП имели множественные взаимные связи.

Все рассчитанные ассоциации были значимыми в силу большого количества контуров. Ассоциации не могут быть улучшены дополнительным отбором образцов, поскольку количество образцов и так было достаточным. Разница между ассоциациями показывает

степень взаимной зависимости. Самые высокие значения были обнаружены для ассоциаций а) преобладающий тип ионов и абсолютный уровень грунтовых вод (0,16), б) концентрация растворимых солей и абсолютный уровень грунтовых вод (0,16), в) класс по гранулометрическому составу и абсолютный уровень грунтовых вод (0,10), г) преобладающий тип ионов и концентрация растворимых солей (0,10). Величины коэффициента неопределённости ненамного меньше, чем нижний предел в 0,13, предложенный русскими почвоведом (Сорочкин, 1977). Результаты подтверждают важность учёта не отдельных факторов, а комбинации взаимодействующих факторов для формирования ЗСП. Пески и лёссы, отложенные в форме дюн и плато, быстро выщелачиваются, и в этом случае уровень грунтовых вод низок, но на пониженных участках, в современных аллювиальных долинах, уровень грунтовых вод высок, и тяжёлые глинистые отложения благоприятствуют накоплению солей. Благодаря небольшой глубине залегания грунтовых вод испарение последних выше, и соответственно возрастает концентрация солей в грунтовых водах. Из-за разницы в растворимости солей в грунтовых водах соли Ca и Mg осаждаются при более низких концентрациях, и поэтому в большей части грунтовых вод имеется тенденция к доминированию наиболее растворимых сульфатов и хлоридов натрия в более засоленных грунтовых водах.

Эта схема подтверждает теории, выдвинутые рядом венгерских учёных (Endrédy, 1941; Várallyay, 1967; Erdélyi, 1979; Tóth, 1984) о роли аккумуляции солей в масштабе бассейна и их концентрации в грунтовых водах.

### *Прогноз засоленных почв с помощью регрессионных методов*

Результаты использования методов множественной линейной и логистической регрессии для прогноза засоленности почв приводятся в Табл. 5. В случае использования ординированных переменных: TFM или «Абсолютный уровень грунтовых вод над уровнем моря», TVM или «Глубина залегания грунтовых вод», OAT или «Общая концентрация растворимых солей в грунтовых водах», наблюдалась слабая корреляция, объясняющая только 15% общего варьирования. Логистическая регрессия дала значительно лучшие результаты с точностью около 70%, однако точность прогноза присутствия ЗСП была всего 31%.

Таблица 5. Сводка регрессионных моделей и оцененных параметров

**А. Множественная линейная регрессия**

	Без номинальных переменных	С вычисленными номинальными переменными
R2	0,149	0,296
Остаточный MS	0,183	0,151
F-тест модели	253	363
P>F	0,0000	0,0000
Оценки параметров		
Пересечение	-0,399 (0,042)	0,550 (0,040)
b1:TFM – абсолютный уровень грунтовых вод	-0,049 (0,002)	0,044 (0,004)
b2:TVM – глубина залегания грунтовых вод	-0,019 (0,008)	-0,078 (0,007)
b3:OAT – концентрация солей	0,083 (0,112)	-0,119 (0,012)
b4:ТТКТ1 – тип ионов	не включён	-0,317 (0,015)
b5:TFAK1 – гранулометрический состав	не включён	-0,187 (0,020)

**А. Множественная логистическая регрессия**

	Без номинальных переменных	С вычисленными номинальными переменными
Общая точность, %	69	79
Точность для засоленных почв, %	31	63
Chi-квадрат модели	791	1548
Значимость	0,0000	0,0000
Оценки параметров		
Пересечение	0,334 (0,256)	1,830 (0,339)
b1:TFM – абсолютный уровень грунтовых вод	-0,347 (0,018)	0,333 (0,036)
b2:TVM – глубина залегания грунтовых вод	-0,239 (0,050)	-0,964 (0,071)
b3:OAT – концентрация солей	0,409 (0,063)	-1,007 (0,097)
b4:ТТКТ1 – тип ионов	не включён	-2,022 (0,127)
b5:TFAK1 – гранулометрический состав	не включён	-1,682 (0,167)

У нас имелось ещё две переменные, которые было невозможно включить в анализ, поскольку они были номинальными («преобладающие типы ионов в грунтовых водах» и «Классы по гранулометрическому составу поверхностных отложений»), поэтому мы использовали для их численного выражения программу NOMALS.

## Регионализация районов засоления

Районы засоления почв в Венгрии неоднократно подразделялись на регионы (Treitz, 1924, 1934; De Sigmond, 1927; Arany, 1956; Herke et al., 1959). Поскольку иерархическая таксономия регионов Великой Венгерской равнины, представленная Шомоги (Somogyi, 1991) показала хорошее соответствие с ранее цитированными предложениями, мы приняли их как единицы, отражающие пространственную природу накопления солей. Карта регионов (Рис. 2) показывает, что регионы с высоким покрытием ЗСП образуют почти непрерывный контур (микрорегионы 1.7.13, 1.7.21, 1.12.11, 1.12.12, 1.12.21). Регионы с меньшими площадями, занятыми ЗСП, образуя постепенные переходы, окружают регионы с высоким содержанием ЗСП. На западном конце Великой Венгерской равнины у р. Дунай находится участок, ориентированный с севера на юг (микрорегионы 1.1.21., 1.1.22, 1.1.23), который включает большую часть участков, занятых солончаками-солонцами.

Таблицы соответствия мезорегионов (Табл. 6 и 3) были использованы при трансформации вышеуказанных двух категорийных переменных процедурой NOMALS как описано в Материалах и методах. В первой строке (исходный код на карте 21) и колонке Табл. 6 число «435» показывает площадь (в км<sup>2</sup>) территории, имеющей последовательность отложений по гранулометрическому составу SSSSS (песок для всех 2-метровых слоёв 10-метровой толщи), находящейся в пределах мезорегиона № 1. Номер «31» в последней строке Табл. 7, для которого исходный код на карте – 108, показывает площадь (в км<sup>2</sup>) территории, где преобладающие ионы в грунтовых водах Ca/Mg/Na и бикарбонат/Cl. Эта территория попадает в пределы мезорегиона № 8.

### Количественное выражение номинальных переменных

Рис. 3 и 4 показывают отношение новых переменных, полученных методом NOMALS к категориям гидрогеологических карт, из которых они были получены. На Рис. 3 позиция категорий карты «Классы по гранулометрическому составу поверхностных отложений» показана в плоскости двух выраженных количественно переменных гранулометрического состава, TFAK1 и TFAK2. Глинистые

последовательности обычно встречаются около –1 и 0,5, песчаные последовательности около 1 и 0, а смешанные гравийные – около 0 и –5. Между ними находятся пылеватые последовательности от –0,4 и 0,8 до 0,6 и 0,8. Основной фактор группировки на рисунке был тип поверхностных отложений, за исключением гравийных последовательностей, поскольку гравий не встречался на поверхности. Таким образом, ТФАК1 представляет собой переменную глины – пыли – смешанного гравия – песка, что может быть интерпретировано как серия отложений медленных потоков – быстрых потоков – эоловых наносов. ТФАК2 выражает контраст серий смешанных гравийных последовательностей – более гомогенных последовательностей.

**Таблица 6. Таблица соответствия карт «Таксономическое разделение регионов Венгрии» и «Классы по гранулометрическому составу поверхностных отложений Великой Венгерской равнины» в форме площадей контуров, полученных при их наложении**

	Мезорегионы												Сум- ма
	Код	1.1	1.1	1.3	1.6	1.7	1.8	1.9	1.10	1.11	1.12	1.13	
SSSSS	21	435	2400	414	264	334	66	946	3766	30	87	168	8911
SSCCC	22	75	1528	288	32	87	141	99	292	15	10		2568
SCCCC	23	13	117	83	11	105	21		12			8	370
SISSI	24	153	1610	317			124		140	14			2358
SSGGG	25	342	15					235					592
SCSCC	26				12	62		8	2		47		131
SCGGG	27	154											154
IIII	31	2	150	222		84	24		0	176			658
IISSS	32	4	128	77		564	150		1	134	80	493	1631
ISSSS	33	123	17	104	42	146	323		42	42	46	5	890
ISIIS	34	16	417	479	1	4	45		79	53			1095
ICCCI	36						2			8	25	44	79
CCCCC	41	60	207		1005	4552	515	1759	74	831	2379	3184	14565
CCSSS	42	398	40	4	910	426	99	194	84	251	536	319	3261
CSSSS	43	1073	122	7	227	533	57	176	25		656	672	3549
CICII	44	73	141			88	29			56	11	37	434
CCGGG	45	870	24					79					972
CSCSS	46		40		107	128	12	294	33		358	208	1180
Сумма, км <sup>2</sup>		3789	6958	1994	2610	7114	1608	3790	4551	1611	4235	5138	43398

Примечания: обозначения по гранулометрическому составу см. Табл. 2  
Коды последовательностей отложений соответствуют карте (Рис. 16)  
Индексы регионов см. Рис. 2.

**Таблица 7. Таблица соответствия карт «Таксономическое разделение регионов Венгрии» и «Преобладающие ионы в грунтовых водах Великой Венгерской равнины» в форме площадей контуров, полученных при их наложении**

Катионы	Анионы	Мезорегионы											Сумма	
		1.1	1.2	1.3	1.6	1.7	1.8	1.9	1.10	1.11	1.12	1.13		
Na	biCl <sub>su</sub>	10				76	7			2		89	173	
Na	Cl	11				18	28					12	58	
Na	su	14	98			600	69	98		41	52	355	1314	
Na	subi	16										38	38	
Na	bi	17	934	1177	221	21	3842	677	560	142	1290	1662	4092	14617
Na	bisu	19										26	26	
NaMg	su	24	2			118		48					168	
NaMg	bi	27				38		36	22	19	16		131	
NaMg	bisu	29					23						23	
NaCa	bi	37				13							13	
NaCa	biCl	38									23		23	
Mg	su	44	57										57	
Mg	subi	46	19										19	
Mg	bi	47	246	958	551	28	1	333	52		6		2185	
MgNa	Cl	54				3		46					49	
MgCa	su	66	27										27	
MgCa	bi	67	598	95	171								864	
Ca	Cl	71				11							11	
Ca	Cl <sub>su</sub>	72			9								9	
Ca	su	74	5		234	60	92	36	10		30		467	
Ca	subi	76			13								13	
Ca	bi	77	1533	4272	944	2216	1917	626	2310	4313	260	2248	433	21071
Ca	bisu	79	13										13	
CaNa	biCl <sub>su</sub>	80				13	1						14	
CaNa	bi	87	27	19	18	80	52						196	
CaMg	bi	97	142	240	55	17	1	87			25		568	
CaMgNa	su	104			13				12		57	21	104	
CaMgNa	bi	107	208	69	35	23	308	52	235		1	115	73	1117
CaMgNa	biCl	108						31					31	
Сумма, км <sup>2</sup>		379	6958	1994	2610	7114	1608	3790	4551	1611	4235	5138	43398	

На Рис. 4 позиция категорий карты «Преобладающие типы ионов в грунтовых водах» показана в плоскости двух количественно определённых переменных типа ионов. Имеется три группы связанных с Na (-2, 0), Ca (0,4, -2) и Mg (1, 4). Анионы имеют меньшее значение, преобладание хлоридов может быть обнаружено около -2,5 и 0, суль-





Первые из числовых переменных, ТТКТ1 – количественно выраженный тип ионов и ТФАК1 – количественно выраженный гранулометрический состав (Табл. 5) были использованы в регрессионном анализе. В случае множественной линейной регрессии это привело к росту объяснения общей вариабельности с 15 до 30%, но всё же объяснительная способность оставалась низкой. В случае логистической регрессии включение двух новых переменных улучшило точность до почти 80%, но всё же для ЗСП она оставалась не очень высокой (69%). Дальнейшее включение ТКТ2 и ТФАК2 (результаты не приводятся) не привело к существенному повышению точности.

Низкая результативность данного метода оценки может быть объяснена тем, что отношение объясняющих переменных и процесса накопления солей не являются ни линейными, ни аддитивными. Поэтому мы обратились к методу классификационного дерева.

### ***Классификационное дерево для прогноза присутствия засоленных почв***

На Рис. 5 мы представляем наиболее важные результаты, полученные методом CART, как объяснено в Материалах и методах. При разделении были использованы все численные переменные, обсуждавшиеся ранее: ТТКТ1, ТФАК1, ТФМ, ОАТ и TVM. Основные разделения отмечаются в плоскости ТТКТ1 – количественно выраженных типов ионов и ТФАК1 – количественно выраженного гранулометрического состава поверхностных отложений на Рис. 6. В этой плоскости концептуально вероятность накопления солей находится в обратной зависимости от значений ТФАК1 и ТТКТ1 как обсуждалось ранее. В случае преобладания тонких частиц (ила и пыли) в почве и подповерхностных материалах, движение растворов медленно, однако глубина слоёв, подверженных капиллярным подъёмом, велика. Соответственно, соли могут проникать в почву из грунтовых вод и впоследствии с трудом выщелачиваются. Песок и гравий не имеют высокого капиллярного поднятия из грунтовых вод и позволяют солям быстро выщелачиваться из поверхностных слоёв. Когда Na преобладает в катионном составе грунтовых вод, он немедленно воздействует на почвенные свойства, особенно если почва глинистая, в силу внедрения ионов Na в поглощающий комплекс. Ионы Mg действуют приблизительно так же, как и натрия,

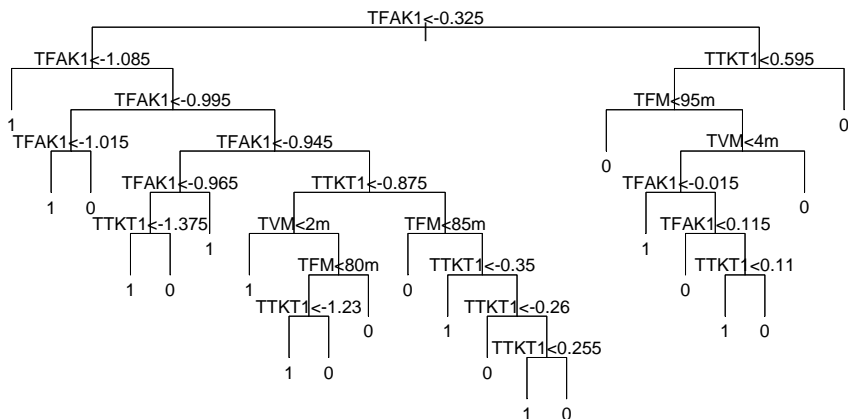


Рис. 5. Классификационное дерево для разделения засоленных почв (1) от незасоленных почв (0). Степень неправильной классификации 0,036

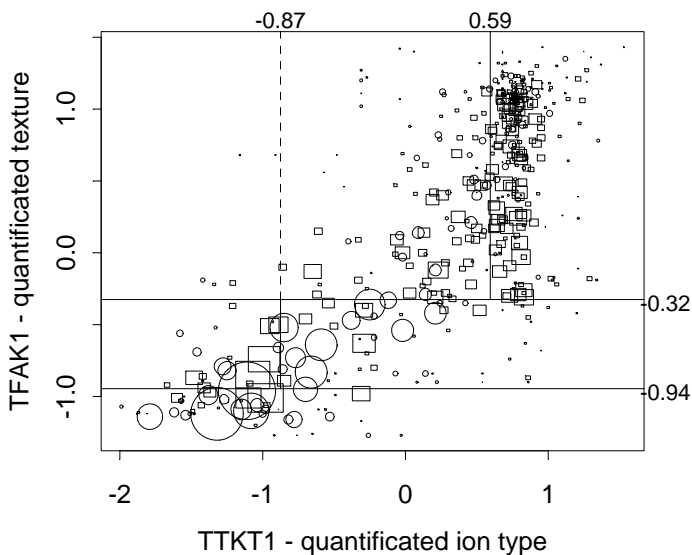


Рис. 6. Основные расщепления классификационного дерева в плоскости TTKT1 (количественно оцененный тип ионов) – TFAK1 (количественно оцененный гранулометрический состав с указанием засоленных (○) и незасоленных почв (□). Размер символов отражает относительную площадь, занимаемую почвами

но ионы Са обычно не вызывают накопления солей в условиях Великой венгерской равнины. Основная тенденция, определяемая различиями в поведении основных катионов, модифицируется преобладающими анионами. Концентрация сульфатов обычно более тесно связана с накоплением солей, чем присутствие бикарбонатов, особенно если концентрация сульфатов высока. Причина этого лежит в том, что в ходе потока и концентрации грунтовых вод происходит изменение её состава, и при высоких концентрациях солей в грунтовых водах сульфаты всё более преобладают.

Разделения обсуждаются, как показано на Рис. 6, который также принимает во внимание размер отдельных листьев (окончательных продуктов подразделения на концах ветвей). Первое разделение было произведено при TFAK1 – количественно оцененном гранулометрическом составе =  $-0,325$ , и оно разделяет отложения с поверхностным глинистыми или пылеватыми слоями, в которых встречаемость накоплений солей значительно выше, чем в других. На левой ветви дерева, разделение при TFAK1= $-1,085$  и главным образом при TFAK1= $-0,945$  отделяют наиболее экстремально глинистые случаи накопления солей, в которых доминирует Na; результирующая полоса – это «Na-глинистая полоса». После небольших (учитывая пространственное распространение) расщеплений в пылевой полосе, выделяется одно существенное при TTKT1 – количественно выраженном ионном составе =  $-0,875$ , которое отделяет типы грунтовых вод с преобладанием Na и бикарбонатов от грунтовых вод, где преобладает Na/Mg/Ca и сульфаты. Сульфаты связаны с большей вероятностью аккумуляции солей («Na/Mg/Ca-пылеватая-пылеватая полоса») и часть полосы  $< -0,875$  имеет меньшее покрытие засоленных почв. В этой «Na-бикарбонат-пылевой» полосе преобладание пылевой фракции связано с лёссовыми отложениями, которые содержат CaCO<sub>3</sub> и при выветривании легко продуцируют ионы Na, поскольку содержат полевые шпаты (Szendrei, 1989)<sup>1</sup>. В то же время, следующее расщепление на левой ветви показывает, что подверженные засолению районы имеют бо-

---

<sup>1</sup> Это утверждение остаётся целиком на совести автора; натриевые полевые шпаты – одни из самых устойчивых к выветриванию минералов, и трудно говорить о «лёгкости», с которой натрий переходит в раствор при выветривании натриевых плагноклазов в условиях умеренного климата (ред.)

лее высокий уровень грунтовых вод (расщепление при TVM – глубина залегания грунтовых вод < 2 м) и обычно залегают ниже (расщепление при TFM – абсолютный уровень грунтовых вод < 80 м, как показано в Табл. 2), чем не-ЗСП. На правой ветви дерева расщепление при ТТКТ1=0,595 разделяет две области с низким содержанием ЗСП. Тем не менее, выделяются «Ca/Mg-песчано-песчаная полоса», где преобладание сульфатов указывает на несколько большую вероятность засоления, в то время как «Ca/Mg-бикарбонат-песчаная полоса» не подвержена засолению. Общая точность классификационного дерева приемлема: 96%, при этом для ЗСП 91% и для не-ЗСП – 99%.

Рис. 7. показывает основные расщепления и позиции микрорегионов, отражённых на Рис. 2 и в Табл. 2 и 3 в плоскости двух количественно определённых переменных. Мезорегионы хорошо выделяются. Практически не наблюдается пересечения между ними, хотя мезорегионы № 9 и 1 расположены близко. Эти территории различны в отношении абсолютного уровня грунтовых вод, № 9 равномерно расположен между 95 и 130 м, а № 1 имеет большую часть своей территории с абсолютным уровнем грунтовых вод ниже 95 м.

Участки Южной и Средней долины Тисы, расположенные в нижней левой части Рис. 7 (отрицательные значения ТТКТ1 и TFAK1) образуют более или менее непрерывную секцию. Участки Северной долины Тисы расположены в нижней правой части (положительные значения ТТКТ1 и отрицательные – TFAK1). В средней правой части (около положительных значений ТТКТ1 и нулевых – TFAK1) располагаются микрорегионы долины Дуная. Песчаные участки прочих территорий Великой Венгерской равнины располагаются в верхней правой секции. Микрорегион 1.2.11. «Герье-Перье» находится вне своего мезорегиона «Долина междуречья Дуная и Тисы», и приближается к своему геометрическому соседу, 1.8.12. «Южная долина Тисы», и это вызывает сомнения в подразделении региона № 8 «Нижняя долина Тисы». Сходным образом 1.12.14. «Лёссовое плато Эр-шиде» лежит вне региона № 12 «Береттьо-Кёрёш», а также мезорегионы № 11 «Хайдусаг», 1.7.2. «Нагикуншаг», и № 13 «Междуречье Кёрёш-Марош» показывают значительный разброс.

