
ЕКОЛОГІЧНА МІКРОМОРФОЛОГІЯ ҐРУНТІВ

УДК 631.42

Н. А. Белова, А. К. Балалаев

ДИНАМИЧЕСКАЯ МИКРОМОРФОЛОГИЯ КАК НОВОЕ НАПРАВЛЕНИЕ В ПОЧВЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

Н. А. Білова, О. К. Балалаєв

Дніпропетровський національний університет

ДИНАМІЧНА МІКРОМОРФОЛОГІЯ ЯК НОВИЙ НАПРЯМ У ҐРУНТОВИХ ДОСЛІДЖЕННЯХ

Розглянуті передумови для виділення динамічної мікроморфології в окремий напрям дослідження ґрунтів. Викладені теоретичні ідеї, цілі та завдання, можливі методи досліджень, а також деякі отримані результати. Розкрито необхідність та перспективи вивчення ґрунтової мікроструктури в динаміці.

Ключові слова: динамічна мікроморфологія, ґрунтова мікроструктура, стійкість компонентів ґрунту, швидкість структуроутворення, прогноз розвитку едафотопу.

N. A. Belova, A. K. Balalajev

Dnipropetrovsk National University

DYNAMIC MICROMORPHOLOGY AS A NEW SCIENTIFIC AREA IN THE SOIL SCIENCE

Backgrounds of the separation of dynamic micromorphology in a separate area of the soil science were considered. Theoretical ideas, current aims and tasks, possible methods of researches, and some results also were expounded. A necessity and prospects of soil microstructure investigation were exposed.

Keywords: dynamic micromorphology, soil microstructure, soil components stability, structure formation rate, edaphotope development prognosis.

Экологи, геоботаники, почвоведы всегда уделяют динамике особое внимание как пространственно-временной категории существования лесов (Сукачев, 1964; Бигон, 1989). В сложном биогеоценотическом процессе все формы динамики проявляются не в отдельности, не в изолированном состоянии, а сопряженно, в тесном взаимодействии и взаимообусловленности, интерферируя, создавая неожиданные результаты, которые трудно прогнозировать даже с помощью самых современных средств моделирования. Вместе с тем, исследуя биогеоценоз (БГЦ) на основе комплексного подхода, когда каждый компонент леса рассматривается с позиций его структурно-функциональной организации, возникают возможности выработать подходы и методы, с помощью которых достигается объективное представление о состоянии, характере, материально-энергетическом обмене, прогнозировании и управлении путями развития лесного сообщества.

В. Н. Сукачев (1964, 1972) подчеркивал, что на фоне изменений общих условий существования биогеоценоза, притока солнечной радиации и биологических особенностей организмов биогеоценотический процесс может определяться взаимодействием

© Белова Н. А., Балалаев А. А., 2007

компонентов биогеоценоза между собой; заносом ветром, водой и другими организмами зачатков растений и животных и вообще вселением из окружения новых организмов, которые, изменяя состав биогеоценоза, изменяют и биогеоценотический процесс; внесением с пылью или протекающими водами минеральных, а частью и органических веществ; выносом из данного биогеоценоза минеральных, частично даже и органических веществ водой и другими агентами.

Среди форм динамики, оказывающих влияние на состояние эдафотопов, большую роль играют необратимые процессы (сукцессии), которые протекают в биогеоценологических системах. Автогенные сукцессии (необратимые) включают сингенетические сукцессии биогеоценозов, эндогенные (эндодинамические), филоценогенетические, которые в свою очередь разделяются на фитофилоценогенетические и зоофилоценогенетические.

Почва, являясь продуктом биогеоценологического процесса, аккумулирующим компонентом солнечной энергии, в свою очередь оказывает большое влияние на работу всех других компонентов и структурных элементов, вследствие чего биогеоценоз непрерывно совершенствуется, превращается из примитивного амфиценологического образования в моноценоз с характерным для своего типа растительности биологическим круговоротом веществ и потоком энергии.

Первичный почвообразовательный процесс (сингенез) рассматривается нами в широком понимании, когда идет речь о непрерывно-нормальном типе почвообразования (Зонн, 1964) от зарождения почвы до её климаксового состояния (истинный сингенез). В более узком понимании (условный сингенез), когда в результате сложного налагаемого процесса под влиянием средообразующего воздействия лесных насаждений происходит зарождение в недрах уже сформированной старой почвы относительно новый сингенетический процесс почвообразования, не характерный ранее для коренного биогеоценоза. Такие явления встречаются при создании лесных насаждений на отвалах, с одной стороны (истинное первичное почвообразование) и, при создании защитных лесных насаждений на уже сформированных чернозёмных почвах плакорной степи с другой стороны (условное первичное почвообразование). При этом не следует забывать, что различные формы динамики почв и биогеоценоза в целом функционируют сопряженно, во взаимодействии и взаимообусловленности, и что процессы сингенетического развития той или иной почвы одновременно охвачены процессами эндодинамическими и фито-зоо-филоценогенетическими. Разделение этих форм динамики, по существу, методологически неверно, и они рассматриваются исследователями изолированно только для удобства в экспериментальной работе. Даже в «чистом» виде первичный почвообразовательный процесс связан с прошлыми биосферными процессами нашей планеты.