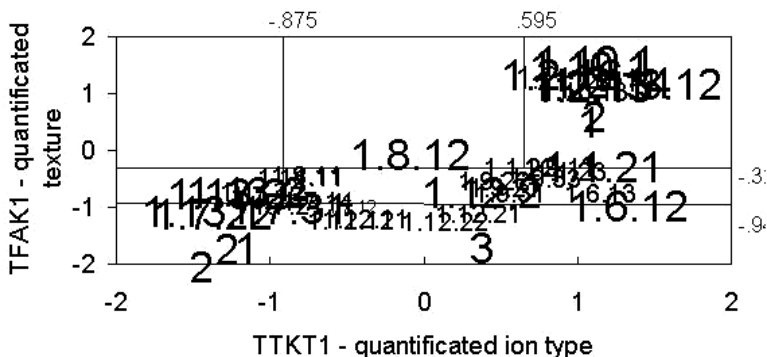


Рис. 7. Основные расщепления классификационного дерева в плоскости ТТКТ1 (количественно оцененный тип ионов) – ТФАК1 (количественно оцененный гранулометрический состав с указанием основных микрорегионов. Микрорегионы с большей площадью (Рис. 1) показаны более крупными шрифтами. Обозначения микрорегионов те же, что и на Рис. 1

Рис. 8 показывает классификационное дерево трёх категорий, в данном случае также выделяя потенциально засоленные почвы и почвы, которые могут стать засоленными или содовыми в результате неправильной ирригации. Переменные использовались те же, что и в Рис. 5. Общая точность прогноза была приемлемой – 91%, 87% для ЗСП, 92% для потенциальных ЗСП и 94% для не-ЗСП. В этом случае опять наиболее важные расщепления были в плоскости ТТКТ1 (количественно оцененный тип ионов) – ТФАК1 (количественно оцененный гранулометрический состав). Большинство расщеплений соответствует с таковыми на Рис. 5, однако присутствует ещё один, первое расщепление по ТТКТ1 (количественно оцененный тип ионов) = 0,265. С левой стороны расщепления находятся участки, где преобладающий катион Na, имеющие большую вероятность накопления солей, а справа – грунтовые воды с преобладанием Ca/Mg, где отложения представлены песчаными последовательностями. С левой стороны дерева первым отделяется «Na-глинистая полоса», затем следующее расщепление отделяет верхний левый угол плоскости ТТКТ1 – ТФАК1 как главным образом потенциально засоленные. Продолжая движение полевой стороне, мы оказываемся на тех же вервях, что мы видели и на двух-

категорийном классификационном дереве на Рис. 5. С правой стороны дерева, сначала нижний левый угол плоскости ТТКТ1 – ТФАК1 разделяется на значения ТФАК1 (количественно выраженного гранулометрического состава) = 0. Следующее расщепление при ТТКТ1=0,685 отделяет главным образом не-ЗСП с правой стороны, вследствие преобладания Са и Mg в грунтовых водах. С левой стороны расщепление продолжается и классы, имеющие больше глины (ТФАК1 < 0,135) потенциально подвержены засолению, а на других ветвях большая глубина залегания грунтовых вод под поверхностью или более высокий абсолютный уровень грунтовых вод указывает на меньшую вероятность накопления солей.

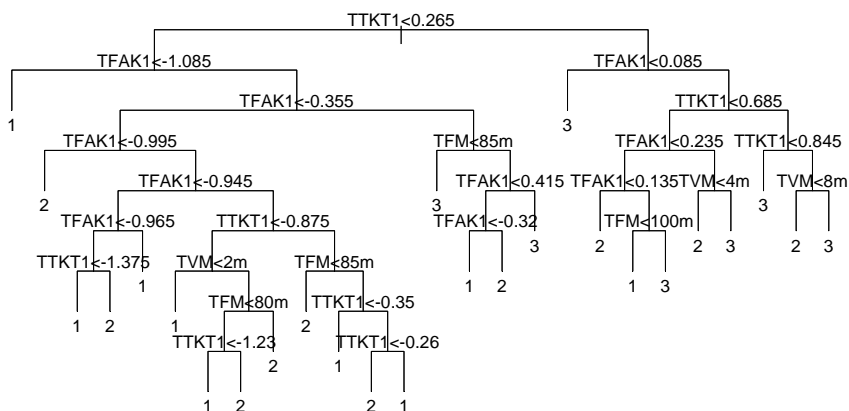


Рис. 8. Классификационное дерево для разделения засоленных почв (1) от потенциально засоленных почв (2) и незасоленных почв (3). Степень неправильной классификации 0,088

### Обсуждение и заключение

Когда почвенные карты оцениваются в отношении распространения факторов почвообразования, может быть получен более глубокий взгляд на процессы, отвечающие за пространственное распределение почв. Мы оцифровали существующую карту ЗСП (зависимую переменную) и пять карт гидрогеологических и химических параметров (независимые переменные), и определили статистическую зависимость между почвами и внешними факторами для почв Великой Венгерской равнины.

Независимые переменные: абсолютный уровень грунтовых вод над уровнем моря, химический состав грунтовых вод и классы отложений по гранулометрическому составу сильнее всего, в убывающем порядке, коррелировали с типом почв (Табл. 4). В междуречье Дуная и Тисы самые распространённые типы почв, солончаки, солончаки-солонцы, карбонатные луговые солонцы и карбонатные солонцеватые луговые почвы, встречаются над неглубоко залегающими грунтовыми водами. Солончаки встречаются в двух диапазонах частотного распределения в отношении абсолютного уровня грунтовых вод: один на уровне долины Дуная, и другой на различных высотах в междунных понижениях в песчаных районах. В отличие от долины Тисы, встречаемость солонцов и солонцеватых почв была связана с более узким диапазоном абсолютных уровней грунтовых вод.

Статистическое отношение между факторами и почвами подтверждает важность комплексной модели, а не отдельно взятых факторов во встречаемости ЗСП, как было отмечено Г. Вараллеем (Várallyay, 1967) для долины Дуная. В этой модели присутствует взаимное отношение позиции по рельефу, глубины залегания, концентрации и состава грунтовых вод. На больших абсолютных высотах междуречья Дуная и Тисы обнаруживаются незасолённые грунтовые воды с преобладанием Са, а в локальных долинах солончаки обнаруживаются обычно над концентрированными грунтовыми водами. Напротив, на малых абсолютных высотах долины Тисы, где обнаруживаются грунтовые воды с преобладанием Na, солонцовые почвенные типы чаще всего формируются на обширных ровных участках.

Значения коэффициентов неопределённости между картами были низкими, но все были статистически значимыми при  $p < 0,0001$  и сравнимыми с ранее сообщавшимися. Возможная причина, по которой коэффициенты неопределённости так малы, связана с тем, что современная антропогенное воздействие привело к падению уровня грунтовых вод. Это, кроме того, приводит к тому, что почвы изменяются в соответствие с новой гидрологической ситуацией, и солончаки превращаются в солончаки-солонцы (Tóth and Blaskó, 1998).

Исследованные факторы, как сообщалось ранее, влияют на распространение ЗСП на Великой Венгерской равнине. Важность глубины залегания грунтовых вод (Mados, 1943; Darab, 1967) и концентрации солей в грунтовых водах (De Sigmond, 1927; Scherf,



1935; Endrédy, 1941; Erdélyi, 1979) обсуждались наиболее широко, а абсолютный уровень грунтовых вод над уровнем моря обсуждался несколькими исследователями (Kreybig and Endrédy, 1935, Endrédy, 1941). Важность распределения частиц по размерам и стратификации отложений подчёркивалась А. Де Зигмонтом (De Sigmond, 1927) и в последние годы Р. Дж. Эйлерсом с соавторами (Eilers et al., 1997) и Дж. М. Бреддом с соавторами (Bradd et al., 1997), как описывалось во Введении. В Венгрии К. Дараб (Darab, 1967) подчеркнул относительную важность натрия в формировании ЗСП. Г. Вараллай (Várallyay, 1968) соотнёс различные химические типы грунтовых вод с разными типами почв в долине Дуная. В особенности преобладание натрия было тесно связано со встречаемостью солончаков, в то время как преобладание кальция было связано с аллювиальными почвами. Отношение между химическим составом грунтовых вод и засоленностью почв отмечалось также рядом зарубежных исследователей (Benz et al., 1961; Bazilevich, 1970; Arndt and Richardson, 1989).

Существуют многочисленные теории, которые объясняют различия в высотах, глубине залегания, концентрациях и химическом составе грунтовых вод между бассейнами; такова теория потока грунтовых вод Т. Тота (Tóth, 1984) и ряд теорий, предложенных для долины Дуная (Kovács, 1960; Várallyay, 1968; Kuti, 1989).

Выделение крупных регионов – обычная практика в географии, это одна из первых вещей, которая делается при возникновении научной проблемы. В Венгрии выделенные регионы, как кажется, хорошо представляют закономерности накопления солей. В процессе трансформации переменных ФАК (Классы по гранулометрическому составу поверхностных отложений) и ТКТ (Преобладающие типы ионов в грунтовых водах) из номинальных в численные, алгоритм NOMALS дал сходные точки масштаба обозначениям карт, которые часто встречались вместе.

Точность прогноза встречаемости ЗСП систематически возрастала с включением количественно оцененных номинальных переменных. Логистическая регрессия дала лучший прогноз, однако по-прежнему недостаточный для прогноза.

Использование классификационного дерева позволило точный прогноз встречаемости ЗСП. По сравнению с точностью 69%, полу-

ченной с помощью логистической регрессии, классификационное дерево дало точность 73% без включения новых количественно оцененных переменных (классификационное дерево и детали не приводятся). После включения ТКТ1 – количественно оцененного типа ионов и ТФАК1 – количественно оцененных классов по гранулометрическому составу, общая точность возросла до 96% при прогнозе наличия ЗСП или не-ЗСП. Гидрологические процессы, ответственные за формирование засоленных почв, могут служить обоснованием важности карты «Классы по гранулометрическому составу поверхностных отложений», как обсуждалось выше. Более того, существует тесная взаимосвязь между происхождением и геоморфологическим положением этих отложений и их классом по гранулометрическому составу. Песок на поверхности обнаруживается в районах распространения эолового переноса песков, пылеватые формации типичны для районов распространения лёссов, а глины преобладают в современных ручных долинах. Сходным образом, песок на поверхности связан с самыми высокими по топографии районами Великой Венгерской равнины, пылеватые отложения с лёссовым плато на средних высотах, а глина – с наиболее пониженными участками современных речных долин. Поскольку речные долины включают наибольшее количество засоленных почв, присутствие последних может быть относительно хорошо предсказано на основании класса по гранулометрическому составу поверхностных отложений. Следовательно, в Табл. 6 мезорегионы, подверженные засолению (Рис. 2), например, №№ 7, 12 и 13, имеют в основном глинистые последовательности отложений.

Важность карты «Преобладающие типы ионов в грунтовых водах» может быть обоснована упомянутыми тенденциями растворимости солей натрия по сравнению с солями кальция и магния. Следовательно, в Табл. 7 мезорегионы, подверженные засолению, демонстрируют преобладание Na и бикарбонатов. Следовательно, существует явное влияние преобладающего типа аниона в грунтовых водах. Схема, нарисованная по данным А. Ронаи (Rónai, 1961) (Рис. 9.) показывает, что с возрастанием концентрации солей в грунтовых водах при концентрациях 2,5 г/л сульфаты и хлориды начинают преобладать над бикарбонатами. Взгляд на исходные диапазоны карты «Общая концентрация растворимых солей в грунтовых водах» (Рис. 1) показывает, что этот важный диапазон

концентраций попадает в наиболее распространенную категорию карты, 1–5 г/л. Ясно, что для исследования почвообразования требуется более детальная информация, но в цели составителей карты не входило представить специфическую информацию такого рода. Следовательно, использование NOMALS и классификационного дерева помогло в замещении информации об этом важном диапазоне. Вместо прямого использования более детального подразделения концентраций солей в грунтовых водах тип анионов предоставил столь же полезную информацию, поскольку обычно преобладание сульфатов соответствует концентрациям более 2, 5 г/л, а преобладание бикарбонатов менее этой величины.

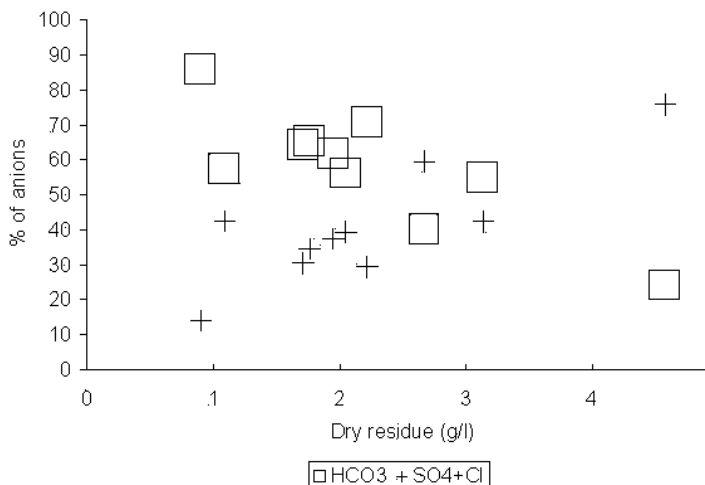


Рис. 9. Изменения в преобладании анионов в зависимости от их концентрации в грунтовых водах в районе Хортобаги, по данным А. Ронаи (Rónai, 1961)

Подход, использованный в данной работе для прогноза встречаемости засоленных почв путём использования гидрогеологических карт, легко применим, если доступны номинальные переменные для перевода в категории факторов накопления солей и если классические статистические тесты не могут быть применены из-за строгих ограничений по их использованию.

## Литература

- Сорочкин В.М. Об использовании информационно-логического метода в почвенных исследованиях // Почвоведение, 1997, № 9, с. 131-139.
- Arany S. Salt-affected soil and its reclamation. Akadémiai Kiadó, Budapest, 1956.
- Arndt J.L., Richardson J.L. Geochemistry of hydric soil salinity in a recharge-throughflow-discharge prairie-pothole wetland system // Soil Sci. Soc. Am. J., 1989, v. 5, p. 3848-855
- Bazilevich N.I. The geochemistry of soda soils. USDA, NSF and Israel Program for Scientific Translations, Jerusalem, 1970.
- Benz L.C., Mickelson R.H., Sandoval F.M., Carlson C.W. Groundwater investigations in a saline area of the Red river valley, North Dakota // J. Geophys. Res., 1961, vol. 66, p. 2435-2443.
- Bradd J.M., Milne-Home W.A., Gates G. Overview of factors leading to dryland salinity and its potential hazard in New South Wales, Australia // Hydrogeology J., 1997, vol. 5, p. 51-67.
- Breiman L., Friedman J.H., Olshen R.A., Stone C.J. Classification and regression Trees. Monterey: Wadsworth and Brooks/Cole, 1984.
- Breiman L., Friedman J.H. Estimation optimal transformations for multiple regression and correlation (with discussion) // J. Amer. Statistical Assoc., 1985, vol. 80, p. 580-619.
- Bui E.N., Krogh L., Lavado R.S., Nachtergaele F.O., Tóth T., Fitzpatrick R.W. Distribution of sodic soils: the world scene. In: M. E. Sumner and R. Naidu (eds.) Sodic soils. Distribution, properties, management and environmental consequences. Oxford University Press, New York, 1998.
- Daineko E.K., Fridland V.M. Practical application of information and logic analysis to show interrelations between soil-forming factors and certain morphological properties of soils. In: V.M. Fridland (ed.) Soil combinations and their genesis. Amerind Publishing, New Delhi, 1972, p. 236-246.
- Darab K. Remarks on the study of Dr. H. Franz "Data on the Quaternary stratigraphy and the formation of salt-affected soils in Hortobágy and its periphery" // Agrokémia és Talajtan, 1967, v. 16, p. 459-468. (in Hungarian)
- Eilers R.G., Eilers W.D., Fitzgerald M.M. A salinity risk for soils of the Canadian prairies // Hydrogeology J., 1997, vol. 5, p. 68-79.
- Endrédy E. On the question of the formation of salt-affected soils // Öntözésügyi Közlemények, 1941, vol. 3(1), p. 207-217. (in Hungarian)
- Erdélyi M. The hydrodynamics of the Hungarian Basin. VITUKI Közlemények, 1979, vol. 18.
- Eugster H.P., Jones B.F. Behavior of major solutes during closed-basin brine evolution // Amer. J. Sci., 1979, vol. 279, p. 609-631.

- Fullerton S., Pawluk S. The role of seasonal salt and water fluxes in the genesis of solonetzic B horizons // *Canad. J. Soil Sci.*, 1987, vol. 67, p. 719-730.
- Gardner W.R. Soil water relations in arid and semiarid conditions. In: *Plant-water relationships in arid and semi-arid conditions* // *Arid Zone Res.*, 1960, vol. 15, p. 37-61.
- Gifi A. *Nonlinear Multivariate Analysis*, Wiley, 1990.
- Henry J.L., Bullock P.R., Hogg T.J., Luba D. Groundwater discharge from glacial and bedrock aquifers as a soil salinization factor in Saskatchewan // *Canad. J. Soil Sci.*, 1985, vol. 65, p. 749-768.
- Herke S., Mihályfalvy I., Prettenhoffer I., Tury E., Vezekényi E. *Agriculture on our (Hungarian) salt-affected soils*. Mezőgazdasági Kiadó, 1959. (in Hungarian)
- Kellog C.E. Morphology and genesis of the solonetz soils of western North Dakota // *Soil Sci.*, 1934, vol. 38, p. 483-501.
- Kovács G. The relationship of salinization and groundwater // *Hidrológiai Közlöny*, 1960, p. 131-139. (in Hungarian)
- Kreybig L., Endrédy A. Über die Abhängigkeit des Vorkommens von Alkaliböden im Oberen Tisza-Gebiete Ungarns von der absoluten Höhenlage // *Transact. III. Intern. Congress Soil Sci.*, Oxford, 1935, v. I, p. 357-360.
- Kuti L. Young unconsolidated sediments and their chemical interaction with the groundwater stored in them // *Annual Report of the Hungarian Geological Institute of 1987, 1989*, p. 441-454. (in Hungarian)
- Mados L. Soil salinization and water // *Hidrológiai Közlöny*, 1943, vol. 23, p. 3-21. (in Hungarian)
- McClelland, Mogen C.A., Johnson W.M., Schroer F.W., Allen J.S. Chernozems and associated soils of eastern North Dakota: some properties and topographic relationships // *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 1959, vol. 23, p. 51-56.
- Methodological Publications. *Chemical Analyses*. Geological Institute of Hungary, 1973. (in Hungarian)
- Rónai A. *Map of the groundwaters of the Great Hungarian Plain*. MÁFI. Budapest, 1961. (in Hungarian)
- Rónai A. *The geological atlas of the Great Hungarian Plain. Volume Tiszafüred*. Geological Institute of Hungary. Budapest, 1975. (in Hungarian)
- Scherf E. *Geologische und morphologische Verhältnisse des Pleistozäns und Holozäns der grossen ungarischen Tiefebene und ihre Beziehungen zur Bodenbildung, insbesondere der Alkalibodenentstehung* // *Relationes Annuae Inst. Regii Hungarici Geol. Pro.*, 1925-28, p. 1-37.
- Shannon C.E. *A mathematical system of communication*. Bell System of Techn. Journal, 1948.
- Sigmond de A. *Hungarian alkali soils and methods of their reclamation*. University of California. Berkeley, 1927.

- Somogyi S. (ed.) Cadaster of the microregions of Hungary. Hungarian Academy of Sciences. Budapest, 1991. (in Hungarian)
- S-PLUS, Ver. 3.3. 1994. Seattle, StatSci, a division of MathSoft, Inc.
- SPSS Categories. 1996. Statistical Association Vol. 80. 580-619.
- Szabolcs I. Salt-affected soils in Europe. Martinus Nijhoff, the Hague, 1974.
- Szendrei G. Soil mineralogy. Magyar Állami Földtani Intézet, 1989.
- Tickel S.J. Mapping dryland-salinity hazard, Northern Territory, Australia // Hydrogeology journal, 1997, vol. 5, p. 109-117.
- Timpson M.E., Richardson J.L. Ionic composition and distribution in saline seeps of southwestern North Dakota, USA // Geoderma, 1986, vol. 37, p. 295-305.
- Tóth J. The role of regional gravity flow in the chemical and thermal evolution of groundwater // Proceedings First Canadian/American Conference on Hydrogeology. Banff, Canada, 1984, p. 3-39.
- Tóth T., Blaskó L. Secondary salinization due to irrigation // A. Rodriguez Rodriguez, C.C. Jiménez Mendoza, M.L. Tejedor Salguero (eds.) The soil as a strategic resource. Geofoma Ediciones. Logroño, Spain, 1998.
- Tóth T., Kertész M., Pásztor L. Mapping of salt-affected soils // CD ROM of the Proc. 16th Int. Congress Soil Sci., Montpellier, 1998.
- Tóth T., Kuti L., Kabos S., Pásztor L. Use of digitalized hydrogeological maps for evaluation of salt-affected soils of large areas // Arid Land Research and Management, 2001, vol. 15, p. 329-346.
- Tóth T., Kabos S., Pásztor L., Kuti L. Statistical prediction of the presence of salt-affected soils by using digitalized hydrogeological maps // Arid Land Research and Management, 2002, vol. 16, p. 55-68.
- Treitz P. The natural history of saline and alkali soils. Stadium, Budapest, 1924. (in Hungarian)
- Treitz P. Saline and alkali soils of Rump Hungary // E. Sajó, and Á. Trummer (eds.) The Hungarian salt-affected soils. Patria, Budapest, 1934. p. 176-206. (in Hungarian)
- Várallyay Gy. Salt accumulation processes in the soils of the Danube valley // Agrokémia és Talajtan, 1967, vol. 16, p. 327-350. (in Hungarian)
- Várallyay Gy. Salt accumulation processes in the Hungarian Danube Valley // 9th Int. Congress Soil Sci. Transactions, 1968, p.371-380.
- Venables W.N., Ripley B.D. Modern applied statistics with S-Plus, (corrected third printing) Springer, New York, 1996.
- Wei Y.Q., Liu S.Y. The gradation and regionalization methods on prediction of potential salinization in Huang-Huai-Hai Plain of China // Proc. Intl Symp. Solonetz Soils. Osijek, 1988, p. 348-353.

# Почвенный покров и почвенно-географическое районирование территории Мексики

П. В. Красильников<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>*Институт биологии КарНЦ РАН, Петрозаводск, Россия*

<sup>2</sup>*Факультет наук, Национальный автономный университет Мексики, Мехико, Мексика*

Почвенно-географическая характеристика и районирование зарубежных стран представляет собой традиционную задачу отечественной школы почвенной географии. В данном очерке приводится краткая характеристика почвенного покрова и делается попытка почвенного районирования Мексики – страны, почвы которой до настоящего времени недостаточно изучены, и для которой не существует обзорных почвенно-географических работ.

## 1. Общая характеристика физико-географических условий Мексики

Соединённые Штаты Мексики – страна обширная по территории (общая площадь составляет 1.964.375 км<sup>2</sup>, что соответствует приблизительно половине площади Европейской территории России), 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. Известна история о том, что когда король Карл V попросил Эрнана Кортеса описать, как выглядят новые владения испанской короны, тот просто смял и слегка расправил лист бумаги. На западе и юге территорию Мексики омывает Тихий океан. Полуостров Калифорния и Большую Землю разделяет Калифорнийский залив (Море Кортеса). Восточный берег Мексики омывается водами Мексиканского залива, а восточный берег Юкатана выдается в Карибское море. Большая часть страны гориста и занята хребтами Мексиканского нагорья, Сьерра Мадре и Поперечной Вулканической Сьерры (в мексиканской литературе называемой Трансмексиканским вулканическим поясом) со множеством действующих вулканов (около 350), в том числе высшая точка страны – Пико де Орисаба (5610 м над уров-

нем моря), Попокатепетль — (5465 м), Истаксиуатль (5286 м), Невадо де Толука (4392 м), Ла Малинче (4461 м), Невадо де Колима (4265 м) и др. (Виво, 1951). Вулканическая активность достаточно высока, также часты землетрясения. На северо-западе страны располагается гористый полуостров Калифорния, на юго-востоке — низменный полуостров Юкатан. Полуостров Калифорнию образуют горные массивы высотой 800—1000 м.

Два горных хребта на западе и востоке страны (Сьерра Мадре Осиденталь и Сьерра Мадре Ориенталь, соответственно) обрамляют группу широких плато центральной части Мексики, известных как Альтиплано Сентраль, или Мексиканское нагорье. Внутренняя часть Мексиканского нагорья включает два района: Северную и Центральную Месу. Северная Меса состоит из отдельных относительно ровных участков (больсонов) высота 900–1200 м, разделённых невысокими короткими хребтами. Расположенная южнее Центральная Меса включает ряд вулканических плато (высотой 2000–2400 м), разобшённых горными поднятиями и котловинами. Максимальные высоты составляют на Сьерра Мадре Ориенталь 4054 м, и для Сьерра Мадре Осиденталь 3150 м над уровнем моря. Южная часть страны отделена от Мексиканского нагорья впадиной р. Бальсас, к югу от которой лежит горный район Сьерры Мадре дель Сюр, состоящей из хребтов высотой около 3000 м. Горы Сьерра Мадре дель Сюр протянулись по территории штатов Мичоакан, Герреро и Оахака до перешейка Теуантепек. На Теуантепекском перешейке горы снижаются до 300 м высотой, береговая изменчивость Мексиканского залива расширяется и далее на восток занимает почти весь полуостров Юкатан. От перешейка узкая линия низин проходит вдоль тихоокеанского побережья до Гватемалы. За этими низинами находятся высокогорье Чиапаса, которое переходит в территорию жарких тропических влажных лесов, протянувшихся также до Гватемалы.

Большая часть территории Мексика относится к складчатому поясу Кордильер Северной Америки (Гарфиас, Чапин, 1956); восточное побережье и полуостров Юкатан представляют собой участок молодой платформы с палеозойским складчатым основанием, прикрытым чехлом мезозойских, палеогеновых и неоген-антропогеновых отложений, которые образуют пологие впадины и подня-



тия (некоторые из поднятий нефтегазоносные). В строении Сьерра Мадре Ориенталь и Осиденталь участвуют кристаллические и метаморфические породы верхнего докембрия и палеозоя, образующие отдельные большие массивы, юрские, меловые, а также мощные вулканические толщи. Все они смяты в складки. Многочисленны гранитные интрузии мелового и палеогенового возраста. Сьерра-Мадре Осиденталь образована системой складок, сложенных юрскими и меловыми известняками без вулканических толщ. Имеются небольшие выходы кристаллических палеозойских пород в окнах среди более молодых отложений. Мексиканское нагорье покрыто лавово-туфовым чехлом Олигоцена и Миоцена. Вдоль Трансмексиканского вулканического пояса, ограничивающего с юга Мексиканское нагорье, тянется широтная зона крупных разломов, к которым приурочены действующие вулканы (в том числе возникший в 1943 вулкан Парикутин). Складчатые структуры Кордильер образовались в альпийскую эпоху складчатости (конец мела – начало палеогена); многочисленные новейшие впадины и грабены заполнены молассами в неоген-антропогеновое время. Южная часть полуострова Калифорния, сложенная палеогеновыми и неогеновыми отложениями, относится к области молодого (неогенового) складчатого обрамления Тихого океана. В Мексике имеются месторождения нефти и газа, руд цветных металлов, связанных с магматизмом и вулканизмом неоген-палеогенового времени.

Практически вся территория Мексики характеризуется высокой современной тектонической активностью. Не только Трансмексиканский вулканический пояс, который включает десятки активных вулканов и представляет собой одну из самых сейсмически активных зон мира, но и, казалось бы, стабильные структуры, сложенные протерозойскими и палеозойскими метаморфическими породами, подвержены тектоническим подвижкам, как катастрофического характера, так и медленным (однако же, довольно активным в геологическом масштабе времени). Благодаря тектонической активности региона эрозионные процессы, равно как и процессы осадконакопления в нём происходят быстро, и территорию характеризуется как зона активных современных геоморфологических процессов.

Равнинные области демонстрируют довольно отчётливый широтный градиент температур: если северная часть станы относится

к субтропическому поясу, то южнее тропика Рака климат характеризуется как тропический. Однако равнинных областей в Мексике не так много, и в большинстве своём они находятся в прибрежных областях, находятся под мощным океаническим влиянием, которое маскирует градиент температур в широтном направлении. С востока и юга на территорию Мексики проникают влажные тропические воздушные массы, обильно орошающие наветренные склоны гор. Северо-запад подвержен ветрам, дующим из центральных частей Северной Америки, и имеет сухой континентальный климат. В районе Мексиканского нагорья обычно гораздо прохладнее (от  $+2^{\circ}\text{C}$  зимой до  $+15^{\circ}\text{C}$  летом), чем на побережье, где температура воздуха не опускается ниже  $+20^{\circ}\text{C}$  даже зимой.

Средняя температура января колеблется от  $10^{\circ}\text{C}$  на северо-западе до  $25^{\circ}\text{C}$  на юге. В связи с проникновением холодного воздуха на севере Мексиканского нагорья бывают морозы до  $-20^{\circ}\text{C}$ . В северной части страны и в горных районах зимой выпадает незначительный снег. Средняя температура июля от  $15^{\circ}\text{C}$  в возвышенных равнинных частях нагорья до  $30^{\circ}\text{C}$  на берегу Калифорнийского залива. С декабря по февраль длится наиболее прохладное время года. Именно в этот период дуют холодные северные ветра («лос нортес»), порой заставляя температуру воздуха опускаться ниже нуля.

Из-за особенностей 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. Обычно различают сухой (ноябрь–апрель) и влажный (июнь–сентябрь) сезоны, которые слабо различаются по температуре, но из-за влияния тропических циклонов сильно разнятся по количеству осадков, и особенно – по влажности воздуха. Всего осадков выпадает от 100 до 3000 мм (местами более 5000 мм) в год. Побережье Мексиканского залива получает гораздо большее количество дождя, чем тихоокеанские берега страны. Часты мощные тропические циклоны. Хотя по количеству осадков территория страны четко разделяется на аридную (север, центральная часть Мексиканского нагорья и полуостров Баха Калифорния) и гумидную (большая часть побережья Тихого и Атлантического океанов, полуост-

ров Юкатан и крайний юг) части, характеристика типа климата будет неполной без учёта реальной эвапотранспирации. За счёт более низких температур и разреженного растительного покрова центральной части возвышенного Мексиканского нагорья эвапотранспирация там также невысока, и степень аридности климата не так велика, как можно было бы ожидать.

В Мексике для характеристики типа климата используется система Кёппена, модифицированная Энрикетой Гарсиа (García, 1973). В отличие от оригинальной классификации Кёппена, не все климаты с относительно равномерными годовыми температурами считаются тропическими; за основу берётся средняя годовая температура. Значительная часть мексиканской территории относится к зонам умеренного климата, а климат высокогорных участков характеризуются как холодный и очень холодный.

Оставляя за рамками данной работы дискуссию о том, должен ли климат горных областей описываться как тропический или субтропический (по динамике температуры и осадков) или умеренный (на основании среднегодовых температур), отметим, что система Кёппена-Гарсии довольно удачно описывает климатологическую ситуацию для Мексики и хорошо согласуется с современным растительным покровом.

Речная сеть на юго-востоке страны густая, на северо-западе очень редкая. В некоторых внутренних частях засушливого Мексиканского нагорья, а также на сложенном известняками полуострове Юкатан поверхностный сток отсутствует. На юго-востоке реки короткие, имеют быстрое течение, значительную водность, особенно летом, и обладают большими запасами энергии. Реки на северо-западе более длинные, но маловодные, большинство из них вследствие сухости климата уменьшает расход воды в нижнем течении и используется для орошения. Режим их зависит от нерегулярно выпадающих осадков. Самые крупные реки: пограничная с США Рио Гранде (Рио Браво дель Норте) с притоком Кончос, Рио Лерма (в нижнем течении, по выходе из озера Чапала, называется Рио Гранде де Сантьяго), Рио Бальсас, и речная система Грихальва – Усумасинта. Самое большое озеро – Чапала. Сухие северные части Мексиканское нагорье не имеют стока в океан. Водотоки носят временный характер и обычно заканчиваются в больсонах; это привело к накопле-

нию в них мощной толщии осадочных пород и образованию ряда временных бессточных солёных озёр. Исключение представляет река Кончос, доносящая воды до текущей вдоль северной окраины Рио Браво дель Норте).

Сложный гористый рельеф определяет огромное разнообразие биоклиматических условий Мексики. Благодаря географическому положению в Мексике здесь бесчисленное количество природных и растительных зон, а гористость ландшафта способствует созданию микроклиматических ареалов.

Мексика относится к числу стран, характеризующихся мегаразнообразием видов, и занимает третье место в мире по общему числу видов растений и животных, уступая только Бразилии и Колумбии (Toledo, 1994). По количеству видов млекопитающих Мексика занимает второе место в мире, по количеству рептилий – первое. Количество видов беспозвоночных с трудом поддаётся исчислению; для студенческой дипломной работы почти обязательно открытие новых видов беспозвоночных. Мексика характеризуется высоким эндемизмом видов: среди сосудистых растений эндемизм оценивается от 44 до 63%, а для позвоночных животных – около 30%.

Мексиканское нагорье – один из центров формирования американской флоры и поэтому характеризуется весьма своеобразной богатой растительностью. Согласно фундаментальной работе Дж. Жедовского (Rzedowski, 1983), растительность Мексики принадлежит к двум флористическим царствам: Голарктическому и Неотропическому, в каждом из которых выделяется по два района. В Голарктическом царстве выделяются Североамериканский тихоокеанский и Мезоамериканский горный районы, а в Неотропическом – Ксерофитный мексиканский и Карибский районы. В дальнейшем территория Мексики разделяется на 19 провинций. На севере преобладает разреженная растительность, представленная кактусами (около 500 видов), от крошечных шарообразных до гигантских видов высотой до 4 м, агавами (140 видов), юкками, дазилирионами и колючими кустарниками из мимозовых и др. Растительность южной части нагорья и окаймляющих её береговых низменностей главным образом саванная, состоящая из злакового покрова, зарослей колючих кустарников и разреженного древостоя из акаций, амарантов, индиго и других пород. В горах, окаймляющих наго-

рье, преобладают лиственные и смешанные леса (дуб, граб, липа, сосна, пихта и др.). Разнообразие видов древесных растений очень велико: только сосен в Мексике описано более 40 видов. На наветренных склонах южной части произрастают влажные тропические леса. До высоты 1000 м в них господствуют широколиственные породы (вечнозелёные дубы, платаны и др.), а также миртовые, лавровые, анановые с магнолиями и древовидными папоротниками в подлеске. Между 1000–2000 м они переходят в смешанные леса, а выше — в хвойные (сосны, у верхней границы леса – пихты). На склонах, ориентированных к Тихому океану и, ещё в большей степени, к Мексиканскому заливу, на высотах от 1500 до 2500 м над уровнем моря формируются экстрагумидные горные туманные леса (*bosque mesófilo de montaña, bosque de niebla*). Между 4000–4500 м лежит пояс субальпийских и альпийских лугов. Всего на территории Мексики выделяется 32 типа растительности (Rzedowski, 1983). До испанского завоевания почти 2/3 страны было покрыто лесами. В наши же дни лесные массивы остались только на 1/5 части территории Мексики, в основном на востоке и юге. Поэтому при биогеографическом районировании территории Мексики обычно принимается во внимание «потенциальная» растительность, то есть те экосистемы, которые могли бы существовать без учёта антропогенного воздействия (и, как предполагается, когда-то занимали соответствующие территории).

Животный мир Мексика принадлежит к двум фаунам: Неарктической — на северо-западе и на Мексиканском нагорье и Неотропической — на юге и по низменностям южнее тропика. Большинство животных принадлежит к Неарктической зоогеографической области. Для большей части территории характерны олени (белохвостый и др.), антилопа вилорог, различные грызуны (белки, мешётчатые крысы); из хищных — пума, волки, лисицы, скунсы, выдры, еноты; из птиц — разнообразные представители воробьиных; много пресмыкающихся. В полупустынях и пустынях наиболее характерны грызуны–землерои, койот; в горных лесах Мексиканского нагорья — чёрный медведь, енот-полоскун, красная рысь; в саваннах — олени, муравьед, древесный дикобраз. На юге встречаются ягуары, оцелоты, кинкажу, пекари, броненосцы, ревуны и паукообразные обезьяны, тапиры, дикие свиньи, попугаи, тулканы и многочисленные тропические рептилии.

## 2. Изученность почвенного покрова

В отечественной литературе почвы Мексики отражены довольно слабо. Непродолжительный полевой тур в этой стране совершил И. П. Герасимов, однако публикаций по его результатам не было. В обзорных работах и учебных пособиях (Глазовская, 1973; Розанов, 1977; Розов, Строганова, 1979) приводятся скудные, самые общие сведения о почвенном покрове страны. Традиционно разделяются горные области, аридная северная часть и тропический юг Мексики. На северо-западе преобладают серозёмы и примитивные почвы пустынь, часто представляющие собой слабо измененные гипсовые и карбонатные коры выветривания. Б. Г. Розанов (1977) отмечает, что для аридной части Мексики характерно наличие солёных озёр, соровых солончаков, чередующихся с каменистыми, лишёнными почвенного покрова поверхностями и такыровидными пустынями. В большей части горных районов встречаются горные серо-коричневые, коричневые, красные почвы саванн и горно-лесные бурые, на низменностях – серо-коричневые, красно-коричневые, красные почвы саванн и болотные. На юге они постепенно сменяются горными серозёмами, серо-коричневыми, коричневыми и красными почвами высокотравных тропических саванн. Преобладают горно-коричневые почвы, образующие значительные массивы в южной части нагорья и по склонам краевых хребтов. Согласно работам М. А. Глазовской (1973) и Н. Н. Розова и М. Н. Строгановой (1979), юго-западные склоны Сьерра Мадре дель Сюр и восточные склоны Сьерра Мадре Ориенталь сильно увлажнены и заняты красными ферралитными тропическими почвами, а на основных породах – тёмно-красными ферралитными почвами. Согласно указанным авторам, как на равнинах, так и в горах повсеместно развиты мощные ферралитные коры выветривания с красно-жёлтыми и жёлтыми ферралитными почвами. В нижнем поясе гор, до 1000-1500 м, распространены красные ферралитные и коричнево-красные ферритизированные почвы. Выше в горных лесах наблюдаются гумусные ферралитные и аллитные почвы, которые в высокогорьях сменяются кислыми торфянистыми горно-луговыми почвами. На полуострове Юкатан, сложенном известняками, распространены более насыщенные и более богатые гумусом, чем остальные почвы равнин, тёмно-красные ферралит-

ные почвы. Приморские низменности заняты грунтово-водными песчаными латеритными и болотными почвами, перемежающимися с песчаными иллювиально-железисто-гумусовыми подзолами.

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 ферралитных, ферритных и аллитных кор и почв, в том числе на горных склонах и на известняках острова Юкатан. Эти взгляды (как будет показано ниже, не соответствующие реальности) нашли отражение и в обзорных мировых почвенных картах, созданных отечественной школой. На Карте почв мира, подготовленной А. А. Роде и В. М. Фридландом для Большой Советской Энциклопедии (1972), северная часть Мексики занята преимущественно серо-коричневыми почвами кустарничковых степей и пустынными тропическими и субтропическими почвами, а южная часть – коричнево-красными и красно-бурыми почвами саванн и сухих степей, а также красно-жёлтыми ферралитными почвами влажных тропических лесов. Почвенные карты мира под редакцией Г. В. Добровольского и др. (1975) и М. А. Глазовской и В. М. Фридланда (1980) содержат примерно тот же набор почв.

Надо отметить, что к данным, представленным отечественной школой, не следует относиться с пренебрежением только потому, что они вошли в противоречие с полученным позднее эмпирическим материалом. Гипотетическая характеристика почвенного покрова Мексики делалась в условиях почти полного отсутствия данных, и, тем не менее, отечественные исследователи смогли создать вполне обоснованную и внутренне непротиворечивую модель почвенного покрова. Эта модель создавалась не на основании досужих домыслов, а на базе знаний о почвообразовании в областях с аналогичными условиями почвообразования. Только недостаток сведений о факторах почвообразования на территории Мексики не позволил сделать упомянутую модель более достоверной. В любом случае,

гипотетический почвенный покров по работам отечественных почвоведов представляет ценность тем, что отражает, некоторым образом, идеальную модель почвообразования в условиях мексиканского климата, и, находя отличия от данной модели, мы должны задаваться вопросом о причинах подобных отклонений.

Как уже упоминалось, сведения о почвах Мексики довольно скудны. С одной стороны, это связано с относительной молодостью мексиканского почвоведения, с другой – со слабым, на удивление, интересом развитых почвенных школ к исследованию мексиканских почв. По не вполне ясным историческим причинам Мексика осталась несколько в стороне от географических областей интересов ведущих почвенных школ Европы и США; даже карта почвенных регионов мира, составленная специалистами Почвенной службы США (Soil Survey Staff, 1999) основана почти исключительно на общих почвенно-генетических соображениях (Luis Hernández, руководитель Почвенной службы Арканзаса, личное сообщение).

Согласно карте почвенных регионов Почвенной службы, на севере Мексики встречаются преимущественно пустынные и слабо-развитые почвы (соответственно, Аридисоли и Энтисоли). Хребты Сьерра Мадре Ориенталь и Осиденталь заняты гумусированными почвами (Моллисолями) с включением текстурно-дифференцированных почв (Альфисолей, реже Ультисолей). На побережье Мексиканского залива, и, в меньшей степени, на тихоокеанском побережье, доминируют глинистые слитые почвы (Вертисоли), в пределах Трансмексиканского вулканического пояса – вулканические пепловые почвы (Андисоли). В южной части страны чередуются почвы со слабо дифференцированным профилем (Инсептисоли) и текстурно-дифференцированные почвы (Альфисоли и Ультисоли). Отметим, что эта карта, хотя и отражает общие закономерности почвообразования на территории Мексики лучше, чем картографические продукты советской почвенной школы, также содержит множество неточностей. Прежде всего, этот недостаток связан с фрагментарностью данных, которыми располагали американские специалисты. Этот феномен требует отдельного внимания историков науки: почему некоторые развивающиеся страны стали полигоном, на котором оттачивались концепции методы различных



почвенных школ (например, на Кубе работали десятки специалистов североамериканской, французской, советской и китайской школ (Hernández Jiménez, Ascanio García, 2006)), а другие почти не были изучены? Почему Мексика, южный сосед США, практически осталась за рамками интересов американских почвенных географов? Отдельные североамериканские и канадские работы, выполненные на территории Мексики, в том числе в соавторстве с мексиканскими учёными, в основном касались вопросов плодородия, мелиорации почв и почвенной эрозии (например, см. Martínez Gamiño, Walthall, 2000; Hudson, 2003; Bravo Garza, Bryan, 2005). Почвенно-генетические, минералогические и географические работы исчислялись единицами (Drijber, Lowe, 1990, 1991; Graham, Franco Viscino, 1992; Amundson et al., 1997).