Сингенез в почвообразовании не является процессом автономным и не зависящим от других форм динамики. Он проходит на фоне не только циклических изменений, связанных с почасовой, суточной динамикой, с особенностями времён года, с погодичной динамикой, но также и с эндодинамической стратегией биогеоценоза. Эти явления уходят своими корнями в глобальные филоценогенетические изменения, связанные со сменой одного типа растительности другим. Не менее важными являются и экзогенные формы динамики, куда в первую очередь надо отнести гологенетические процессы, связанные с природными явлениями геоморфогенными, климатогенными и др., а также с локально-катастрофическими, где особое место занимает деятельность человека.

Динамическая микроморфология, как часть экологии, является прямым следствием динамики БГЦ и логическим развитием экологической микроморфологии почв (Белова, 1997). Именно в рамках экологического подхода возникают вопросы об устойчивости, направлении и скорости развития микроструктуры; о взаимодействии и взаимовлиянии неживого минерального и органического вещества с живой природой на микроуровне; о возможных трансформациях биокосной матрицы; о микроэкологической нише, ее значении в развитии эдафотопа и биогеоценоза в целом. Почвенную микроструктуру нельзя рассматривать как некоторое «мертвое» застывшее образование, и при ее описании всегда необходимо указывать на то, что наблюдаемая структура лишь одна ступень в серии последовательных направленных реорганизаций.

ОСНОВНЫЕ ИДЕИ

Как новое научное направление динамическая микроморфология почв должна иметь свои специфические цели, задачи, объекты, предметы, методы исследования и пути развития

Основная цель – исследование динамических закономерностей изменения микроструктуры почв под воздействием факторов различной природы.

Из указанной цели вытекают важнейшие задачи:

- разработка методов измерения и анализа динамических характеристик трансформации структуры почвы;
- оценка текущего структурного состояния почвы и определение его места на генетической оси развития биогеоценоза;
- вычисление скорости и прогнозирование сезонной и многолетней динамики микроструктурной перестройки почв под воздействием различных факторов;
- определение устойчивости во времени основных компонентов почвенной микроструктуры;
- создание визуализированных компьютерных моделей, имитирующих поведение структурных компонентов.

Динамическая микроморфология изучает не только перемещение главных компонентов твердой фазы почвы (плазмы, минералов, солей, растительных и животных остатков), но также динамику жидкой, газообразной и живой фаз почвы (миграцию растворов и почвенного воздуха, активность почвенной флоры, фауны и микроорганизмов), так как состояние почвенного скелета наблюдаемого нами сейчас в шлифе во многом определяется силой воздействия и интенсивностью взаимодействия с другими почвенными фазами в предыдущие моменты времени.

Все факторы и соответствующие им процессы, приводящие к микроструктурным перестройкам можно разделить на два больших класса: биотические и абиотические. В принципе к биотическим факторам можно отнести действие всех компонентов биоценоза, все абиотические факторы имеют климатическое и геологическое происхождение. На блок-схеме (рис. 1) приведены лишь некоторые из них, но с нашей точки зрения наиболее значимые. Кроме того, если речь идет о нарушенных хозяйственной деятельностью экосистемах, то на первую роль выходят факторы антропогенного происхождения. По мере увеличения наших познаний о динамике почвенной микроструктуры схема обязательно будет насыщаться новыми блоками.

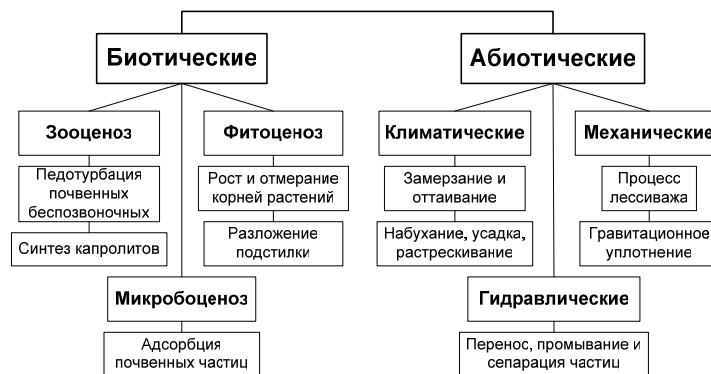


Рис. 1. Некоторые факторы и процессы, определяющие динамику микроструктуры эдафотопы