Определённый вклад в исследование почв Мексики внесла французская почвенная школа. К числу наиболее интересных в почвенно-географическом отношении работ следует отнести исследования Д. Дюбрека и соавторов (Dubroeuq et al., 1992b) почв дюнных комплексов побережья Мексиканского залива, того же коллектива авторов – генезиса Андосолей склонов гор Кофре де Пероте (Dubroeuq et al., 1992a) и Икстаксиуатль (Barois et al., 1998; Dubroeuq et al., 2002), Ж. Дюкло и соавторов (Ducloux et al., 2006) генезиса и минералогии почв с текстурной дифференциацией в пустыне Чиуауа, а также работ большого коллектива под руководством К. Прата по свойствам и охране вулканических почв со сцементированными горизонтами («тепетатес») (Servenay, Prat, 2003; Prado et al., 2007).

История национальных исследований почвенного покрова Мексики сравнительно коротка. Первым почвенно-географическим документом для Мексики следует считать схематическую карту «больших групп почв» Н. Агилеры (Aguilera Herrera, 1969), составленную в терминах американской Soil Taxonomy. Также среди ранних попыток отобразить на картах распространение почв на территории страны следует упомянуть карту «зональных, интразональных и аazonальных» почв, подготовленную в начале 70-х годов Департаментом агрологии Секретариата водных ресурсов. Следует учитывать, что упомянутая карта была составлена до начала систематических почвенно-картографических работ на территории Мек-

сики, на основании разрозненных данных, не всегда достоверных. В частности, на этой карте не нашли отражения специфические вулканические пепловые почвы. Наличие подзолов в пределах хребта Сьерра Madre Осиденталь и Трансмексиканского вулканического пояса в дальнейшем не было подтверждено; в ряде случаев оказалось, что за подзолистый горизонт принимались слои светлого вулканического пепла. К сожалению, именно эти данные были предоставлены рабочей группе по Почвенной карте мира ФАО, и многие досадные ошибки перекочевали на мировую почвенную карту ФАО-ЮНЕСКО (FAO-UNESCO, 1968).

Новый этап почвенных исследований в Мексике связан с началом систематических почвенно-картографических работ в стране. В 1972 году DETENAL (предшественник INEGI – Национального института по статистике, географии и информатике) принял легенду карты почв мира ФАО-ЮНЕСКО (FAO-UNESCO, 1968) как рабочую классификацию для картографирования почв в среднем и крупном масштабе (1:250.000 и 1:50.000) в Мексике. К концу 80-х годов первый тур почвенной съёмки был завершён. Результатом работ стала база данных более чем на 30 тысяч почвенных профилей и среднемасштабные (М 1:250.000) почвенные карты на всю национальную территорию. На центральные, наиболее населённые и интенсивно используемые в сельском хозяйстве области (Федеральный округ, штат Мехико и часть штата Халиско) были составлены крупномасштабные почвенные карты (М 1:50.000). Создание почвенных карт на территорию Мексики было большим прорывом, и до настоящего времени эти карты и пояснительные записки к ним остаются основным источником региональной почвенной информации для всех типов работ, от докладов о состоянии и перспективах использования ресурсов до студенческих квалификационных работ. На основании среднемасштабных почвенных карт были составлены обзорные почвенные карты Мексики в нескольких версиях; сравнение этих карт, построенных на эмпирических данных, с гипотетическими картами русской школы и почвенной службы США показывает существенное отличие в содержании почвенных контуров. Распространение каштановых почв, частично соответствующих Моллисолям на карте Почвенной службы, ограничено небольшими контурами. Глубоко выветрелые почвы почти

отсутствуют в южной части страны; большая часть горных почв юга отмечены как маломощные и слабообразованные почвы (Литосоли и Регосоли), а почти вся территория полуострова Юкатан – как Рендзины.

В то же время не следует воспринимать почвенные карты, составленные по данным INEGI, как непреложную и окончательную истину. Несмотря на, казалось бы, обширный эмпирический материал, следует признать, что для такой большой страны со сложным рельефом, как Мексика, даже 30 тысяч профилей явно недостаточно для характеристики почвенного покрова. Кроме того, легенда почвенной карты мира ФАО-ЮНЕСКО была создана для обзорной карты М 1:5.000.000, и потому недостаточно подробна для почвенной съёмки в среднем масштабе. Следует учитывать и субъективные исторические факторы, которые позволяют усомниться в достоверности некоторых данных. В отличие от почти всех прочих стран Латинской Америки, в которых почвенная съёмка начиналась и велась в американской системе классификации Soil Taxonomy при помощи и поддержке почвенной службы США, в Мексике для почвенной съёмки предпочли легенду ФАО-ЮНЕСКО, и с самого начала работали самостоятельно. С одной стороны, это сыграло положительную роль: страна не «подседа на иглу» американской помощи (как это случилось в Аргентине, где с прекращением технической поддержки Почвенной службы США свернулись и все почвенно-картографические работы) и развила самостоятельную почвенно-картографическую школу. С другой стороны, изначально инженеры INEGI не имели ни чёткой теоретической базы, ни практического опыта почвенного картографирования, и потому часто совершали ошибки в описании и классификации почв, а также при экстраполяции точечных данных в пространстве. Отчасти обилие Регосолей (почв, которые находятся в конце классификационного ключа в легенде ФАО) на картах INEGI связано не с отсутствием каких-либо диагностических горизонтов и признаков в профилях почв, а с неспособностью некоторых картографов отыскать эти горизонты и признаки. Недостатком почвенной съёмки было и ограниченное количество химических анализов, производившихся в аналитической лаборатории (значения рН, сумма обменных оснований, органический углерод и гра-

нулометрический состав гидрометрическим методом). При интерполяции данных (которая, при ограниченном количестве разрезов, производилась на обширнейшие, иногда разнородные, территории) обычно картографы отображали доминирующие («модальные» по И. А. Соколову) почвы. При этом для определения модальных почв использовались преимущественно маршрутные наблюдения, которые не всегда адекватно отражали почвенную ситуацию. В частности, почти всегда при маршрутном обследовании горных территорий площади маломощных почв и выходов горных пород завышаются, поскольку многие развитые почвы могут быть приняты за маломощные за счёт высокой поверхностной каменистости. Как новые данные INEGI, так и данные других исследователей (в том числе и наши) показывают, что в ходе первого тура почвенной съёмки площади слаборазвитых и маломощных почв были сильно завышены.

В 2001 году было принято решение начать второй тур почвенной съёмки, и использовать для актуализации почвенных карт в качестве легенды Мировую реферативную базу почвенных ресурсов (FAO-ISRIC-ISSS, 1998). Хотя масштаб почвенной съёмки остался тем же, качество картографических продуктов возросло. Во-первых, Мировая реферативная база (WRB) гораздо более детальна, чем легенда ФАО-ЮНЕСКО, что позволяет более адекватно отображать почвенный покров на среднемасштабных картах. Во-вторых, новое поколение мексиканских картографов имеет более высокую квалификацию, чем те люди, которые начинали почвенную съёмку в 70-е годы. В настоящее время более половины территории страны охвачено почвенной съёмкой с применением WRB (Cruz Gaistardo et al., 2006). В 2006 г. было принято решение использовать второе издание WRB (IUSS Working Group WRB, 2006).

Помимо данных INEGI, в Мексике в последние десятилетия активно проводятся исследования в области генезиса и географии почв (хотя в потоке почвенных исследований они занимают скромное место по сравнению с работами агрономической направленности). Среди организаций, вносящих наиболее заметный вклад в почвенные исследования, следует упомянуть, прежде всего, Колехио де Посградуадос (Colegio de Posgraduados) в Тескоко, штат Мехико (организация, осуществляющая подготовку кадров высшей квали-

фикации – уровня маэстро и доктора – в области агрономических наук) (см., например, Gutiérrez Castorena et al., 2005, 2006) и Национальный автономный университет Мексики (UNAM) (см., например Solleiro Rebolledo et al., 2003, 2006; Bocco et al., 2005; García Calderón et al., 2005, 2006; Méndez Linares et al., 2007). Отрадно отметить, что в последние десятилетия публикации мексиканских почвоведов довольно часто появляются и на страницах ведущих международных журналов. Также интересные работы появляются и в региональных университетах и исследовательских центрах. Не так давно была опубликована капитальная монография по почвам полуострова Юкатан (Bautista Zuñiga, Palacio Álvaro, 2005). Активно публикуются почвоведы штата Веракруз в содружестве с кубинскими коллегами (Hernández Jiménez, 1991; Ascanio García, Hernández Jiménez, 2005). Интересные работы представляют и специалисты-почвоведы Колехио Фронтера Сюр – специального центра по исследованию в области наук об окружающей среде, расположенного на юге страны (Mendoza Vega et al., 2003; Mendoza Vega, Messing, 2005; Geissen et al., 2006, 2007). Однако, к большому сожалению, значительная часть почвенных исследований остаётся неопубликованными или публикуется в изданиях, которые принято называть «серой литературой» (отчёты, региональные издания, дипломные и диссертационные работы), и оседает мёртвым грузом в архивах и университетских библиотеках. Наконец, за редким исключением, отсутствуют работы, обобщающие почвенно-географическую информацию на региональном и национальном уровне. Настоящая работа отчасти призвана заполнить этот пробел.

### **3. Почвы Мексики и их краткая характеристика**

В этом разделе мы приводим характеристику наиболее распространённых почв Мексики. За классификационную основу взята Мировая реферативная база почвенных ресурсов (WRB) в последней редакции (IUSS Working Group WRB, 2006). Следует отметить, однако, что формальная деноминация почв, особенно в рамках классификаций, основанных на жёстких количественных признаках, часто представляет опасность для почвенно-генетических и географических исследований. Опасность заключается в том, что классификация создаёт иллюзию знания: дав формальные назва-

ния почв, «развесив ярлычки» на почвенные объекты, легко успокоиться и считать, что мы полностью расшифровали генетическую и географическую специфику почвенных объектов, что, как правило, бывает совсем не так. Следует помнить, что в почвенно-генетических работах классификация – не цель, не конечный этап исследований, а просто удобный способ группировки данных. Иногда название почвенной группы скорее скрывает генетический смысл, чем проясняет его. Например, термин «Камбисоль» не значит почти ничего, поскольку может подразумевать и развитые почвы с бурым метаморфическим профилем (бурозёмы), и молодые почвы со слабо дифференцированным профилем, и глубоко выветрелые глинистые почвы с несколько повышенной катионообменной способностью, и вообще любые почвы, в которых хотя бы один из диагностических критериев находится за рамками формальных границ диагностических горизонтов и свойств. В данной работе мы сгруппировали классификационные единицы WRB в несколько рабочих категорий по общности свойств, генезиса и географического распространения, при этом некоторые реферативные группы были объединены, а другие – разбиты.

На территории Мексики официально зарегистрированы 26 реферативных групп почв из 30, существовавших в первом издании WRB (Cruz Gaistardo et al., 2006). Отсутствующими считались Криосоли, Подзолы, Альбелювисоли и Ферральсоли. Недавние исследования показали, что Подзолы встречаются в поясе туманных лесов горной системы Сьерра Норте де Оахака (Alvarez Arteaga et al., 2008). Наличие Ферральсолей предполагалось (Mendoza Vega et al., 2003; Красильников, Гарсиа Кальдерон, 2005), однако до сих пор не подтверждено. Присутствие Криосолей весьма вероятно на вершинах, высота которых превышает 5000 метров: Пико де Орисаба, Попокатепетль (Carlos Omar Cruz Gaistardo, личное сообщение). Сразу после публикации второго издания WRB (IUSS Working Group WRB, 2006) появились сообщения о наличии на территории Мексики новых реферативных групп почв: Стагносолей и Техносолей. Таким образом, можно заключить, что для мексиканской территории подтверждено наличие 29 реферативных групп, 2 группы (Криосоли и Ферральсоли) находятся под вопросом и одна группа (Альбелювисоли) достоверно отсутствует.

Процентное соотношение площадей почвенных групп не приводится по нескольким причинам. Во-первых, оценка площадей, занимаемых различными почвенными группами, было выполнено только по почвенным картам масштаба 1:250.000, и потому крайне генерализована. Во-вторых, первичная оценка площадей производилась на основе легенды почвенной карты Мира ФАО-ЮНЕСКО (FAO-UNESCO, 1974), на основе же WRB окончательной сводки площадей, занимаемых почвенными группами, не производилось, поскольку второй тур почвенной съёмки ещё не завершён. Наконец, для горных территорий Южной Мексики данные по площадям, занимаемым реферативными группами почв, пожалуй, ещё менее достоверны, чем для остальной территории, в силу сложности почвенного покрова и труднодоступности отдельных районов.

Ниже приводится краткая обобщённая характеристика некоторых репрезентативных профилей, как по литературным данным, так и описанных нами. Сразу оговоримся, что не все почвенные группы были охарактеризованы нами одинаково подробно. В значительной степени это зависело от процентного покрытия территории той или иной почвой, от степени изученности, и, ещё в большей степени, от внутреннего разнообразия почв в рамках одной группы и сложности генезиса.

### ***3.1. Вулканические почвы***

Под вулканическими почвами мы понимаем все почвы, сформировавшиеся на относительно свежих пирокластических породах. Поэтому в этом подразделе будут рассматриваться не только Андосоли, которые и представляют собой «центральный образ» вулканического почвообразования, но и менее развитые почвы. В целом эволюционную схему вулканического почвообразования можно представить следующим образом; главным образом она основана на фундаментальном исследовании Г. Мелиха (Mielich, 1991). На свежих вулканических пеплах и туфах обнаруживаются Тефриковые Регосоли – почвы, в которых почвенные процессы ещё не привели ни к заметному внутрипочвенному выветриванию, ни к выраженной дифференциации профиля. Следующий этап развития почв – Тефриковые Камбисоли, почвы, в которых морфологически выделяется горизонт В, однако выветривание вулканиче-

ского стекла ещё не привело к формированию слабо окристаллизованных алюмосиликатов либо органо-алюминиевых комплексов. Чаще всего подобные почвы обнаруживаются на пеплах кислого состава с высоким содержанием калия, которые более устойчивы к выветриванию, чем кальциево-магнезиальные пеплы. По мере развития процессов внутрпочвенного выветривания на вулканических пеплах и туфах формируются Витриковые Андосоли – почвы, в которых уже содержатся слабо окристаллизованные глины, однако до сих пор преобладает вулканическое стекло в песчаной и пылевой фракциях. Дальнейшее выветривание приводит к формированию разнообразных Андосолей, которые обладают всем комплексом признаков *андикового* материала: высоким содержанием рентгеноаморфных алюмосиликатов (аллофанов и имоголита), ферригидрита, высокой водоудерживающей способностью и необменной фиксацией фосфатов, низкой плотностью, а также тиксотропностью агрегатов (Dahlgren, Ugolini, 1989). В дальнейшем эволюция Андосолей связана с кристаллизацией глин и формированием, в условиях Мексики, либо текстурно-дифференцированных почв (на плакорных позициях), либо Вертисолей (в депрессиях). Процессы трансформации Андосолей в Лювисоли и Вертисоли хорошо задокументированы (Sedov et al., 2003; Solleiro Rebolledo et al., 2003), и представляют собой один из механизмов дифференциации почвенного покрова в регионе Трансмексиканского вулканического пояса (Gómez-Tagle Rojas, 1984). Скорость преобразования пирокластических материалов в Андосоли зависит от многих факторов, прежде всего от климата и минералогического состава исходных пеплов и туфов. В самых общих чертах можно говорить о характерных временах от сотен до первых тысяч лет. Что касается трансформации Андосолей в развитые Лювисоли, то это процесс значительно более медленный, и характерные времена измеряются уже первыми десятками тысяч лет (Sedov et al., 2003a).

Почвы на молодых вулканических пеплах довольно широко распространены в пределах Трансмексиканского вулканического пояса, который характеризуется высокой современной вулканической активностью; например, крупное извержение вулкана Парикутин в штате Мичоакан произошло в 1943 году (Arias, 1944). Велика вулканическая активность и на юге страны, на Сьеррах Чиа-



паса и Гватемалы, где недавнее (1981 г.) пирокластическое извержение вулкана Эль Чичонаутцин привело к выпадению огромных количеств пепла. Почвы, сформировавшиеся на свежих вулканических пеплах или на делювиально-пролювиальных отложениях, обогащённых таковыми пеплами, описывались как Тефриковые Регосоли и Тефриковые Флювисоли (Gama Castro et al., 2000; Segura Castruita et al., 2003, 2005). В приведённых исследованиях отмечается, что эти слоистые, почти не дифференцированные на генетические горизонты, почвы отличаются от большинства слабо-развитых почв более высокой водоудерживающей способностью, что определяет в целом их благоприятные для сельского хозяйства водно-физические свойства. Отметим, что, судя по описаниям, некоторые из Тефриковых Флювисолей были классифицированы ошибочно, поскольку диагностическая для *флювикových* материалов слоистость в них была признаком скорее делювиальных наносов, а то и просто слоистых пепловых отложений. Обширный массив материалов по генезису и свойствам почв на вулканических пеплах содержится в работах Н. Агилеры Эрреро (Aguilera Herrera, 1965) и его многочисленных учеников. Школой Николаса Агилеры различались почвы на вулканических отложениях и почвы «андо» (Peña, 1978, 1980; Alvarez, 1983), то есть проводилась граница между почвами, содержащими, в терминологии WRB, *андиковые* материалы, и почвами вулканического генезиса, ещё недостаточно выветрелыми и содержащими существенное количество вулканического стекла. Целым рядом учеников Н. Агилеры были исследованы Андосоли разных частей Трансмексиканского вулканического пояса (Cervantes, 1965; Aceves, 1967; Allende, 1968; Domínguez, 1975; Lorán, 1976; Navarro, 1976; García Calderón, 1984; García Calderón et al., 1986; Morán, 1987; Medina, 1993; Valera Pérez, 1994; Tenorio, 2003). Согласно этим работам, Андосоли центральной Мексики характеризуются обычно довольно глубоким гумусовым горизонтом, имеющим зернистую (икрянистую) структуру, цвет которого варьирует от бурого до чёрного. Мелкозернистые тиксотропные агрегаты представляют собой одну из типичнейших морфологических черт Андосолей; независимо от природно-биоклиматических условий они формируются во всех вулканических почвах. Очевидно, утверждения об их биогенном происхождении не

соответствуют истине (Dubroeuq et al., 1992, 2002; Barois et al., 1998). Реакция среды этих почв варьирует от кислой до слабокислой. Все они отличаются переменным зарядом и высоким обменным поглощением фосфора (причём оно тем выше, чем меньше содержание органического вещества в почве). Отдельного разговора заслуживает распределение Андосолей с *фульвиковым* и *меланиковым* горизонтами (то есть тёмными, почти чёрными, богатыми гумусовыми кислотами – и более светлыми, буроватыми, горизонтами). Согласно мнению японских исследователей (Takahashi et al., 2004), *меланиковые* горизонты формируются под травянистой растительностью либо индицируют такую растительность в прошлом. Однако исследования в Мексике показали, что чёрные поверхностные горизонты характерны скорее для влажных лесных экосистем, в то время как буроватые *фульвиковые* горизонты встречаются под сухой растительностью, индицируя в палеопочвах соответствующие палеогеографические обстановки (Sedov et al., 2003b). Наши наблюдения показывают, что не существует чёткой привязки цвета поверхностного гумусового горизонта Андосолей к современным экосистемам; это же мнение подтверждают коллеги, посвятившие себя картографированию почв в областях широкого распространения вулканических осадков. Однако следует признать, что во влажных лесных экосистемах, особенно под пологом высокогорных хвойных лесов и горных туманных лесов чёрные горизонты в современных Андосолях встречаются значительно чаще, чем под сухой степной растительностью.

Одно из своеобразных свойств мексиканских Андосолей – присутствие во многих районах сцементированного горизонта, «тепетате». Ранее наличие этого горизонта приписывалось диагенетическим поствулканическим процессам, а в последние годы более обоснованной считается гипотеза о почвенном происхождении этого горизонта (Acevedo Sandoval and Flores Román, 2000, 2003). С почвенно-классификационной точки зрения место этого горизонта не вполне ясно в силу разнородности его свойств. Некоторые из «тепетатес» сцементированы небольшими количествами опала, что сближает их с *дуриковым* горизонтом, другие же не имеют кремнёвого цемента, и потому размокают в воде, что соответствует определению *фраджикового* горизонта. С одной стороны, наличие «тепетате

тес» представляет собой серьёзную проблему для сельского хозяйства, поскольку эрозия местами экспонирует этот твёрдый, почти не поддающийся обработке почвенный материал, на поверхность. С другой стороны, наиболее прочные разновидности «тепетатес» активно используются в качестве строительных материалов.

Строение профиля вулканических почв тесно связано с режимом поступления пирокластических материалов. В зонах редких интенсивных извержений пирокластического типа (как наиболее изученные объекты перечислим долину Мехико, долина Теотиуакана, склоны вулкана Невада де Толука) формируются глубокие пепловые почвы, развившиеся до стадии зрелых Андосолей (Solleiro Rebolledo et al., 2003, 2006). В разрезе могут быть встречены погребённые почвы, но обычно на глубине 1 м и более. В областях недавних извержений (или серии извержений) наблюдаются серии слабо изменённых вулканических пеплов, почвы характеризуются как Тефриковые Камбисоли и Регосоли; эти профили развиваются по синлитогенному сценарию (Соколов, 2004). В периферийных зонах аккумуляции вулканогенных осадков с большим периодом накопления формируются «многоэтажные» профили, в которых каждая почва имеет свойства зрелой Андосоли, но мощность её составляет от 1 до 40 см. Наконец, в периферийных зонах постоянного (или имеющего малый период; например, извержения вулкана Попокатепетль происходят с интервалом от нескольких месяцев до нескольких лет) пирокластического осадконакопления формируются так называемые педокомплексы: пеплово-почвенные толщи, слабо дифференцированные на горизонты с равномерным или флуктуирующим содержанием органического углерода (Mielich, 1991).