Процесс генезиса почв в целом и ее микроструктуры, в частности, можно рассматривать с позиций почва-память и почва-момент (Соколов, 1976). Если развивать эти представления с позиции динамики, то, опираясь на принцип непрерывности пространства и времени, можно ввести понятие почва-перспектива или почва-прогноз. Из почвенного шлифа можно «извлечь» информацию о прошлом почвенной микроструктуры и на ее основе сделать перспективный прогноз.

Универсальная формула – факторы порождают процессы, процессы изменяют свойства (Герасимов, 1960; Зонн, 1989), в нашем случае – микроструктуру в шлифе.

Факторы → Процессы → Свойства

С точки зрения динамической микроморфологии необходимо решить обратную задачу

Факторы ← Процессы ← Свойства

т. е. по известным свойствам логическим путем вычислить те процессы и их скорость, которые повлияли на текущее состояние объекта, а также восстановить факторы и уровень их воздействия на динамическую систему.

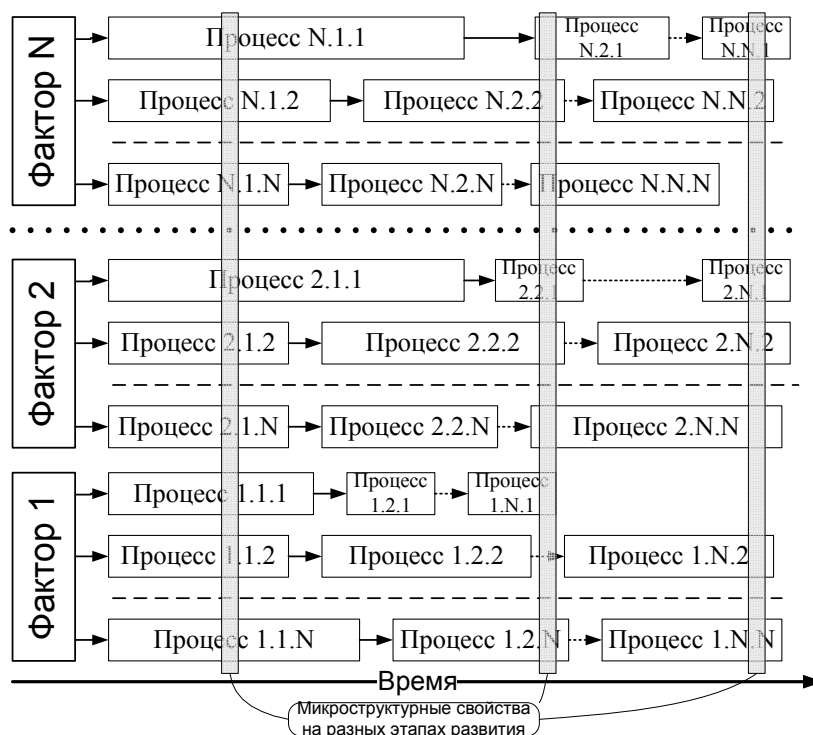


Рис. 2. Временная развертка причинно-следственных связей множества (1 ... N) обобщенных факторов, процессов и микроструктурных свойства эдафотоп

Многочисленными экспериментами доказана прямая зависимость, но если существуют прямые связи, то обязательно присутствуют и обратные. Однако из общенаучных представлений можно предположить, что обратная задача имеет решение лишь частично. Во-первых, не все процессы приводят к структурным трансформациям на микро- и даже на наноуровне. Во-вторых, точность решения поставленной задачи будет существенно зависеть от того, на какую величину по шкале времени мы захотим сместиться в оценке состояния системы. В прошлом и в будущем могут присутствовать короткоживущие (импульсные) факторы (рис. 2), приводящие к процессам, которые стирают микроструктурную информацию о непрерывных факторах глобального характера (график оси – процессы и время). Необходимо также учитывать, что как правило один мощный фактор дает старт сразу нескольким процессам которые в дальнейшем могут порождать другие процессы. Каждый процесс, в свою очередь, приводит к изменению сразу множества свойств. Несмотря на указанные неопреде-

ленности, расшифрованная информация о прошлом и будущем состоянии системы представляется весьма ценной.

Как только возникают вопросы генезиса микроструктуры, неизбежно появляется необходимость в использовании иерархической многоуровневой модели организации почвенного пространства и исследованиях на сопряженных масштабных уровнях, несмотря на то что почва как природное тело по своей сути непрерывна.