Андосоли устойчивы к водной эрозии; однако, это результат не провального дренажа, как в вулканических почвах Камчатки (Соколов, 2004), а высокой водоудерживающей способности почв. В то же время та же высокая водоудерживающая способность приводит к оползням на крутых склонах. Обычен смыв Андосолей по водонепроницаемому горизонту «тепетате» (Servenay and Prat, 2003). Также Андосоли могут терять свою устойчивость к смыву после кристаллизации глин в поверхностном горизонте в результате сжигания стерни кукурузы и сахарного тростника, довольно распространённой практике в Мексике.

### 3.2. Текстурно-дифференцированные почвы

Текстурно-дифференцированные почвы в WRB (IUSS Working Group WRB, 2006) представлены пятью реферативными группами: Альбелювисолями, Акрисолями, Алисолями, Ликсисолями и Лювисолями. Генезис группы Альбелювисолей связан с криогенными процессами (Driessen et al., 2001), и потому почвы из этой группы не встречаются в Мексике. Оставшиеся четыре группы различаются по степени насыщенности основаниями и активности глин. Следует отметить, что подобное разделение, начало которому было положено в Легенде к почвенной карте мира (FAO-UNESCO, 1974), удобно для обзорных почвенных карт, но вызывает определённые трудности при использовании в реальных почвенных ландшафтах. Поскольку насыщенность основаниями и минералогия глинистой фракции почв зависят от почвообразующих пород и топографии, то довольно часто близкие по морфологии и свойствам текстурно-дифференцированные почвы, сопряжённые в пространстве, мы вынуждены разделять по формальным признакам.

Акрисоли и Алисоли (почвы, ненасыщенные основаниями) формируются главным образом во влажных тропических областях на остаточных и переотложенных корах выветривания. Эти почвы исследованы в Мексике недостаточно, в особенности мало информации об Алисолях – группе почв, которая была введена в мировую классификацию только в 1998 году. Поэтому даже на почвенных картах эти почвы практически не отражены, а объединялись с Акрисолями или Лювисолями. Как правило, Акрисоли и Алисоли имеют интенсивные красноватые или красновато-жёлтые окраски, хорошо выраженную ореховато-призмовидную структуру и отчётливые кутаны иллювиирования в горизонте В. Осветлённый элювиальный (*альбиковый*) горизонт в большинстве этих почв не выражен; наличие поверхностных светлых горизонтов чаще всего связано с присутствием свежих коллювиальных отложений на поверхности почвы. Акрисоли – довольно обычные компоненты и почвенного покрова влажных областей с умеренным и субтропическим климатом. В этих случаях всего они связаны с остаточными или перенесёнными древними кора́ми выветривания. Например, в районе Хилотепека, штат Пуэбла, в локальной депрессии в течение длительного времени накапливались продукты выветривания; там

находятся крупные карьеры по добыче каолинистых глин. На этих отложениях в условиях гумидного климата формируются Акрисоли. Описание этого профиля было сделано в ходе работ по экологической оценке почвенного покрова района строящейся автострады Нуэво Некакса – Титутлан (Elizabeth Fuentes Romero и Beatriz Marín Castro, неопубликованный отчёт). Весь профиль характеризуется кислой реакцией среды (рН от 4 до 5). Горизонт А (0-18 см) имеет тёмно-бурую окраску, опесчаненный лёгкий суглинок, структура комковато-ореховатая, с элементами зернистой, единичная дресва, много корней. Горизонт АВ (18-25 см) – интенсивно бурый, средний суглинок, структура ореховатая, редкий гравий, мало корней. Горизонт Вt (25-65 см) имеет красновато-жёлтую окраску, тяжёлый суглинок, структура ореховато-призматическая, обильные глинистые кутаны по граням структурных отделностей, мало гравия и щебня, единичные корни. Ниже залегает горизонт ВС (до глубины 170 см), который также имеет красновато-жёлтый цвет, но с глубиной в нём появляются пятна и зоны желтовато-бурого цвета, а с глубины 150 см – чёрные марганцевые кутаны; гранулометрический состав – средний к тяжёлому суглинок, структура ореховато-глыбистая, встречаются глинистые кутаны, количество которых убывает с глубиной; каменистость возрастает с глубиной, достигая в нижней части разреза 50%.

Ликсисоли и Лювисоли – почвы преимущественно семигумидных и семиаридных областей, хотя встречаются они и в более сухих или, напротив, более влажных областях. Различие между этими двумя группами почв в Мексике заключается преимущественно в почвообразующих субстратах: Ликсисоли формируются на отложениях, изначально бедных активными глинистыми минералами (обычно на переотложенных корках выветривания). Наличие иллювиирования глины в областях со сравнительно низким отношением осадков к испаряемости объясняется тем, что почти вся годовая сумма осадков выпадает во влажный сезон, продолжающийся 4–5 месяцев, то есть даже в семиаридной зоне долины Мехико в сезон дождей в месяц выпадает не менее 100-150 мм осадков, что обеспечивает промывку, выщелачивание и иллювиирование глины в почвенных профилях. Лювисоли имеют, пожалуй, самый широкий экологический диапазон в Мексике, от влажных тропических ле-

сов до пустынь севера. Традиционно считалось, что текстурно-дифференцированные почвы (Лювисоли, или Арджида в терминологии Soil Taxonomy) в северных аридных районах Мексики представляют собой реликты более влажных климатов, однако недавняя работа французских исследователей в пустыне Чиауа (Ducloux et al., 2006) позволяет предположить, что текстурная дифференциация – результат скорее новообразования смектитовых и палыгорскитовых глин в почвах, чем их иллювиирования. Обычны Лювисоли на вулканических пеплах; распространение их на территории Трансмексиканского вулканического пояса слабо связано с современными климатическими условиями, поскольку в большинстве своём это эксгумированные палеопочвы, сформировавшиеся на плейстоценовых пеплах (Sedov et al., 2003a). Особенно распространены подобные эксгумированные Лювисоли на восточной и западной оконечностях Трансмексиканского вулканического пояса (в штатах Пуэбла и Мичоакан, соответственно), где современный чехол вулканических пеплов довольно тонок, и местами полностью смыт, обнажая красноцветные глинистые продукты выветривания более старых пеплов со сформированными на них Лювисолями. В таких районах Мичоакана, как водосборы Морелии, Патцкуаро и Сирауэна красноцветные Лювисоли образуют сложную эрозионную мозаику с Андосолями (Chávez Huerta, 1984, 1990). В некоторых случаях на поверхности почвы обнаруживается тонкий нанос новейших пепловых осадков, как в профиле Новиковой Кутаниковой Лювисоли, заложенном на водосборе реки Пенья Камейо, штат Мичоакан (вблизи г. Морелия) под мертвопокровным дубово-сосновым лесом. Горизонт А слабо развит (мощность 2-4 см), серовато-бурый, супесь, структура плитчатая. Под ним залегает слабо изменённый почвообразованием пепловый горизонт АВ (4-35 см), светло-бурый, лёгкий суглинок к супеси, пятна и потёки гумуса, структура ореховатая прочная, мало корней. Ниже обнаруживается серия горизонтов 2Bt (до 80 см), малиново-красного цвета, средне-к тяжелосуглинистых, имеющих призматическую структуру с выраженными глинистыми кутанами по граням структурных отдельных частей. Ниже залегает почти не изменённый почвообразованием слабо консолидированный туф андезитового состава. При проведении полевого теста на наличие аллофанов (точнее, «свободного алюми-

ния») с фенолфталеином и NaF была обнаружена активная реакция в верхних двух горизонтах, и практически нулевая – в горизонтах В, что подтверждает кристаллизацию глин в более старых отложениях, в которых и сформировался собственно профиль Лювисоли. Встречаются Лювисоли на красноцветном глинистом элювии известняков (*terra rossa*), в областях влажного тропического климата, как на равнинах (отдельные области Юкатана (May Acosta and Bautista Zuñiga, 2005)), так и в горах Чиापаса (José Jesús Zenil Rubio, личное сообщение). В горных туманных лесах штата Тамаулипас (Национальный парк «Эль Сьело») также на красноцветном элювии карбонатных пород были обнаружены маломощные Лювисоли (Bracho and Sosa, 1987). Помимо перечисленных условий, как уже упоминалось, Лювисоли могут быть обнаружены в гумидных и семигумидных ландшафтах почти на любых почвообразующих породах. Ликсисоли, очевидно, распространены значительно менее широко, чем Лювисоли, на территории Мексики. Прежде всего, это связано с тем, что сильно выветрелые субстраты в Мексике занимают крайне ограниченные площади в силу постоянной интенсивной денудации, типичной для горных районов. В результате складывается парадоксальная ситуация: о наличии Ликсисолей упоминается во многих сводках, однако достоверные описания и данные химических анализов для этих почв отсутствуют. Во всяком случае, в тех публикациях, где даётся подробная характеристика «Ликсисолей» (Bautista Zuñiga et al., 1998; Sommer Cervantes et al., 2003), на самом деле имеются в виду Лювисоли: при классификации почв были допущены ошибки. Типичная ошибка при классификации почв с *арджиковым* горизонтом состоит в том, что авторы забывают пересчитать ёмкость катионного обмена (ЕКО) на содержание глины. В соответствии с диагностикой Ликсисолей, эти почвы имеют насыщенность основаниями  $>50\%$  и ЕКО илистой фракции  $<24$  смоль·кг<sup>-1</sup>; при этом ЕКО мелкозёма почвы умножается на 100% и делится на процентное содержание илистой фракции. Например, активность глины в почве с содержанием илистой фракции 20% и ЕКО=10 смоль·кг<sup>-1</sup> будет 50 смоль·кг<sup>-1</sup> ила. Если забыть проделать эту простейшую операцию, то Лювисоли и Алисоли ошибочно классифицируются как Ликсисоли и Акрисоли соответственно.

Все почвы с *арджиковым* горизонтом подвержены водной эрозии, и в настоящее время практически все они находятся под сельскохозяйственным использованием и сильно деградированы.

### **3.3. Почвы с бурым слабодифференцированным профилем**

Почвы с бурым слабодифференцированным профилем широко распространены на территории Мексики. Обычно их относят к группе Камбисолей. Как отмечал Б. Г. Розанов (1977), для всех горных систем мира, независимо от биоклиматических условий, характерно, наряду с высотной поясностью и обилием каменистых почв, присутствие бурых слаборазвитых почв. Механизмы формирования подобных почв не описаны в деталях, но общая схема ясна: скорость склоновых процессов в горах такова, что почвообразование не успевает сформировать более развитый профиль. Собственно, подобные почвы и составляют «центральный образ» Камбисолей Мексики. В данном разделе мы ограничиваем описание именно подобными объектами, не затрагивая почвы с развитым профилем (текстурно-дифференцированным, сильно выветрелым, имеющим признаки накопления карбонатов – то есть «почты Лювисоли», «почты Нитисоли», «почты Кальцисоли» и т. д.), но не попадающие в прочие группы почв по формальным признакам.

Довольно типична морфология профиля Камбисоли скелетиковой, заложенного в местечке Куэтцалинго, штат Пуэбла, в районе строящейся автострады Нуэво Некакса – Титутлан (Elizabeth Fuentes Romero и Beatriz Marín Castro, неопубликованный отчёт). Разрез заложен на высоте 870 м над уровнем моря, под пастбищем (естественная растительность – полулистопадный тропический лес), на крутом склоне (35-40°). Горизонт А (0-15 см) бледно-бурого цвета, супесь к лёгкому суглинку, структура зернистая, в основном сосредоточенная по корням, корней много, каменистость (щебень, дресва) составляет 15-20%. Горизонт Bw (15-25 см) – тёмно-бурый, опесчаненный лёгкий суглинок, структура ореховатая непрочная, мало корней, каменистость (глыбы, щебень, дресва) до 40%. Ниже (до 80 см и глубже) залегает горизонт BC, бледно-бурый, лёгкий суглинок к супеси, ореховато-глыбистый, единичные корни, каменистость (глыбы, щебень, дресва) достигает 70% и возрастает с глубиной.



В силу универсальности Камбисолей для территории Мексики трудно охарактеризовать общие свойства этих почв. В гумидных областях они имеют преимущественно кислую реакцию среды и ненасыщены основаниями. В аридных районах Камбисоли характеризуются нейтральными и щелочными значениями реакции среды, насыщены основаниями, зачастую содержат небольшие количества вторичных карбонатов и растворимых солей. В горных районах обнаруживаются Камбисоли на породах, обогащённых карбонатами; обширные районы они занимают в районе Карсо Уастека в пределах горной системы Сьерра Мадре Ориенталь. Также в горных районах Камбисоли могут формироваться на поверхностях, обнажённых водной эрозией. Использование и продуктивность этих почв варьирует в широких пределах в зависимости от конкретных свойств почвы и природно-климатических условий.

### ***3.4. Почвы с развитым гумусовым горизонтом***

Почвы с развитым гумусовым горизонтом (*молликовым* или *умбриковым*), даже если не принимать во внимание темноцветные вулканические почвы, довольно широко представлены на территории Мексики. В WRB к таковым почвам относится четыре реферативные группы: Чернозёмы, Каштанозёмы, Файозёмы и Умбрисоли.

По гипотезам российских исследований, значительная часть территории страны занята каштановыми почвами (Глазовская, 1973; Розов, Строганова, 1979), на карте Почвенной службы США (Soil Survey Staff, 1999) показаны Моллисоли на территориях горных систем Сьерра Мадре Ориенталь и Осиденталь, карты INEGI показывают Файозёмы как одни из самых распространённых почв в Центральной Мексике. Все эти точки зрения имеют основание. Карты INEGI имеют наибольшую ценность, поскольку построены на основании полевой почвенной съёмки. Однако на них несколько преувеличена площадь Файозёмов за счёт Чернозёмов и Каштанозёмов. Дело в том, что многие мексиканские почвенные картографы боялись выделять последние две группы почв на территории Мексики, находясь в плену упрощённой зональной концепции, согласно которой Чернозёмы и Каштанозёмы – это почвы умеренных природных зон, степной и сухостепной, соответственно. Распространение Умбрисолей на территории Мексики до на-

стоящего времени не отображено адекватно, учитывая сравнительно недавнее (1998 г.) введение этой группы почв в классификацию.

Чернозёмы в Мексике формируются преимущественно в условиях семигумидного тропического и субтропического климата, на обширных морских равнинах побережья Мексиканского залива. В силу климатических условий и глинистых почвообразующих пород морского генезиса их отличает определённая тенденция к слизации (в сухом состоянии верхний горизонт разбивается трещинами), однако *вертикальные* признаки недостаточно выражены, чтобы отнести эти почвы к Вертисолям. Приведём описание типичного профиля Вертикового Чернозёма в посёлке Папантларийо (район г. Поса Рика, штат Веракруз), сформированного на неогеновых карбонатных морских глинах, частично под плантацией цитрусовых, частично под пастбищем, на высоте 80 м над уровнем моря. В дальнейшем мы вернёмся к этому профилю для более подробной характеристики его свойств. Горизонт Ак (0-30 см) чёрного цвета, средний к тяжёлому суглинок, структура зернисто-ореховатая, пористый, очень высока биологическая активность (муравьи, личинки насекомых), густые корни, встречаются единичные мягкие стяжения карбонатов, бурная реакция с HCl. Горизонт АВк (30-45 см) имеет неоднородную окраску: чередуются пятна тёмно-серого и светло-жёлтого цвета, тяжёлый суглинок, структура ореховатоглыбистая, много корней, обильные выцветы и стяжения карбонатов, бурная реакция с HCl. Горизонт Вк (45-95 см) светло-буровато-жёлтый с тёмно-серыми пятнами и потёками, главным образом по кротовинам и ходам червей, структура ореховатая, единичные корни, крупные стяжения карбонатов, напоминающие «белоглазку», в нижней части горизонта, реакция с HCl менее активная, чем в вышележащих горизонтах. Горизонт ВСк (95-135 см и глубже) светло-буровато-жёлтый, структура глыбистая, обильные карбонаты, как мягкие стяжения, так и твёрдые обломки породы, бурная реакция с HCl. Отметим, забегая вперёд, что в приведённом профиле существенную проблему представляло определить первичных или вторичный характер карбонатов в профиле. Данные микроморфологического исследования, а также характер распределения карбонатов в профиле позволяют утверждать, что часть карбонатов в почве имеет педогенную природу.

Каштанозёмы имеют в Мексике большее распространение, чем Чернозёмы, и встречаются преимущественно в семиаридных районах. В сухих областях накопление гумуса, и его химический состав (преобладание фульвокислот), определяют более светлые окраски гумусового горизонта, чем требуется диагностическими критериями Чернозёмов. Как и Чернозёмы, Каштанозёмы обязательно должны содержать педогенные карбонаты в профиле; их содержание обычно максимально в горизонте АВ, но вскипание обычно наблюдается по всему профилю. Обычная форма карбонатов в профиле – мягкие стяжения, «белоглазка»; эти формы карбонатных новообразований в мексиканской литературе называются «дискретными» (*acumulación discontinua*) (Pérez Zamora, 1999). Аккумуляция гипса в профиле Каштанозёмов не выражена; в Центральной Мексике, например, в долине Теотиуакана иногда обнаруживаются аккумуляции гипса, однако за пределами почвенного профиля (на глубине 3-4 м). Многие Каштанозёмы в условиях переменного влажного климата, особенно сформированные на глинистых породах, имеют *вертикальные* признаки (Kuhn et al., 2003). Обычны Каштанозёмы, сформировавшиеся на плакорных позициях Трансмексиканского вулканического пояса на вулканических пеплах (Solleiro Rebolledo et al., 2006); чаще всего поверхности, где формируются Каштанозёмы, старше голоценового возраста, поскольку для формирования этих почв необходима кристаллизация глин.

Для многих Каштанозёмов, встречающихся в семиаридной зоне, характерно накопление легкорастворимых солей и осолонцевание (Sommer and Gram, 1998). Их использование в сельском хозяйстве часто приводит к ускоренной деградации и развитию эрозионных процессов (Kuhn et al., 2003).

Файозёмы на территории Мексики представляют собой довольно разнородную группу почв. В целом равнинные варианты Файозёмов можно разделить на следующие генетические подгруппы:

- а) Почвы, развитые на преимущественно силикатных породах, как на осадочных, так и на элювии и коллювии изверженных пород, под степной (саванной) и ксерофитной лесной растительностью. Их профиль отражает современные биоклиматические условия; многие из этих почв имеют *арджиковый* горизонт. Эти почвы, Гапликовые и Лювиковые Файозёмы, занимают «эколо-

- гическую нишу» в ряду почв по увлажнению между Чернозёмами и Лювисолями. Подобные почвы обнаруживаются как в относительно влажных межгорных долинах, так и на горных склонах (Fuentes Romero et al., 2004).
- б) Почвы, развитые на относительно свежих вулканических пеплах. Фактически представляют собой более гумусированные варианты Тефриковых Регосолей и Камбисолей (Segura Castruita et al., 2005). Формируются обычно на пеплах кислого петрографического состава. Классифицируются как Андиковые, Витриковые и Тефриковые Файозёмы. Чаще всего встречаются под хвойными лесами.
  - в) Почвы, развитые на плотных карбонатных породах, сходные с рендзинами (Рендзиковыми Лептосолями), но имеющие мощность более 25 см; они классифицируются как Рендзиковые Файозёмы.
  - г) Почвы, развитые в депрессиях и понижениях, в которых, как правило, формируются слитые почвы (Вертисоли) (Álvarez Arteaga, 1993). В ряде случаев либо содержание глины недостаточно для формирования всего комплекса *вертикальных* свойств, либо биоклиматические условия тому не способствуют, и тогда почвы классифицируются как Вертикальные Файозёмы.
  - д) Изначально бедные органическим веществом почвы, которые в результате сельскохозяйственного использования, орошения и внесения органических удобрений приобрели мощный, богатый органическим веществом гумусовый горизонт (Reyes Solis et al., 2005). При этом почвы классифицируются не как Антросоли (поскольку мощность агрогенно-трансформированного горизонта менее 50 см), а как Антриковые Файозёмы.

Приведём описание одного из перечисленных вариантов профилей – Эндолептикового Вертикального Файозёма; профиль заложен в долине Мехико, в районе Хилотепек де Абасоло, штат Мехико, на высоте 2240 м над уровнем моря, под пастбищем для овец (Álvarez Arteaga, 1993). Горизонт А (0-35 см) тёмно-серый, почти чёрный, опесчаненый средний суглинок, структура комковато-ореховатая, плотный, мало корней (сконцентрированы в верхней части горизонта), щебень базальта, рН водный 5,7, содержание органического углерода 1,7%, ЕКО 28,5 смоль·кг<sup>-1</sup>. Горизонт Bw (35-50

см) тёмно-бурый, средний суглинок, очень плотный, структура прочная ореховатая, редкие корни, мало щебня базальтового состава, значение водного рН 6,8, содержание органического углерода 1,5%, ЕКО 43, 7 смоль·кг<sup>-1</sup>. Ниже залегает горизонт ВС (50-65 см), подстилаемый слабо фрагментированной базальтовой скалой – желтовато-бурый, плотный, средний суглинок, структура ореховато-глыбистая, много щебня и глыб, значение водного рН 7,0, содержание органического углерода 0,1%, ЕКО 36,6 смоль·кг<sup>-1</sup>.

Группа Умбрисолой – одна из наименее изученных в Мексике. Как и в большинстве регионов мира, эти почвы преимущественно распространены в горных областях под пологом лесов и горных лугов. В зависимости от почвообразующих пород свойства Умбрисолой варьируют в широких пределах. Большая их часть формируется на молодых щебнистых элювиях и коллювиях, однако встречаются и Умбрисоли на остаточных глинистых корках выветривания (Ферраликовые Умбрисоли). Эти почвы детально охарактеризованы в последующих главах. При окультуривании насыщенность основаниями в верхнем горизонте Умбрисолой может возрасти до уровня свыше 50%, в этом случае почвы по новой версии WRB (IUSS Working Group WRB, 2006) именуется Молликовыми Умбрисолями.

### ***3.5. Маломощные почвы на силикатных скальных породах***

Маломощные почвы включают, прежде всего, Лептосоли – обширную группу почв, подстилаемых скальной породой на небольшой глубине (менее 25 см) или состоящих более чем на 90% из обломочного материала. Эта группа была образована путём слияния Литосолей, Рендзин и Ранкеров из Легенды почвенной карты мира (FAO-UNESCO, 1968). Генезис этих почв связан, как правило, с выходами массивных пород разного генезиса: либо они сформированы на молодых поверхностях, либо в областях, где потенциал выветривания и почвообразования низок (в пустынях и полупустынях разных широт), либо в горных регионах (Driessen et al., 2001). В последнем случае Лептосоли формируются на участках, где соотношение денудация и формирования почв и/или аккумуляция осадков не позволяет сформироваться глубокому почвенному профилю.

В горных системах Южной Мексики Лептосоли – одна из самых распространённых групп почв. В значительной степени обилие Лептосолей связано с крайне интенсивной геологической эрозией горных склонов, которая в целом характерна для относительно молодых горных систем. Кроме того, во многом интенсивность денудации определяется тектоническим поднятием всей системы Сьерра Мадре дель Сюр в новейшее время (Centeno García, 2004). На почвенных картах масштаба 1:250.000 Литосоли (по легенде ФАО, то есть Литиковые Лептосоли в новой номенклатуре) показаны как доминирующие почвы на обширных горных территориях. Многие Лептосоли в данном регионе представляют собой просто остаточный мелкозём, слабо закреплённый растительностью, на сильно эродированных склонах (бывшие Литосоли, или Литиковые Лептосоли в системе WRB). Следует отметить, что в последнем издании WRB после долгих дискуссий не была определена минимальная мелкозёмистая толща, необходимая для классификации объекта как «почвы», и открытая поверхность монолитной скалы (почва-плёнка или почва-корка) также может классифицироваться как Лептосоль. Также в значительной степени Лептосоли, которые наблюдаются в указанном регионе, представляют собой аналоги Ранкеров легенды ФАО, и классифицируются в системе WRB как Умбриковые Лептосоли. Генетически эти почвы формируются в условиях интенсивного эрозионного сноса материала и интенсивного же выщелачивания, которое во многом определяется мощным латеральным дренажом почв. Пример Андиковой Лептосоли, сформированной на маломощном наносе вулканических пеплов в Национальном парке «Эль Чико» (штат Идальго) под пихтовым лесом, приведён в работе Е. Н. Икконен и соавторов (Ikkonen et al., 2004). Почва характеризуется комплексом признаков, характерных для вулканических пепловых почв (высокая водоудерживающая способность, тиксотропность материала), имеет слабокислую реакцию и высокое содержание органического углерода.

Обширные территории Лептосоли занимают на территории пустынь и полупустынь северной части Мексиканского нагорья. В районе г. Салтийо (штат Коауила) были исследованы маломощные почвы под кактусовой разреженной растительностью (Elizabeth Fuentes Romero, неопубликованные данные). Почвы характеризуются блед-

но-серой окраской по всему профилю (мощностью от 10 до 20 см), низким содержанием органического вещества и слабощелочной реакцией среды. В некоторых профилях отмечается слабое вскипание при тестировании с помощью 10% соляной кислоты.

На равнинных территориях Лептосоли обычно используются под пастбища, в горных районах их использование в сельском хозяйстве ограничено.

### ***3.6. Маломощные почвы на карбонатных породах***

Довольно часто встречаются маломощные почвы, сформированные на твёрдых карбонатных породах; в версии ФАО эти почвы определялись как Рендзины, а в классификации WRB эти почвы названы Рендзиковыми Лептосолями. Эти почвы формируются как на горных склонах, так и в условиях карстового рельефа. В частности, подобные почвы занимают в Мексике обширные территории на полуострове Юкатан, который характеризуется равнинным рельефом с абсолютным доминированием осадочных карбонатных пород – известняков. Надо отметить, что многие исследователи подвергают критике объединение таких различных с генетической точки зрения почв, как Литосоли, Ранкеры и Рендзины, в одну группу (Gama-Castro et al., 2007).

Типичный профиль Рендзиковой Лептосоли полуострова Юкатан приводится К. Май Акоста и Ф. Батиста Суньи́га (May Acosta and Bautista Zuñiga, 2005). Разрез был заложен в местечке Цукакаб, штат Юкатан, под пологом «низкой сельвы» (низкорослый тропический лес с элементами ксерофитной флоры). Почва имеет мощность 23 см, цвет на всю глубину чёрный (во влажном состоянии), гранулометрический состав – лёгкий суглинок, структура ореховатая, обломки известняка разнообразных размеров составляют около 30%, по всей глубине вскипает от 10% соляной кислоты, весь профиль пронизан густыми корнями. Минералогический состав маломощных карбонатных почв Юкатана изучен недостаточно; есть работы по Рендзинам, в которых отмечался существенный привнос вулканического материала (скорее всего, за счёт извержений вулканов региона Лос Тукстлас). Согласно опубликованным данным (Dudek et al., 2006), существенную часть глинистого материала составляет смешанослойный каолинит-сметтит, который, по

мнению авторов, образуется за счёт трансформации синтетического смектита. Следует отметить, что описанная ситуация (участие вулканического материала в формировании Рендзиковых Лептосолей) не вполне типична.

Примером другого типа Лептосоли может служить следующая почва, развитая на плотном известняке. Мощность прикопки составила 15 см, из которых 10 см составляет тёмно-красновато-бурый горизонт А, а нижние 5 см – красновато-бурый горизонт АВ. Оба горизонта имеют хорошую комковато-зернистую структуру, пропитаны гумусом, густо переплетены корневыми системами растений. В профиле очень высоко содержание обломочного материала, однако мелкозём имеет тяжёлый гранулометрический состав, соответствующий тяжёлому суглинку или глине. Содержание органического углерода высокое, 6-7%, в составе гумуса высоко содержание гуминов (>50%), отношение ГК/ФК несколько выше единицы. Ил характеризуется сложным минералогическим составом: присутствуют хлориты, слюды, вермикулит, смешанослойные образования и каолинит. Подстилающая скала показывает бурную реакцию с соляной кислотой, обломки карбонатных пород слабо вскипают, мелкозём горизонтов А и АВ с кислотой не реагирует. Отсутствие вскипания мелкозёма отмечалось для многих рендзиподобных почв на карбонатных породах, формирующихся под пологом лесов в условиях гумидного климата в горах (Bracho and Sosa, 1987). Высокие содержания органического вещества были отмечены для тёмных Рендзиковых Лептосолей также в Чиапасе, под пологом горных тропических дождевых лесов (Mendoza Vega and Messing, 2005). В то же время в тех же областях Чиапаса описаны и многочисленные Лептосоли на плотных карбонатных породах, имеющие окраски от красновато-чёрной до красной и жёлтой (José Jesús Zenil Rubio, личное сообщение).

В целом надо отметить, что Рендзиковые Лептосоли и близкие к ним почвы (под которыми мы понимаем, прежде всего, Калькарикковые Лептосоли, не имеющие *молликового* горизонта, и Рендзиковые Файозёмы, несколько превышающие Рендзиковые Лептосоли по мощности) представляют собой довольно неоднородную группу почв, характеризующихся рядом региональных и локальных особенностей. В областях с влажным тропическим климатом в



основном они могут иметь как красноватые, так и совершенно чёрные оттенки. При этом в тропиках микростроение подобных почв более всего напоминает микроструктуру сильно выветрелых тропических кор выветривания (С. Н. Седов, личное сообщение). Как в засушливых, так и в гумидных областях почвы на карбонатных породах зачастую довольно бедны органическим веществом (в первую очередь это касается почв, подверженных эрозии), и зачастую их поверхностный горизонт не соответствует критериям *молликового* горизонта по критериям окраски.

### ***3.7. Засолённые и щелочные почвы***

Несмотря на то, что в Мексике обширны территории, характеризующиеся аридным климатом, площадь засоленных почв довольно мала. Отметим, что засоление связано с тремя почвенными обстановками. Во-первых, засоление почв наблюдается в мангровых и маршевых почвах побережий; в некоторых из этих почв наблюдается сульфатнокислый процесс. Эти почвы классифицируются как Саликовые и Тиониновые Флювисоли. Следует отметить, однако, что даже на небольшом удалении от берега засоление в этих почвах невысоко (Giani et al., 1996; Méndez Linares et al., 2007). Отчасти это объясняется тем, что низкие пологие берега, где формируется мангровая растительность, как правило, привязаны к дельтовым частям рек, и почвы частично промываются пресными водами. Наиболее обширные территории подобных почв обнаруживаются в южной части Мексиканского залива, в штате Табаско и на юге штатов Кампече и Веракруз (Palma López et al., 1985; Palma López and Cisneros, 1997; Moreno Cáliz et al., 2002). Во-вторых, на севере страны локальное засоление наблюдается по вытянутым эфемерным озёрам «плайас», на поверхности некоторых из которых в период пересыхания формируется корка солей. Наконец, в пределах Трансмексиканского вулканического пояса в замкнутых понижениях, в особенности по окраинам озёр с повышенной минерализацией вод, происходят процессы интенсивного соленакпления (Del Valle, 1983; Gutiérrez Castorena and Ortiz Solorio, 1999). В особенности это относится к пересохшим или осушенным озёрам (Лагуна де Тотольсинго в штате Пуэбла и озеро Тескоко в штате Мехико). Осушенное озеро Тескоко, очевидно, следует счи-

тать крупнейшей засоленной поверхностью в Мексике. До прихода испанцев в центре долины Мехико существовала система озёр, причём два из них (Сочимилко и Чалко) были пресными, а три (Тескоко, Сумпанго и Салтокан) – солёными. После осушения водной системы дно Тескоко полностью обнажилось, и практически все почвы, которые формируются на этой обнажившейся поверхности, содержат то или иное количество растворимых солей. В основном это почвы содового засоления; натрий накапливался в озёрах бессточной котловины долины Мехико в результате выветривания вулканических пеплов, и образовывал карбонаты и бикарбонаты. При осушении озера донные отложения и грунтовые воды, залегающие близко к поверхности, оказались насыщены содой. Щелочная реакция среды и обилие легко выветриваемого вулканического стекла приводят к усиленной миграции кремния и формированию опаловых новообразований в отложениях и почвенных профилях (Gutiérrez Castorena et al., 2005, 2006). Близкое залегание грунтовых вод делает неэффективной мелиорацию (промывание, внесение гипса и серосодержащих мелиорантов) этих почв. Сходная ситуация наблюдается и в ряде других замкнутых долин Трансмексиканского вулканического пояса; солончаки на берегах таких озёр как Куитцео и Патцкуаро (штат Мичоакан) имеют сезонный характер, появляясь только в сухой сезон. Практически все Солончаки в Мексике гидроморфны. Солонцы обычно связаны территориально с Солончаками, занимая окраины замкнутых долин и наиболее возвышенные участки. Морфологически Солонцы в Мексике обычно отличаются тёмной окраской всего профиля и отсутствием столбчатой структуры в солонцовом горизонте (чаще в этом горизонте наблюдается крупнореховатая структура).

### ***3.8. Слитые почвы***

К слитым почвам относятся Вертисоли и ряд почв других групп, имеющих вертикальные признаки, то есть близкие к ним генетически и по физическим свойствам. Вертисоли (Vertisols) – почвы, формирующиеся на отложениях, богатых смектитовыми глинами, и в силу того имеющие специфические физические свойства: разбухание во влажном состоянии, и сжатие с образованием глубоких трещин в сухом. Огромное количество работ посвящено

генезису, физическим свойствам и использованию Вертисолей в сельском хозяйстве: упомянем лишь обобщающие труды под редакцией Л. П. Уайлдинга и Р. Пуэнтеса (Wilding, Puentes, 1988) и Н. Ахмада и А. Мермута (Ahmad, Mermut, 1996). Сметиты – обычные продукты выветривания горных пород, богатых основаниями, в условиях умеренного выщелачивания элементов. Сметиты – дисперсные и лёгкие минералы, и потому легко переносятся водными потоками и впоследствии накапливаются в донных осадках. Поэтому Вертисоли, как правило, развиваются на морских и озёрных отложениях, реже на аллювиальных и делювиальных наносах тяжёлого гранулометрического состава. Довольно часто Вертисоли формируются на переотложенных продуктах выветривания карбонатных (или богатых карбонатами) осадочных и метаморфических пород. Разнообразие отложений и источников сметитовых глин определяет широкое распространение Вертисолей в мировом масштабе. Они встречаются во всех областях, где наблюдаются сухие и влажные сезоны, от тропического до умеренного тропического пояса.

Как уже упоминалось выше, Вертисоли – почвы понижений и депрессий, и не вполне характерны для горных склонов. Разумеется, есть и исключения: например, в новой французской почвенной классификации (AFES, 1998) маломощные сметитовые почвы, подстилаемые скальной породой, в том числе формирующиеся на крутых склонах, выделены в специальную группу ЛЕПТОСМЕКТИСОЛЕЙ. В Мексике нам не удалось встретить подобных объектов. Вертисоли вполне обычны как на прибрежных равнинах, так в горных районах. В последних они не только занимают обширные территории в межгорных долинах и впадинах, но и встречаются в виде пятнистостей по впадинам в мезо- и микрорельефе на слабоволнистых выровненных пространствах. Морфология и свойства Вертисолей варьируют в зависимости от их местоположения, климата и происхождения материнской породы. На прибрежных равнинах Вертисоли чаще всего формируются на богатых сметитами морских глинах. Примером подобной почвы может служить профиль, заложенный на плейстоценовой морской террасе возле города Тапачуля, штат Чиapas, под плантацией манго. Эта почва сформирована на двучленных мор-

ских отложениях: смектитовая глина, подстилаемая карбонатным песком. Верхний горизонт полностью вложен в глинистые отложения: он характеризуется полным комплексом свойств, типичных для Вертисолей: образованием трещин, «сликенсаидов» («зеркал скольжения»), самомульчированием поверхностного слоя почвы. В межгорных котловинах Южной Мексики Вертисоли зачастую не имеют обычной тёмной окраски. Например, в долине Ночикслана (штат Оахака) на рабочем туре WRB в 2005 году был представлен профиль глинистой почвы, имеющий ярко-красную окраску. Почвообразующая порода представляет собой материал преимущественно делювиального генезиса, снесённый с близлежащих горных массивов. Как уже упоминалось, смектиты – самые тонкодисперсные и лёгкие из кристаллических глинистых минералов, и потому в случае переноса водами с низкой энергией их транспорт происходит на большие расстояния. Довольно обычны Вертисоли на вулканических отложениях Трансмексиканского вулканического пояса. В этом физиографическом регионе практически все низменности любого масштаба заняты Вертисолями или почвами с вертикальными признаками. Генезис этих почв на вулканических пеплах несколько сложнее, чем у Вертисолей, формирующихся на уже «готовых» смектитовых глинах. Считается, что смектиты образуются синтетическим путём в перенасыщенных растворах, продуцирующихся за счёт быстрого растворения вулканического стекла. Многие Вертисоли Трансмексиканского вулканического пояса формируются на озёрных отложениях. Таковы, например, отложения бывшего озера Тескоко, на которых стоит город Мехико; согласно данным исследований (Warren and Rudolph, 1997), около 30% от глинистой фракции отложений составляет смектит, что создаёт серьёзные инженерные проблемы при строительстве в городе. Однако смектиты, аккумулирующиеся в озёрных осадках, в основном местного (почвенного, синтетического) происхождения. Потому даже в небольших депрессиях, в которых не происходит накопления озёрных осадков, в почвах всегда обнаруживается определённое содержание смектитов, и почвы имеют хотя бы слабо выраженные *вертикальные* признаки. Загадочная особенность некоторых Вертисолей, сформировавшихся на вулканических пеплах в

пределах Трансмексиканского вулканического пояса – отсутствие смектитов в илистой фракции почв. Единственные кристаллизованные компоненты глин в этих почвах – галлуазит и метагаллуазит. Об этом необычном феномене независимо друг от друга сообщили автору С. Н. Седов (исследования на Гласисе Буэнависта, штат Морелос) и Miguel Angel Velera Pérez (исследования в центральной части штата Пуэбла); ни один из упомянутых исследователей не решился опубликовать эти данные, идущие в разрез с общепринятыми взглядами на генезис слитых почв.

Многие слитые почвы, формирующиеся в условиях наиболее засушливого климата, содержат вторичные карбонаты. Разрез Кальциковой Вертисоли под кукурузным полем в небольшой долине штате Идальго (SEMARNAT, 2000) представляет собой типичный профиль для Вертисолей центральной части Мексики. Пахотный горизонт А имеет мощность около 10 см и довольно беден органическим углеродом ( $< 1\%$ ), тёмно-серый во влажном состоянии и серый – в сухом; в сухом состоянии очень плотный, во влажном – пластичный, включает мягкие карбонатные конкреции. Горизонт характеризуется слабощелочной реакцией среды (pH 7,7) и очень высокой катионообменной способностью ( $50 \text{ смоль} \cdot \text{кг}^{-1}$ ). Горизонт АВ (10-45 см) имеет признаки *вертикального* горизонта: структура массивная, разбитая трещинами под углом  $30^\circ$ , на гранях структурных отдельностей наблюдаются «зеркала скольжения» («сликенсайды», стресс-кутаны), содержит мягкие и слабо уплотнённые карбонатные конкреции; содержание углерода ниже, чем в вышележащем горизонте, реакция среды и катионообменная способность на том же уровне. Горизонт ВС (45-80 см) в целом сходен с горизонтом АВ, только содержит меньше органического углерода и имеет более светлую сероватую окраску. Почвообразующая порода, вскрытая до 2 м, представляет собой почти белые делювиально-пролювиальные осадки, продукты переноса вулканических пеплов и карбонатного материала. Поскольку штат Идальго находится на стыке Трансмексиканского вулканического пояса и преимущественно осадочной, в большой степени сложенной карбонатными породами Сьерра Мадре Ориенталь, подобная смесь отложений достаточно обычна для долин этого региона. Содержание карбонатов кальция в осадках составляет около 50%.

Почти все слитые почвы используются в сельском хозяйстве, что приводит к определённой деградации их свойств. Например, за 6 лет возделывания Вертисоли в штате Нуэво Леон (на северо-востоке страны) почва потеряла более половины начального содержания органического углерода и общего азота (Bravo-Garza, Bryan, 2005).

### **3.9. Аридные почвы с аккумуляцией карбонатов и гипса**

Согласно данным INEGI, почвы с аккумуляцией карбонатов кальция (Кальцисоли) – одни из самых распространённых в Мексике, и занимают более 18% от национальной территории (уступая лишь Лептосолям и Регосолям). Тем не менее, публикаций с характеристикой почв этой группы на удивление мало; очевидно, это связано с малой ценностью Кальцисолей для сельского хозяйства. Основной ареал распространения Кальцисолей – аридные области севера страны. Преимущественная форма накопления карбонатов – диффузные, мучнистые аккумуляции (Pérez Zamora, 1999), реже встречаются сцементированные *петрокальциковые* горизонты. Последние чаще всего наблюдаются у подножий гор и холмов, а также на прибрежных равнинах аридной зоны. В *петрокальциковых* горизонтах наблюдаются признаки современной деградации (растворения) карбоната кальция, что заставляет предположить палеогидрогенный генезис этих образований. Наличие аккумуляций карбонатов зависит от почвообразующих пород. Исследования в пустыне Сонора обнаружили, что для почв, сформированных на породах вулканического происхождения, характерно наличие засоления, осолонцевания и присутствие *петрокальцикового* горизонта, в то время как почвы, образованные на элювии гранодиоритов и метаморфических пород, не содержали солей, обменного натрия и были полностью бескарбонатными (Graham and Franco Vizcaino, 1992). Кальцисоли формируются на породах любого гранулометрического состава, в том числе и на щебнистых; было показано, что в Баха Калифорнии карбонатные корочки образуются на поверхности щебня (Amundson et al., 1997), причём в случае средиземноморского климата (зимний максимум осадков) карбонаты аккумулируются на нижней поверхности щебня, а в случае летне-осеннего максимума осадков – на верхней.

Почвы с аккумуляцией гипса не характерны для территории Мексики, и обнаруживаются исключительно на осадочных гипсовых породах в аридных районах штатов Сан Луис Потоси и Нуэво Леон. Хотя эти почвы содержат преимущественно первичный (литогенный) гипс, их возможно отнести к группе Гипсисолей, поскольку микроморфологические наблюдения подтверждают наличие характерных кристаллов вторичного гипса, то есть процесса перекристаллизации гипса (José Carmen Soria Colunga, неопубликованные данные).