Макроуровень \Leftarrow Микроуровень \Rightarrow Наноуровень

Если передвигаться в сторону увеличения размеров, то мы приходим к макроуровню, т. е. уровням почвенного горизонта и почвенного профиля (Розанов, 1975). Перемещение в сторону уменьшения размеров приводит к наноуровню или уровням элементарных частиц и молекулярно-атомарному уровню. Именно потому что микроуровень находится приблизительно посередине масштабной шкалы, он является высоко информативным и удобной отправной точкой в исследовании эдафотопы в целом. При этом факторы, возникающие на макроуровне (макрофакторы), условно можно считать для микроуровня внешними, а факторы, появляющиеся на наноуровне (нанофакторы), – внутренними.

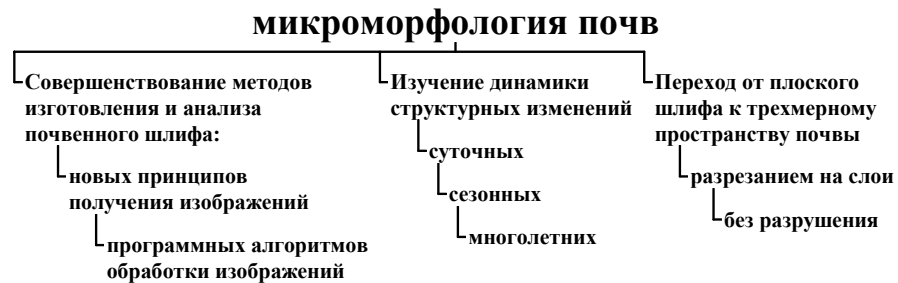


Рис. 3. Основные пути развития методов классической микроморфологии почв

На схеме (рис. 3) представлены некоторые пути развития классической микроморфологии почв для решения динамических задач. Здесь необходимо отметить, что в динамической микроморфологии главными объектами исследования остаются почвенные шлифы и аншлифы. Проблема заключается в том, что эти объекты содержат колоссальное количество информации (в том числе и динамического характера), в сотни и тысячи раз больше, чем расшифровывается традиционными подходами. Применение современных математических моделей и программных алгоритмов наряду с использованием дополнительных изображений шлифа, полученных с помощью разных оптических явлений – поглощение и отражение света, поляризация, люминисценция, комбинационное рассеяние и др.), а также иных физических принципах позволит сформировать многослойную высокоинформативную базу данных. В указанном аспекте на первый план выходит задача поиска статистически достоверных критериев, отражающих динамику микроструктуры в шлифе.

Создание имитационных компьютерных моделей позволит значительно сузить область поисков. Такие модели позволят работать с трехмерными виртуальными элементами, в то время как шлиф представляет собой плоский срез объемного почвенного пространства. Отсюда вытекает необходимость в получении, по меньшей мере, приближенной реальной объемной микроструктуры, что можно сделать с привлечением дополнительных методов, не применявшихся или эпизодически применявшихся, до сих пор в классической микроморфологии почв. К таким методам можно отнести ультразвуковую интроскопию, рентгеновская томография и другие методы неразрушающего контроля.

Особо надо отметить такой полевой метод, впервые описанный Н. Г. Холодным (1956), – метод почвенной камеры. Он нуждается в дальнейшем развитии на основе

современных достижений микроэлектроники и компьютерных технологий. В настоящее время размеры цифровой камеры SVGA стандарта (800 × 600 точек) со светодиодной подсветкой уменьшились до нескольких миллиметров, что позволяет вносить камеру с минимальным нарушением окружающей почвенной структуры и длительно наблюдать непосредственно в почве микроструктурные изменения. Если развивать эту идею, то можно разместить несколько камер в разных генетических горизонтах и обрабатывать синхронно несколько полученных картинок. Кроме того, с соответствующей доработкой описанной системы можно наблюдать изображение не только в видимом, но и инфракрасном диапазоне, что значительно повышает информативность метода, учитывая недостаток освещенности в почвенной толще.

Хорошим индикатором ступени эдафотопы на генетическом пути развития является соотношение первичных и вторичных минералов. Каждый вторичный минерал несет в себе отпечаток своего первичного предка и тех экологических условий, в которых он зародился. В зависимости от того пути, по которому пошла та или иная последовательность химических реакций, образуется тот или иной вторичный минерал. Можно не только качественно отследить соответствующую последовательность экологических событий и количественно оценить силу их воздействия.