### ***3.10. Гидроморфные почвы***

Гидроморфные почвы, в том числе органические, занимают скромное место на территории Мексики. Органические почвы, Гистосоли, обнаруживаются почти исключительно на приморской равнине Мексиканского залива, в дельтовой части р. Грихальба в штате Табаско (Palma López et al., 1985; Palma López and Cisneros, 1997). Это типичные тропические Гистосоли, характеризующиеся высокой степенью разложения органического материала (практически перегнойным характером органического вещества). Местами мощность органической толщи достигает 4 м (Randy Adams Schroeder, личное сообщение). Большая часть Гистосолей находится под охраной (в Национальном парке «Пантанос де Сентла»), однако значительная часть подвержена сильному загрязнению нефтепродуктами (Adams Schroeder et al., 1999). Также вдоль выровненного побережья Мексиканского залива обнаруживаются и минеральные гидроморфные почвы – Глейсоли и Флювисоли. Засоление этих почв довольно низкое, и сульфиды присутствуют в малых количествах. Большинство этих почв характеризуется нейтральной и слабокислой реакцией среды и высоким содержанием органического углерода.

Другая, сравнительно малая по территории, область распространения Гистосолей и органо-минеральных гидроморфных почв – «чинампас», уникальные искусственные островные экосистемы, сконструированные в озере Сочимилко ацтеками из озёрных осадков. Почвы «чинампас» представляют собой сложный объект как с точки зрения генезиса, географии и классификации почв, так и с точки зрения их использования и охраны. Согласно многочислен-

ным работам по почвам этих уникальных экосистем (Alfaro Sánchez, 1980; Bautista Zuñiga, 1988; Fernández, 1988; Valdez, 1995), профиль типичной почвы «чинампас» представляет собой недифференцированную чёрную органо-минеральную массу, сложенную донными озёрными отложениями, смесью диагенетически изменённых вулканических пеплов и органических остатков. С точки зрения классификации эти почвы проблематичны: содержание органического углерода варьирует в них в широких пределах (от 4 до 20%), то есть в зависимости от содержания органического вещества они могут быть классифицированы как Гистосоли либо как минеральные почвы (в этом случае в последней версии WRB им соответствуют Терриковые Антросоли). На картах INEGI первого тура эти почвы обозначены как Файозёмы. Современные процессы почвообразования включают внутрипочвенное выветривание и сезонную миграцию солей по профилю. С точки зрения продуктивности эти почвы – важнейший ресурс для сельскохозяйственного производства, их продуктивность почти в 20 раз выше, чем в среднем по почвам страны. Однако в последние годы их использование в сельском хозяйстве сокращается, и уникальные «чинампас» подвергаются активной урбанизации. Отчасти это связано с возрастающим засолением вод в каналах в результате возросшего городского стока, как в твёрдом, так и в растворённом виде (Ruiz Fernández et al., 2005), что приводит к засолению почв и снижению их плодородия.

### ***3.11. Прочие почвы***

В этом разделе охарактеризованы почвы, по которым практически отсутствуют данные в настоящее время (хотя они занимают обширные территории в Мексике), либо те почвы, которые занимают ничтожные площади или же существование их в стране вообще сомнительно.

Регосоли, занимающие почти 25% национальной территории, практически не описаны в литературе, поскольку характеризуются отсутствием диагностических признаков. Обычно в группу Регосолей в Мексике включаются почвы пустынь, не имеющие выраженных аккумуляций солей, гипса и карбонатов, а также сильно эродированные почвы. Последняя группа особенно обширна во всех горных районах; площадь этих почв увеличилась в последние де-



сятилетия в связи с проводившейся в 60-70-е годы программой сельскохозяйственного освоения тропиков, которая сопровождалась сведением лесов и катастрофическим развитием эрозионных процессов. Свойства этих почв варьируют в зависимости от почвообразующих пород и биоклиматических условий. Общие характеристики для всей группы – низкое содержание органического углерода, бедность элементами питания, низкая ёмкость поглощения.

Ареносоли – группа, включающая в Мексике слабо развитые песчаные почвы, значительно менее распространена, чем Регосоли. Песчаных пустынь в Мексике мало; в Соноре описаны песчаные почвы на педиментах тоналитов (Graham and Franco Vizcaino, 1992), обширные песчаные пространства эолового происхождения встречаются в пустыне Вискано в Баха Калифорнии. На побережье Мексиканского залива описаны песчаные дюны (Dubroeuq et al., 1992), также узкая полоса песчаных пляжей спорадически встречается по побережьям обоих океанов. Практически этими участками и ограничивается распространение молодых песчаных почв.

Планосоли отмечены на картах INEGI спорадически на территории страны, преимущественно на территории Трансмексиканского вулканического пояса и Центральной Месы. Формируются на породах тяжёлого гранулометрического состава в условиях субгумидного и субаридного, с контрастным увлажнением, климата (Sommer and Cram, 1998) в понижениях и депрессиях с поверхностным застоем влаги. Довольно часто привязаны к руслам рек (обнаруживаются по старицам) и озёрным впадинам, в том числе сухим. Чаще всего резкая смена гранулометрического состава в профиле связана с двучленностью отложений.

Стагносоли – новая группа почв, введённая в WRB в 2006 году, и потому не отражённая в публикациях. Однако уже появились результаты исследований, которые показывают, что эти почвы занимают существенные площади на древних аллювиальных террасах в штате Табаско (David Palma López, личное сообщение). Стагносоли также обсуждаются нами в следующих главах данной работы.

Ферральсоли – группа почв, которые не отражены на почвенных картах INEGI. Возможные причины отсутствия (или крайне малой распространённости) этих глубоко выветрелых тропических почв в стране, где существенные территории имеют влажный тропический

климат, обсуждается нами в последующих главах. В отдельных публикациях (например, Mendoza Vega et al., 2003) сообщается о присутствии Ферральсолей на крайнем юге страны, в штате Чиapas, однако отсутствие морфологических описаний и аналитических данных разрезов не позволяет полностью доверять этим данным.

Нитисоли – также глубоко выветрелые тропические почвы, но имеющие своеобразную ореховатую структуру с блестящими поверхностями – выделялись в ходе первого тура почвенной съёмки INEGI, однако после существенных изменений, внесённых в диагностику этих почв в изданиях WRB 1998 и 2006 годов, их существование в Мексике поставлено под вопрос, поскольку современное определение *нитикового* горизонта включает определение железа в кислой оксалатной и дитионит-цитрат-бикарбонатной вытяжках, раздельное определение содержания общего и водно-диспергируемого ила и прочие методы анализов, которые не выполняются химической лабораторией INEGI. Не исключено, что при использовании более жёстких диагностических критериев значительная часть мексиканских «Нитисолей» будет переклассифицирована в Лювисоли, Акрисоли и Камбисоли.

Техносоли – новая группа, введённая в WRB в 2006 году. К ним относятся городские почвы и почвы открытой разработки полезных ископаемых. Эти почвы в Мексике занимают обширные территории, однако до сих пор исследования подобных почв единичны, и касаются в основном экологического эффекта выветривания отвалов шахт и карьеров (Acevedo Sandoval, 2000).

#### ***4. Почвенно-географическое районирование Мексики***

Почвенно-географическое районирование – традиционная задача почвенной географии, в особенности в отечественной почвенной школе (Добровольский, Урусовская, 1984). Однако во многих странах, несмотря на обширность и разнообразие почвенно-географических условий, районированию не уделяется достаточного внимания. В том числе и в Мексике характеристика почв обычно представляется по административным единицам (штатам, районам и муниципалитетам), что никак не отражает специфику почвенного покрова страны. Районирование территории Мексики осуществлялось только в рамках районирования почвенного покрова мира отечественными исследователями (Глазовская, 1973; Розанов, 1977; Розов, Строганова, 1979).

В соответствии с районированием почв М. А. Глазовской (1973, 1983), территория страны разделена между Североамериканским пустынным почвенным сектором бурых пустынно-степных, красновато-бурых пустынных, горных серо-коричневых и коричневых почв, в котором выделяется Калифорнийско-Мексиканская область пустынных красновато-бурых, серо-коричневых и горных коричневых почв (туда относится значительная часть Мексики, за исключением крайней южной части страны), и Притихоокеанским влажно-тропическим почвенным сектором, в котором выделяется Центральноамериканская почвенная область горных гумусных ферралитных, ферриаллитных и сиаллитных почв и андосолей. Последняя, в свою очередь, делится на две подобласти: западная горная подобласть (Южная и Восточная Сьерра-Мадре и плоскогорье Центральная Меса) и восточная горно-равнинная подобласть (Юкатан).

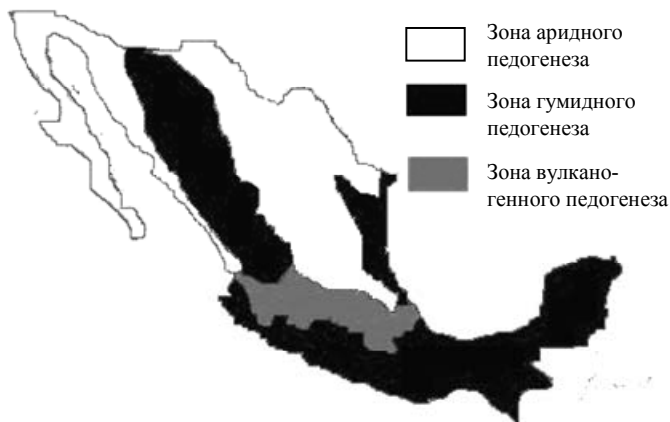
Н. Н. Розов и М. Н. Строганова (1979) разделяют территорию Мексики также на две большие области. На севере выделяется Северо-американская субтропическая засушливая область серо-коричневых и коричневых почв под кустарниковыми степями и ксерофитными лесами, в которой, в свою очередь – Мексиканская горно-плоскогорная подобласть серо-коричневых почв под кустарниковыми степями с травой Грамма и мескитом и горных коричневых почв под сосново-можжевеловыми лесами с летним небольшим максимумом осадков и сухой теплой зимой и весной. Южная часть Мексики относится к Американской тропической влажной области красно-жёлтых почв дождевых лесов и красных почв переменного влажных лесов и высокотравных саванн. В последней области к Мексике относится Центральноамериканская горно-равнинная подобласть с преобладанием красных ферралитных и альферритных почв с сухим периодом до 3 месяцев.

Б. Г. Розанов (1977) разделил территорию Мексики между четырьмя формациями:

1. формация слабощелочных и засоленных полупустынных и пустынных почв, с двумя почвенными регионами, Аризонско-Калифорнийским пустынным и Мексиканским пустынным;
2. формация нейтральных сиаллитных слабо-дифференцированных почв с одним Сьерра Мадрским горным коричневозёмным регионом;

3. формация ферриаллитных почв и слитозёмов с Примексиканским саванным регионом;
4. формация кислых ферраллитных, ферритных и аллитных почв с Центрально-Американским влажнотропическим регионом.

Обращаясь к эмпирическим данным по факторам почвообразования на территории Мексики, прежде всего надо принять во внимание водные режимы почв. Согласно данным, полученным на основании оценки климатических параметров и поверхностного стока, специалисты Института географии выделяют две области аридного водного режима: на северо-востоке и северо-западе страны. Эти аридные области разделены сравнительно влажной горной системы Сьерра Мадре Осиденталь. Небольшой участок сухих почв обнаруживается на северо-западе полуострова Юкатан, а также спорадически по долинам во всех горных системах. Практически вся территория крупнейших горных систем Мексики (Сьерра Мадре Ориентал, Осиденталь и дель Сюр, Трансмексиканский вулканический пояс) имеет устиковый и удиковый (иногда перудиковый) водный режим, то есть почвообразование описывается как соответствующее субгумидным, гумидным и экстрагумидным областям. В определённой степени эти данные развенчивают миф о Мексике как стране преимущественно аридного почвообразования. С точки зрения районирования важно отметить, что области, соответствующие разным типам водного режима почв, мало соответствуют почвенным регионам, упомянутым выше в данном обзоре: во всех схемах область аридного почвообразования была существенно преувеличена, а некоторые области гумидного почвообразования (побережье Мексиканского залива, Сьерра Мадре Осиденталь) были отнесены к семиаридным и семигумидным областям. На самом высоком уровне, очевидно, удобно было бы разделить всю 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 (педогенеза), на самом высоком уровне также выделить Трансмексиканский вулканический пояс как область преимущественного накопления вулканических осадков и формирования специфических вулканических почв (Рис. 1).

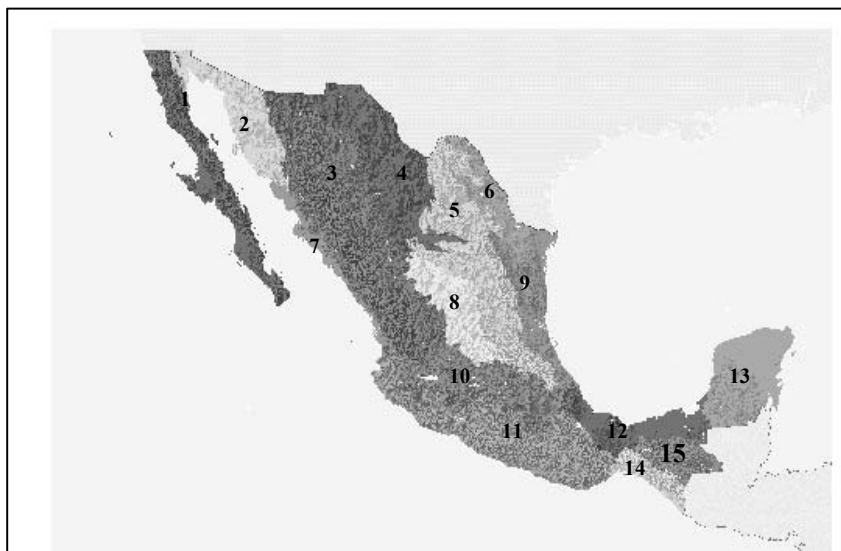


**Рис. 1. Районирование территории Мексики по типам экзогенеза и педогенеза**

Принципиальное разделение мексиканской территории на области аридного, гумидного и вулканического почвообразования подтверждается данными исследований минералогии почвенных глин (García Calderón, 1984; García Calderón et al., 1986, 2000, 2005a, 2005b, 2006; Mielich, 1991; Graham and Franco Vizcaino, 1992; Dubroeuq et al., 1992; Valera Pérez, 1994; Ducloux et al., 1995; Díaz Rodríguez et al., 1998; Kuhn et al., 2003; Sedov et al., 2003a,b; Solleiro Rebolledo et al., 2003; Dudek et al., 2006; Vela Correa and Flores Román, 2006). На основании немногочисленных приведённых источников можно отметить, что аридная область характеризуется смектит-пальгорскитовым составом глин, вулканическая – аллофан-галлуазит-смектитовым, а гумидная – галлуазит-гиббсит-каолинитовым.

Дальнейшее подразделение территории Мексики представляет собой довольно сложную задачу, и не только по причине недостатка эмпирических данных. Прежде всего, имеются трудности принципиального характера, связанные с почвенным районированием горных областей. Каждая из горных систем характеризуется неоднородными биоклиматическими условиями, такими как высотная поясность и эффект предгорной зональности (Ливеровский, Корнблом, 1960), которые зачастую варьируют на довольно коротких расстояниях. Фактически горная система может представлять собой сложную мозаику зачас-

тую крайне контрастных климатов, почвообразующих пород, экосистем, поверхностей с разной динамикой и пр., что отражается на почвенном покрове. Поэтому в традициях отечественной школы выделять особые горные провинции, которые заведомо отличаются большой гетерогенностью условий почвообразования и собственно почв. По этому же пути решили пойти и мы; задача облегчалась тем, что общее физико-географическое районирование Мексики уже существует. По масштабу более всего пригодно для целей почвенно-географического районирования подразделение территории страны на физико-географические провинции, выполненное INEGI (Рис. 2).



**Рис. 2. Физико-географические районы Мексики: 1 – полуостров Баха Калифорния, 2 – Сонорская равнина, 3 – Сьерра Мадре Осиденталь, 4 – горы и долины Севера, 5 – Сьерра Мадре Ориенталь, 6 – Великие равнины Северной Америки, 7 – Тихоокеанская береговая равнина, 8 – Центральная Меса, 9 – Северная береговая равнина Мексиканского залива, 10 – Трансмексиканский вулканический пояс, 11 – Сьерра Мадре дель Сур, 12 – Южная береговая равнина Мексиканского залива, 13 – полуостров Юкатан, 14 – горы Чиапаса и Гватемалы, 15 – Центральноамериканская Кордильера**

Используя как основу схему физико-географического подразделения территории Мексики, мы выделили следующие почвенные 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. Горная 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 Ориенталь 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, Глейсо-

- ли, 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 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.

Очевидно, что подобное районирование имеет свои недостатки. Во-первых, до сих пор недостаёт почвенно-генетического наполнения характеристик каждой из провинций, из-за чего последние определяются по реферативным группам почв, то есть весьма неконкретно. Во-вторых, практически отсутствует почвенно-географическое наполнение: списки почв недостаточны для характеристики провинций, желательно иметь информацию о структурах почвенного покрова. Наконец, требуется уточнение границ почвенных провинций, которые могут и не совпадать с границами физико-географических регионов Мексики.

### **Литература**

Виво Х.А. География Мексики. Сокращенный перевод с испанск. Под ред. И.П. Магидовича. М.: Изд-во иностр. лит-ры, 1951. 200 с.



- Гарфиас В., Чапин Т. Геология Мексики. Пер. с испанск. Под ред. Ф. М. Малиновского. М.: Госгеолтехиздат, 1956. 150 с.
- Глазовская М.А. Почвы мира. Т. II. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1973. 277 с.
- Глазовская М.А. Почвы зарубежных стран. М.: Высшая школа, 1983. 312 с.
- Глазовская М.А., Фридланд В.М. 1980. Почвенная карта мира. М 1:15.000.000.
- Добровольский Г.В., Ковда В.А., Лобова Е.В., Розанов Б.Г. Почвенная карта Мира (М 1:10 млн.). М.: ГУГК, 1975.
- Добровольский Г.В., Урусевская И.С. География почв. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1984. 416 с.
- 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.
- Ливеровский Ю.А., Корнблум Э.А. Зональность почвенного покрова предгорных территорий // Изв. АН СССР, Серия географ., 1960, № 3. С. 34-41.
- Розанов Б.Г. Почвенный покров земного шара. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1977. 248 с.
- Розов Н.Н., Строганова М.Н. Почвенный покров мира. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1979. 290 с.
- Соколов И.А. Теоретические проблемы генетического почвоведения. Новосибирск: Наука, 2004. 296 с.
- Acevedo Sandoval O.A. Degradación y contaminación de los suelos del estado de Hidalgo. ICT, UAEN, 2000. 61 p.
- Acevedo Sandoval O.A., Flores Román D. Genesis of white fragipans of volcanic origin // Rev. Mex. de Ciencias Geológicas. 2000. V. 17. P. 152-162.
- Aceves G.M.R. Introducción al estudio de suelos derivados de cenizas volcánicas y de Ando del Popocatepetl. Tesis Geógrafo, Facultad de Filosofía y Letras, UNAM, 1967.
- Adams Schroeder R.H., Domínguez Rodríguez V.I, García Hernández L. Potencial de la biorremediación de petróleo en el trópico Mexicano // Terra. 1999. V. 17. P. 159-174.
- AFES. 1998. A sound reference base for soils (The "Referentiel pedologique": text in English). INRA, Paris. 322 p.
- Aguilera Herrero N. Suelos de Ando. Génesis, morfología y clasificación. Serie de Investigación No. 6, Colegio de Postgraduados, ENA, Chapingo, México, 1965.
- Aguilera Herrero N. Mapa y distribución de los Grandes Grupos de Suelos. Atlas de la República Mexicana, Porrá, México, 1969.