По химически устойчивым вторичным минералам можно косвенно судить об устойчивости микроструктуры в целом. Косвенно потому, что химическая устойчивость не всегда отражает текстурно-структурную устойчивость, так как она зависит также от активности почвенной биоты и стабильности неминуемо образующихся органоминеральных комплексов. С позиций динамической микроморфологии именно характер расположения первичных и вторичных минералов относительно друг друга, порового пространства, почвенного скелета и других почвенных компонентов является надежным признаком изменчивости микроструктуры. В изображениях почвенных шлифах необходим поиск основных генерации минеральных ансамблей, выявление закономерных ориентировок слагающих их минералов, т. е. следует найти структуры, отражающие протекание физических процессов, химических реакций, следов жизнедеятельности организмов.

В этой связи возникает ряд вопросов, на которые еще предстоит получить однозначный ответ. Какие компоненты или их совокупности почвенной микроструктуры более постоянны, а какие менее устойчивы в определенных экологических условиях? Какова скорость изменчивости разных компонентов? На каком этапе генезиса почвы ее микроструктура в целом стабилизируется? Наконец, существуют ли такие элементы почвенной микроструктуры или их части, которые с момента начала структурообразовательного процесса не претерпели сильных изменений, чтобы их принять в качестве точки отсчета при изучении других точек микропространства?

К высоко информативным динамическим признакам минерального происхождения следует отнести разного рода новообразования: карбонатные и железомарганцевые конкреции или секреты, фитолиты и биолиты. Эти почвенные отдельности, являясь относительно устойчивыми во времени экологическими агентами, накапливают в своей структуре информацию об окружающей экологической обстановке. Послойное концентрически зональное строение отражает стадийность процесса кристаллизации и напоминает срез ствола дерева. Состав центральной части определяет направление роста новообразования от ядра к периферии или наоборот. Так же как по структуре годовых колец дерева мы во многом воспроизводим экологические условия роста древостоя, так по пластам конкреции можно воссоздать микроэкологическую обстановку их формирования.

В свете изложенного особенно ценны изотопные методы исследования вещества, которые следует отнести к атомарному уровню. К ним можно причислить радиоуглеродный метод, метод меченых атомов и анализ соотношений стабильных изотопов. Эта группа методов обладает высокой чувствительностью и точностью. Радиоуглеродный метод интересен как способ сравнительно точного определения времени жизни живых существ. Его использование в динамической микроморфологии, вероятно, ограничено измерением интегрального времени зарождения почвенных горизонтов, отдельных включений, а также реликтовых и погребенных почв.

Приложение метода меченых атомов видится значительно шире. Применение в полевом эксперименте минимальных доз радиоактивных изотопов для искусственно вносимых в почву растворов или минеральных частиц позволит изучить их пространственное распределение в почвенном профиле, приуроченность к каким-либо элементам микроструктуры. Такой подход позволяет просто определить скорость перемещения радиоактивных изотопов атомов и ионов, которая приближенно равна скорости движения их стабильных аналогов в тех же соединениях, находящихся в почве.

Наиболее универсальным и информационно емким является анализ соотношений стабильных изотопов. Этот метод, в отличие от радиоуглеродного анализа, теоретически применим ко всем элементам таблицы элементов Д. И. Менделеева. Практические аспекты использования метода зависят от конструктивных особенностей применяемого масс-спектрометра, в частности источника ионов. В целом прослеживается следующая закономерность: легкие элементы лучше исследовать в газовой фазе с ионизацией электронным ударом, тяжелые элементы – в твердой фазе с термоионизацией.

Фракционирование изотопов обусловлено главным образом двумя физико-химическими эффектами (Фор, 1989): кинетическим – молекулы, содержащие больше тяжелых изотопов, менее подвижны и наоборот, проявляется в явлениях диффузии, испарения, конденсации и др.; термодинамическим – молекулы, содержащие более тяжелые изотопы, располагают меньшей свободной энергией, для легких изотопов наблюдается обратная зависимость. Оба эффекта проявляются только в незавершенных химических реакциях. Многие почвенные процессы приводят к фракционированию изотопов, соответственно по соотношению стабильных изотопов можно предположительно установить процессы, которые приводят к разделению.

По соотношению изотопов углерода $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ удастся определить педогенное и литогенное происхождение карбонатов (Рысков, 1999), а по соотношению изотопов кислорода $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ можно воспроизвести условия формирования почвенных карбонатов (Рысков, 1995). Стремление более широкого использования изотопных методов в микроморфологических исследованиях приводит к необходимости совершенствования и внедрения методов микропрепарирования структурных компонентов почвенного материала в связи с тем, что современные масс-спектрометры способны работать с микрограммами исходного вещества.

В завершении методического обзора нельзя не упомянуть о, пожалуй, самом мощном методе – эколого-термодинамическом анализе почв. Сильная методологическая сторона этого подхода – в общности для любых систем первого и второго начал термодинамики. Сущность энергетического подхода заключается в определении потока поступающей в почву радиационной энергии, которая трансформируется в свободную энергию, способную производить в почве разнообразную геохимическую работу. Ответная реакция эдафотопы и биогеоценоза в целом состоит в аккумуляции солнечной энергии живым веществом почвы с одной стороны, и осуществлении широкого спектра органо-минеральных преобразований – с другой (Ковда, 1973; Волобуев, 1974; Назаров, 2004).

Метод доказал свою эффективность, однако в нем за основу энергетических расчетов взяты только показатели дисперсности и агрегированности почвенных частиц. С нашей точки зрения, при вычислении энергоэнтропийных характеристик для более полного анализа необходимо не только использовать дисперсности гранулометрического и минерального состава, но также учесть структурно-текстурной составляющей. Видимо, указанная составляющая не была учтена ранее из-за сложности количественной оценки расчетных величин. В этом случае возникает ряд методологических вопросов: что принять за энтропию всей микроструктуры заданного объема или ее составляющих, как вычислить свободную энергию всей микросистемы и т. д.? Однако эти вопросы нуждаются в своем решении, потому что микроструктура почвы является очень чувствительным экологическим агентом к изменению условий окружающей среды. Если удастся найти ответы на поставленные вопросы, то эколого-термодинамический анализ станет наиболее мощным и в то же время очень гибким методом в арсенале динамической микроморфологии почв.

Для того чтобы проследить результат длительных процессов, необязательно ждать тысячи лет. Учитывая известные генетические особенности почвенного организма и его иерархическую структуру, а также основываясь на принципе непрерывности пространства и времени, можно временные закономерности переносить в пространственную плоскость.

Горизонты почвенного профиля – пример пространственного среза по шкале времени и важный объект изучения динамической микроморфологии. Ось времени направлена вертикально вниз по профилю, однако ее шкала существенно нелинейна, так как чем ближе к поверхности земли, тем процессы идут активнее, что связано с большими перепадами температуры, влажности, активности почвенной биоты и другими факторами.

Кроме перечисленных теоретических проблем динамическая микроморфология призвана решить ряд важных практических вопросов.

- Посадили искусственный лес (лесополосу). Через какое время почвенная структура в разных горизонтах достигнет необходимого состояния?
- Какие мелиоративные мероприятия и в каком объеме необходимо осуществить для получения через 5, 20, 50 и т. д. лет структуры почвы заданного качества?
- Как изменится (уплотнится) почвенная микроструктура в зависимости от интенсивности и длительности движения автомобильного или железнодорожного транспорта, рекреационного воздействия человека, выпаса крупного скота и т. д.?

НЕКОТОРЫЕ ПРИМЕРЫ

Рассмотрим некоторые примеры из накопленного опыта, которые по своему характеру можно отнести к многолетней динамике почвенной микроструктуры в техногенных условиях шахтных выработок Западного Донбасса. Приведенные изображения почвенных шлифов и соответствующие им розы ориентации структурных элементов (рис. 4) отображают изменение микроструктуры чернозема обыкновенного за 20 лет. В процессе укладки рекультивационного слоя чернозема тяжелой техникой его естественное микросложение было нарушено, что отражает вертикально ориентированная роза ориентации, в то время как в идеале она представляет собой горизонтально расположенный эллипс. Через 20 лет произошло естественное уплотнение почвенного материала, а роза ориентации начинает «стремиться» к эталонному эллипсу, что означает постепенное восстановление естественной микроструктуры чернозема.

Другой пример микроизображения свежей шахтной породы и ее вид по истечении 25 лет (рис. 5) на тех же участках рекультивации. Отчетливо видна перестройка текстурно-структурного сложения в результате активно идущих процессов выветривания. Расчеты разных энтропий (Балалаев, 2004) показывают, что за 25 лет произошел статистически достоверный рост их значений (*таблица*). С одной стороны, полученный результат отражает геологическую направленность процессов структурной перестройки (разрушения монолитной породы) в отсутствие живых организмов за счет той солнечной энергии, которую накопил уголь посредством растений и часть которой досталось сопутствующей породе. С другой стороны, микроструктурное разнообразие увеличилось, химическая агрессивность среды снизилась, что является хорошей перспективой для поселения почвенной биоты и начала почвообразовательного процесса.