- Ahmad N., Mermut A. (eds.) Vertisols and technologies for their management. Elsevier, Amsterdam, 1996. 277 p. / *Developments in Soil Science* Vol. 24.
- Alfaro Sánchez G. Estudio edafológico del ejido Xochimilco (Ciénega Grande). Tesis Biólogo, Facultad de Ciencias, UNAM, 1980.
- Allende L.R. Introducción al estudio de suelos derivados de cenizas volcánicas o de ando del Volcán La Malinche. Tesis Biólogo, Facultad de Ciencias, UNAM, 1968. 65 p.
- Álvarez Arteaga G. Estudio de uso potencial del suelo de la localidad de San Miguel de la Victoria y sus alrededores, Municipio de Jilotepec, Estado de México. Tesis de Licenciatura, Biología, ENEP-Iztacala, UNAM, 1993. 110 p.
- Álvarez Arteaga G., García Calderón N.E., Krasilnikov P.V., Sedov S.N., Targulian V.O., Velázquez Rosas N. Soil altitudinal sequence on base-poor parent material in a montane cloud forest in Sierra Juárez, Southern Mexico // *Geoderma*. 2008. V. 144. P. 593–612.
- Álvarez R.M. Estudios edafológicos en suelos derivados de cenizas volcánicas y de Ando, Transecto Tetla-Cuitlahuac en el Area Cafetalera de Córdoba, Veracruz. Tesis Biólogo, Facultad de Ciencias, UNAM, 1983. 94 p.
- Amundson R., Graham R.C., Franco Vizcaino E. Orientation of carbonate laminations in gravelly soils along a winter/summer precipitation gradient in Baja California, Mexico // *Soil Sci*. 1997. V. 162. P. 940-952.
- Arias P. La región devastada por el volcán Parícutín. Escuela Nacional de Agricultura, Chapingo, México, 1944.
- Ascanio García M.O., Hernández Jiménez A. Los suelos de los agrosistemas cañeros de Veracruz y Oaxaca: cambios globales y medio ambiente. Editorial Veracruzana, 2005. 235 p.
- Barois I., Dubroeuq D., Rojas P., Lavelle P. Andosol-forming process linked with soil fauna under the perennial grass *Mulhembergia macroura* // *Geoderma*. 1998. V. 86. P. 241-260.
- Bautista Zuñiga F. Algunos estudios edafológicos en San Gregorio Atlapulco, Xochimilco, D.F. Tesis Biólogo, Facultad de Ciencias, UNAM, 1988. 80 p.
- Bautista Zuñiga F., Palacio Álvaro G. (Eds.) Caracterización y manejo de los suelos de la Península de Yucatán: Implicaciones agropecuarias, forestales y ambientales. UAC-UYA-INE, 2005. 282 p.
- Bautista Zuñiga F., Rivas Solóran H., Durán de Bazúa C., Palacio G. Caracterización y clasificación de suelos con fines productivos en Córdoba, Veracruz, México // *Investig. Geográf. Boletín*. 1998. V. 36. P. 21-33.
- Bocco G., Velázquez A., Siebe C. Using geomorphologic mapping to strengthen natural resource management in developing countries. The case of rural indigenous communities in Michoacan, Mexico // *Catena*. 2005. V. 60. P. 239-253.

- Bracho R., Sosa V.J. Edafología // Bosques mesófilos de montaña de Tamaulipas (Eds. H. Puig and R. Bracho). Instituto de Ecología, México, D.F., 1987. Publ. 21. P. 29-37.
- Bravo Garza M.R., Bryan R.B. Soil properties along cultivation and fallow time sequences on Vertisols in Northeastern Mexico // Soil Sci. Soc. Amer. J. 2005. V. 69. P. 473-481.
- Centeno García E. Configuración geológica del estado // Biodiversidad de Oaxaca (Eds. A. J. García Mendoza, M. de Jesús Ordóñez and M. Briones Salas). UNAM – FOCN – WWF, México, D.F., 2004. P. 29-42.
- Cervantes L.G. Génesis y clasificación de algunos suelos de la Meseta Tarasca, Estado de Michoacán. Tesis de Maestría, Colegio de Postgraduados, Chapingo, México, 1965.
- Chávez Huerta Y. Principales interacciones entre los suelos forestales y las coníferas del Cerro de la Cruz, Mich. Tesis Biólogo, Facultad de Ciencias, UNAM, 1984. 100 p.
- Chávez Huerta Y. Caracterización de Suelos e índice de Sitio Edáfico para cuatro especies de *Pinus* en Atenquique, Jalisco. Tesis Maestra en Ciencias (Edafología), Facultad de Ciencias, UNAM, 1990. 61 p.
- Cruz Gaistardo C.O., García Calderón N.E., Krasilnikov P. Avances en la cartografía de México 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, Perú, 2006. P. 193-196.
- Dahlgren R.A., Ugolini F.C. Formation and stability of imogolite in a tephritic Spodosol, Cascade Range, Washington, U.S.A. // Geochimica et Cosmochimica Acta. 1989. V. 53. P. 1897-1904.
- Del Valle C.H. Los procesos de acumulación de las sales e intemperismo en cubetas lacustres, en la transición del ex lago de Texcoco. Tesis de Maestría en Ciencias. Centro de Edafología, Colegio de Postgraduados, Montecillo, México, 1983. 142 p.
- Díaz Rodríguez J.A., Lorano Santa Cruz R., Dávila Alcocer V.M., Vallejo E., Girón P. Physical, chemical, and mineralogical properties of Mexico City sediments: a geotechnical perspective // Can. Geotech. J. 1998. V. 35. P. 600-610.
- Domínguez R.V.I. Estudios ecológicos del volcán Popocatepetl, Estado de México. Tesis Biólogo, Facultad de Ciencias, UNAM, 1975. 124 p.
- Diessen P., Deckers J., Spaargaren O., Nachtergaele F. Lecture notes on the major soils of the world FAO, Rome. 2001.
- Drijber R.A., Lowe L.E. Nature of humus in Andosols under differing vegetation in the Sierra Nevada, Mexico // Geoderma. 1990. V. 47. P. 221-231.

- Drijber R.A., Lowe L.E. Bound phenolic acids in humus fractions of andosols under varying vegetation in the sierra Nevada, Mexico // *Geoderma*. 1991. V. 48. P. 431-442.
- Dubroeuq D., Campos A., Geissert D. Comportamiento de los andosoles negros con respecto al agua en el volcán Cofre de Perote // *Terra*. 1992a. V. 10. P. 51-58.
- Dubroeuq D., Geissert D., Moreno P., Millot G. Soil evolution and plant communities in coastal dunes near Veracruz, Mexico // *Cah. Orstrom, sér. Pédol.* 1992b. V. XXVII, N<sup>o</sup> 2. P. 237-250.
- Dubroeuq D., Geissert D., Barois I., Ledru M.-P. Biological and mineralogical features of Andisols in the Mexican volcanic highlands // *Catena*. 2002. V. 49. P. 183-202.
- Ducloux J., Delhoume J.P., Petit S., Decarreau A. Clay differentiation in Aridisols of northern Mexico // *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 1995. V. 59. P. 269-276.
- Dudek T., Cuadros J., Fiore S. Interstratified kaolinite-smectite: Nature of the layers and mechanism of smectite kaolinization // *Amer. Mineralogist*. 2006. V. 91. P. 159-170.
- FAO-ISRIC-ISSS. World Reference Base for Soil Resources. Rome, 1998. Soil Resources Report 84.
- FAO-UNESCO. Soil Map of the World 1:5,000,000. UNESCO, Paris, 1974.
- Fernández Q.M.C. Manejo y recuperación de suelos salino-sódicos en Chinampas de Xochimilco, D.F. Tesis Biólogo, Facultad de Ciencias, UNAM, 1988. 98 p.
- Fuentes Romero E., Marín Castro B., Krasilnikov P., García Calderón N.E. La distribución de los suelos en el transecto del Eje Neovolcánico hasta los Valles de Veracruz, México // *Memorias del III Seminario Latinoamericano de Geografía Física*, Abril 28-Mayo 1, 2004, Puerto Vallarta, Jalisco, México. CD-ROM, 2004. 12 p.
- Gama Castro J.E., Palacios Mayorga S., Solleiro Rebolledo E., Sedov S. Rendzinas: a group of soils that requires a new review // *Soil Classification 2004: Abstr. Int. Conf.*, August, 3-8, 2004, Petrozavodsk, Karelia, Russia. Petrozavodsk, 2004. P. 19.
- Gama Castro J.E., Solleiro Rebolledo E., Vallejo Gómez E. Weathered pumice influence on selected alluvial soil properties in West Nayarit, Mexico // *Soil Tillage. Res.* 2000. V. 55. P. 143-165.
- García E. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. UNAM, México, 1973.
- García Calderón N.E. Estudio bioquímico, mineralógico y fisicoquímico de diversos Andosoles de México. Tesis Doctor en Ciencias Biológicas, Univ. Complutense de Madrid y C.S.I.C., España-Facultad de Ciencias, UNAM, 1984. 326 p.

- García Calderón N.E., Aleixandre T., Pinilla A., Aguilera Herrera N. Mineralogía de Andosoles de la zona cafetalera de Veracruz (México) // *Anales Edaf. Agrob.*, 1986. V. 45. P. 103-118.
- García Calderón N.E., Ibañez A., Fuentes E., Platero B., Galicia M.S., Ramos R., Mercado I., Reyes L., Hernández A., Trémols J. Características de los suelos de un sector de Pluma Hidalgo, Sierra Sur de Oaxaca, México // *La edafología y sus perspectivas al Siglo XXI*. T. I. R. Quintero et al. (eds.) CPCA–UNAM– UACH, México, 2000. P. 61-67.
- García Calderón N., Krasilnikov P., Dixon J.B., Pinilla A. La importancia de la cristalografía en la sostantabilidad edáfica de la Sierra Sur de Oaxaca // *Cristalografía. Fundamentos, Técnicas y Aplicaciones*. Ed. L. Bucio. Sociedad Mexicana de Cristalografía, A.C. P., 2005a. P. 283-292.
- García Calderón N.E., Krasilnikov P.V., Ibañez Huerta A., Alvarez Arteaga G., Fuentes Romero E., Marín Castro B.E. WRB classification of some polygenetic soils of Sierra Sur de Oaxaca, Mexico // *Euras. Soil Sci.* 2005b. V. 38. Suppl.1. P. S27-S34.
- García Calderón N.E., Ibañez Huerta A., Alvarez Arteaga G., Krasilnikov P.V., Hernández Jiménez A. Soil diversity and properties in mountainous subtropical areas, in Sierra Sur de Oaxaca, Mexico // *Canadian J. Soil Sci.* 2006. V. 86. P. 64-72.
- Geissen V., Casasola Hernández I., Sepúlveda Lozada A. Effect of open ditch draining on sediment and soil properties in cultivated areas in southeast Mexico // *Geoderma*. 2006. V. 136. P. 401-410.
- Geissen V., Kampichler C., López de Llergo Juárez J.J., Galindo-Acántara A. Superficial and subterranean soil erosion in Tabasco, tropical Mexico: Development of a decision tree modeling approach // *Geoderma*, 2007. V. 139. P. 277-287.
- Giani L., Bashan Y., Holguin G., Strangmann A. Characteristics and methanogenesis of the Balandra lagoon mangrove soils, Baja California Sur, Mexico // *Geoderma*. 1996. V. 72. P. 149-160.
- Gómez-Tagle Rojas A.F. Levantamiento de suelos del campo experimental forestal "Barranca del Cupatitzio" y sus relaciones con la vegetación de coníferas. Tesis Maestro en Ciencias (Biología), Facultad de Ciencias, UNAM, 1985. 135 p.
- Graham R.C., Franco Vizcaino E. Soils on igneous and metavolcanic rocks in the Sonorian Desert of Baja California, Mexico // *Geoderma*. 1992. V. 54. P. 1-21.
- Gutiérrez Castorena Ma. del C., Ortiz Solorio C.A. Origen y evolución de los suelos del ex-lago Texcoco, México // *Agrociencia*. 1999. V. 33. P. 199-208.
- Gutiérrez Castorena Ma. del C., Stoops G., Ortiz Solorio C.A., López Avila G. Amorphous silica materials in soils and sediments of the Ex-Lago de Texcoco, Mexico: An explanation for its subsidence // *Catena*. 2005. V. 60. P. 205-226.

- Gutiérrez Castorena Ma. del C., Stoops G., Ortiz Solorio C.A., Sánchez Guzmán P. Micromorphology of opaline features in soils on the sediments of the ex-Lago de Texcoco, México // *Geoderma*. 2006. V. 132. P. 89-104.
- Hernández Jiménez A. Informe sobre los suelos y sus factores limitantes para la caña de azúcar en el Central Motzorongo, Veracruz, México. SUCROMER, Veracruz, 1991. 125 p.
- Hernández Jiménez A., Ascanio García M.O. La historia de la clasificación de los suelos en Cuba. Editorial Felix Varela, La Habana, 2006. 98+ p.
- Hudson P.F. Event sequence and sediment exhaustion in the lower Panuco Basin, Mexico // *Catena*. 2003. V. 52. P. 57-76.
- Ikkonen E., Ángeles Cervantes E., García Calderón N.E. Producción de CO<sub>2</sub> en Andosoles afectados por incendios forestales en el parque nacional el Chico, Hidalgo // *Terra Latinoamericana*. 2004. V. 22(4). P. 425-432.
- IUSS Working Group WRB. 2006. World reference base for soil resources 2006. 2nd edition. World Soil Resources Reports No. 103. FAO, Rome.
- Kuhn N.J., Bryan R.B., Navar J. Seal formation and interrill erosion on a smectite-rich Kastanozem from NE-Mexico // *Catena*, 2003. V. 52. P. 149-169.
- Lorán N.R.M. Algunos estudios de suelos derivados de cenizas volcánicas del transecto Jalapa-Teocelo, Veracruz. Tesis Biólogo, Facultad de Ciencias, UNAM, 1976. 58 p.
- Martínez Gamiño M.A., Walthall P.M. Propiedades físicas, químicas y mineralógicas en el encostramiento de suelos de México y Louisiana, EU // *Terra*. 2000. V. 18(3). P. 179-185.
- May Acosta C., Bautista Zuñiga F. Colección de monolitos de suelos de la Península de Yucatán // Bautista Zuñiga F., Palacio Álvaro G. (Eds.) Caracterización y manejo de los suelos de la Península de Yucatán: Implicaciones agropecuarias, forestales y ambientales. UAC-UAY-INE, 2005. P. 87-104.
- Medina M.E. Estudios edáficos de la Villa de Milpa Alta, Distrito Federal, Tesis Biólogo, Facultad de Ciencias, UNAM, 1993. 114 p.
- Méndez Linares A.P., López Portillo J., Hernández Santana J.R., Ortiz Pérez M.A., Oropeza Orozco O. The mangrove communities in the Arroyo Seco deltaic fan, Jalisco, Mexico, and their relation with the geomorphic and physical-geographic zonation // *Catena*, 2007. V. 70. P. 127-142.
- Mendoza Vega J., Karlton E., Olsson M. Estimation of amounts of soil organic carbon and fine root carbon in land use and land cover classes, and soil types of Chiapas highlands, Mexico // *Forest Ecology and Management*, 2003. V. 177. P. 191-206.
- Mendoza Vega J., Messing I. The influence of land use and fallow period on the properties of two calcareous soils in the humid tropics of southern Mexico // *Catena*. 2005. V. 60. P. 279-292.

- Mielich G. Chronosequences of volcanic ash soils / Hambg. Bodenkdl. Arb. 1991. V. 15. 207 p.
- Morán G.G. Algunos estudios edafológicos de los Municipios de Villa Juárez y Zihuateutla, Estado de Puebla. Tesis Biólogo, Facultad de Ciencias, UNAM, 1987. 80 p.
- Moreno Cáliz E., Guerrero P.A., Gutiérrez C.M. Del C., Ortiz S.C.A., Palma López D.J. Los manglares de Tabasco, una reserva natural de carbono // Madera y Bosques. 2002. V.12. P. 115-128.
- Navarro C.J. Algunos estudios de suelos derivados de cenizas volcánicas del Nevado de Toluca (regiones este y sur). Tesis Biólogo, Facultad de Ciencias, UNAM, 1976. 68 p.
- Palma López D.J., Cisneros O.J., Trujillo N.A., Granados A.N., Serrano B.J. Caracterización de los suelos de Tabasco (uso actual, potencial y taxonomía). DESIC-SECUR, Gobierno del estado de Tabasco. Villahermosa, Tab. México, 1985. 40 p.
- Palma López D.J., Cisneros D.J. Plan del uso sustentable de los suelos de Tabasco. Fundación Produce Tabasco, A. C. y Colegio de Postgraduados. Villahermosa, Tab. México, 1997. 169+ p.
- Peña V.M.L. Algunos estudios de suelos derivados de cenizas volcánicas y andosoles, cultivados con café en el transecto Jalapa-Córdoba, Veracruz. Tesis Biólogo, Facultad de Ciencias, UNAM, 1978. 106 p.
- Peña V.M.L. Alofano y minerales amorfos y sus relaciones con los andosoles y suelos de origen volcánico en el Estado de Veracruz. Tesis Maestra en Ciencias (Biología), Facultad de Ciencias, UNAM, 1980. 133 p.
- Pérez Zamora O. Distribution and accumulation types of calcium carbonate in soils of the coastal plains of Tecoman, Colima // Agrociencia. 1999. V. 33. P. 11-20.
- Prado B., Duwig C., Hidalgo C., Gómez D., Yee H., Prat C., Esteves M., Etchevers J.D. Characterization, functioning and classification of two volcanic soil profiles under different land uses in Central Mexico // Geoderma. 2007. V. 139. P. 300-313.
- Reyes Solís I.E., García Calderón N.E., Krasilnikov P. Changes in soil properties in the course of wastewater irrigation in Mezquital valley, Hidalgo, Mexico // Program and Abstracts Intern. Conf. "Global Soil Change", March 10-18, Mexico City, 2005. P. 61.
- Ruiz Fernández A.C., Páez Osuna F., Urrutia Fucugauchi J., Preda M. <sup>210</sup>Pb geochronology of sediment accumulation rates in Mexico City Metropolitan Zone as recorded at Espejo de los Lirios lake sediments // Catena, 2005. V. 61. P. 31-48.
- Rzedowsky J. Vegetación de México. 2ª ed. Limusa, México, 1983. 432 p.

- Sedov S.N., Solleiro Rebolledo E., Gama Castro J.E. Andosol to Luvisol evolution in Central Mexico: timing, mechanisms and environmental setting // *Catena*. 2003a. V. 54(3). P. 495-513.
- Sedov S., Solleiro Rebolledo E., Morales Puente P., Arias Herreia A., Vallejo Gómez E., Jasso Castañeda C. Mineral and organic components of the buried paleosols of the Nevado de Toluca, Central Mexico as indicators of paleoenvironments and soil evolution // *Quaternary International*, 2003b. V. 106-107. P. 169-184.
- Segura Castruita M.A., Gutiérrez Castorena Ma. del C., Ortiz Solorio C.A., Sánchez Guzmán P. Régimen de humedad y clasificación de suelos pomáceos del valle Puebla-Tlaxcala // *Terra Latinoamericana*, 2005. V. 23. P. 13-20.
- SEMARNAT. 2000. Estadísticas del medio ambiente 2000, México.
- Servenay A., Prat C. Erosion extension of indurated volcanic soils of Mexico by aerial photographs and remote sensing analysis // *Geoderma*, 2003. V. 117. P. 367-375.
- Solleiro Rebolledo E., Sedov S., Gama Castro J., Flores Román D., Escamilla-Sarabia G. Paleosol-sedimentary sequences of the Glacis de Buenavista, Central Mexico: interaction of Late Quaternary pedogenesis and volcanic sedimentation // *Quaternary International*. 2003. V. 106-107. P. 185-201.
- Solleiro Rebolledo E., Sedov S., McClung de Tapia E., Cabadas H., Gama Castro J., Vallejo-Gómez E. Spatial variability of environment change in the Teotihuacan Valley during the Late Quaternary: Paleopedological inferences // *Quaternary International*. 2006. V. 156-157. P. 13-31.
- Sommer I., Cram S. Suelos. // *La Guía Ambiental* (Eds. Unión de grupos ambientalistas). 1998. P. 223-231.
- Sommer Cervantes I., Flores Delgadillo L., Gutiérrez Ruiz M. Caracterización de los suelos de la Estación de Biología Tropical Los Tuxtlas // *Ecología del Suelo en la Selva Tropical Húmeda de México* (Eds. J., Álvarez Sánchez, E. Naranjo). Fac. de Ciencias e Instituto de Biología, UNAM. Instituto de Ecología, A.C. México, D.F., 2003. P. 17- 67.
- Takahashi T., Nanzyo M., Shoji S. Proposed revisions to the diagnostic criteria for andic and vitric horizons and qualifiers of Andosols in the World Reference Base for Soil Resources // *Soil Sci. Plant Nutr.* 2004. V. 50. P. 431-437.
- Tenorio M.G. Evaluación de los recursos naturales suelo y agua del municipio de Xochitlán de Vicente Suárez, Puebla. Tesis de Maestría, Posgrado en Ciencias Ambientales, Instituto de Ciencias, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Puebla, Pue. México. 2003. 132 p.
- Toledo V. La diversidad biológica de México. Nuevos retos para la investigación en los noventas // *Ciencias*. 1994. Nº 34. P. 15-22.



- Valdez M.G. Recuperación de un suelo salino-sódico en una chinampa de la Laguna del Toro, Xochimilco, D.F. Tesis Biólogo, Facultad de Ciencias, UNAM, 1995. 104 p.
- Valera Pérez M.A. Fisicoquímica y mineralogía de Andosoles de la región de Teziutlán, Estado de Puebla. Tesis Maestro en Ciencias (Edafología), Facultad de Ciencias, UNAM, 1994. 295 p.
- Vela Correa G., Flores Román D. Composición mineralógica de la fracción arcillosa de los suelos de la Sierra de Guadalupe, Distrito Federal // Boletín de Mineralogía. 2006. V. 17. P. 111–118.
- Warren C.J., Rudolph D.L. Clay minerals in the basin of Mexico lacustrine sediments and their influence on ion mobility in groundwater // J. Conatmin. Hydr. 1997. V. 27. P. 177-198.
- Wilding L.P., Puentes R. (eds.) Vertisols: their distribution, properties, classification and management. Technical Monograph no 18, Texas A&M University Printing Center, College Station TX USA, 1988. 302 p.

Научное издание

ЭКОЛОГИЯ  
И  
ГЕОГРАФИЯ ПОЧВ

*Печатается по решению Ученого совета  
Института биологии КарНЦ РАН*

Издано в авторской редакции

Сдано в печать 11.01.10 г. Формат 60x84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Гарнитура «Times».  
Печать офсетная. Уч.-изд. л. 10,00. Усл. печ. л. 12,8.  
Тираж 300 экз. Изд. № 80. Заказ № 848

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