Информационные энтропии изображений почвенных шлифов шахтной породы

Энтропии	25 лет назад	Текущее
Яркостная	6,052±	6,726±
Структурная	4,642±	4,845±
Композиционная	2,999±	4,006±
Ориентационная	8,217±	8,378±

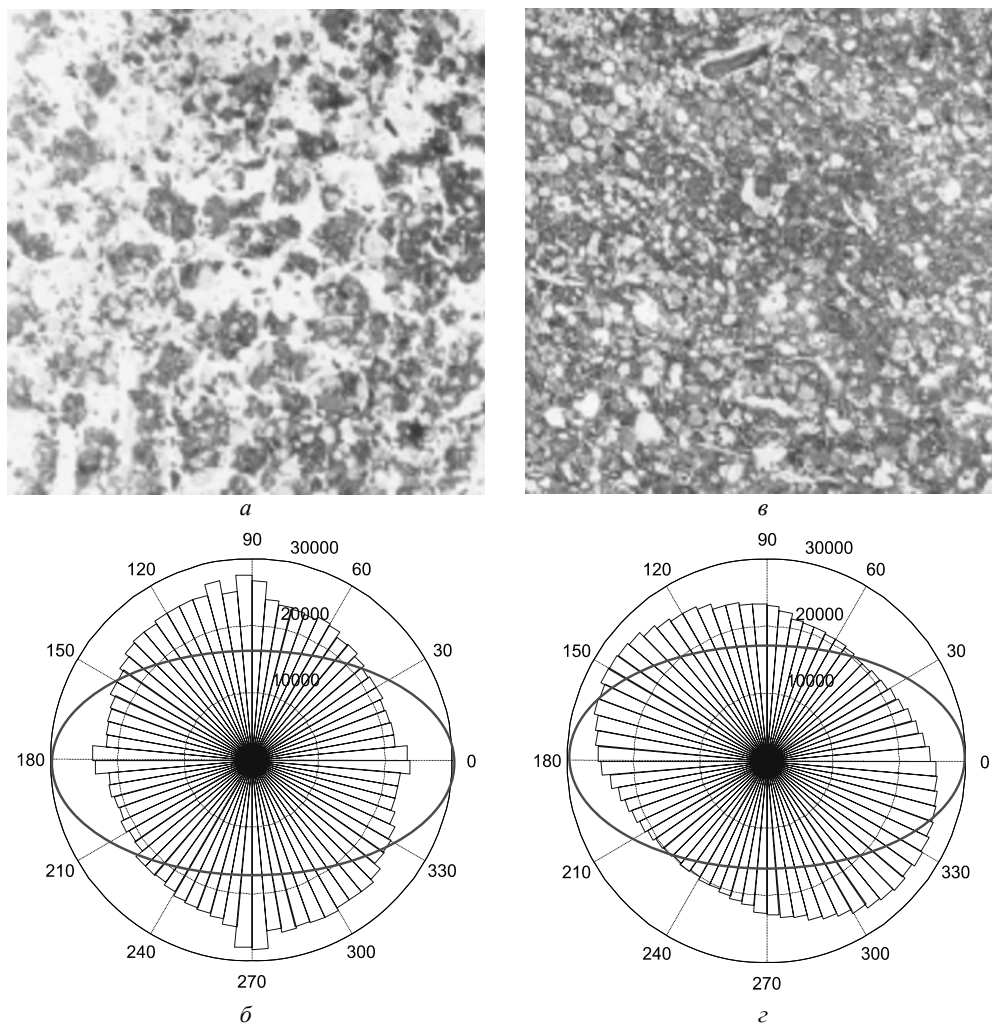


Рис 4. Скан фрагмента шлифа (а) и роза ориентации структурных элементов (б) чернозема обыкновенного участка лесной рекультивации Западного Донбасса (1975 г.), скан фрагмент почвенного шлифа (в) и роза ориентации (г) того же участка спустя 20 лет (1995 г.)

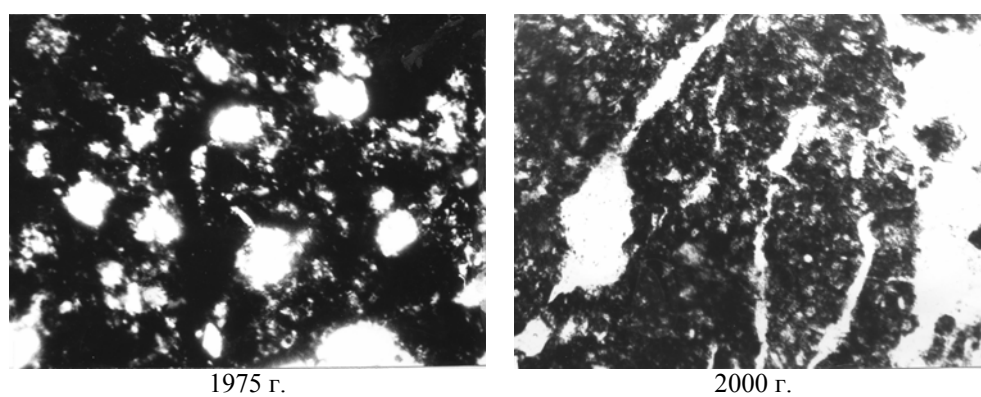


Рис. 5. Многолетняя динамика микроструктуры шахтной породы на участках лесной рекультивации Западного Донбасса (изображения в скрещенных николях)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе рассматриваются в основном предпосылки и перспективы, опирающиеся больше на теорию, чем на эксперимент. На данном этапе важен сам факт понимания и глубокого осмысления имеющихся на сегодняшний день опытных данных и теоретических разработок, тогда изложенные идеи получат дальнейшее развитие и их воплощение в конкретные результаты.

Изучение микроструктурной динамики в большой степени должно опираться на строгие математические расчеты, новые программные алгоритмы и современные компьютерные технологии, которые реализуют весь накопленный опыт микроморфологических исследований почв, начиная с работ Кубиены. Действительно, спектр возникающих задач в такой степени широк и они настолько сложны, что их решение невозможно без примененных методов.

Как и любое зарождающееся научное направление, динамическая микроморфология требует дальнейшего развития: если удастся осуществить хотя бы часть задуманного, то это позволит значительно обогатить наши представления о закономерностях микроструктурной динамики в почвах. Мы считаем, что изложенных аргументов вполне достаточно для того, чтобы признать динамическую микроморфологию новой ветвью почвенной микроморфологии, требующей детального изучения.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- Балалаев А. К.** Варианты вычисления информационной энтропии цифровых почвенных изображений для эколого-микроморфологического анализа // *Экологія та ноосферологія*. – 2004. – Т. 15, № 1-2. – С. 96-112.
- Белова Н. А.** Экология, микроморфология, антропогенез лесных почв степной зоны Украины. – Д.: ДГУ, 1997. – 264 с.
- Бигон М.** Экология / М. Бигон, Дж. Харпер, К. Таунсенд. – М.: Мир, 1971. – 336 с.
- Волобуев В. Р.** Введение в энергетику почвообразования. – М.: Наука, 1974. – 128 с.
- Герасимов И. П.** Основы почвоведения и географии почв / И. П. Герасимов, М. А. Глазковская. – М.: МГУ, 1960. – 482 с.
- Зонн С. В.** Почва как компонент лесного биогеоценоза // *Основы лесной биогеоценологии*. – М.: Наука, 1964. – С. 372-457.
- Зонн С. В.** Географо-генетические аспекты почвообразования, эволюции и охраны почв / С. В. Зонн, А. П. Травлев. – К.: Наук. думка, 1989. – 220 с.
- Ковда В. А.** Основы учения о почвах. Общая теория почвообразовательного процесса. – М.: Наука, 1973. – Кн. 1. – 432 с.
- Назаров А. Г.** Термодинамическая направленность почвообразования и истории развития экосистем. // *Почвы, биогеохимические циклы и биосфера. Развитие идей В. А. Ковды*. – М.: КМК, 2004. – С. 70-102.
- Розанов Б. Г.** Генетическая морфология почв. – М.: МГУ, 1975. – 340 с.
- Рысков Я. Г.** Стабильные изотопы углерода и кислорода как индикаторы условий формирования почвенных карбонатов / Я. Г. Рысков, С. В. Мергель, И. В. Ковда, Е. Г. Моргун // *Почвоведение*. – 1995. – № 4. – С. 405-414.
- Рысков Я. Г.** О соотношении между педогенными и литогенными карбонатами и их профильной динамике в степных почвах за последние 4000 лет / Я. Г. Рысков, А. В. Борисов, Е. А. Рыскова, С. А. Олейник, В. А. Демкин // *Почвоведение*. – 1999. – № 3. – С. 293-300.
- Соколов И. А.** Взаимодействие почвы и среды: почва-память и почва-момент / И. А. Соколов, В. О. Таргульян // *Изучение и освоение природной среды*. – М.: Наука, 1976. – С. 150-164.
- Сукачев В. Н.** Основы лесной биогеоценологии. – М.: Наука, 1964 – 564 с.
- Сукачев В. Н.** Динамика лесных биогеоценозов. Избранные труды. М.: Наука, 1972. – 472 с.
- Фор Г.** Основы изотопной геологии. – М.: Мир, 1989. – 590 с.
- Холодный Н. Г.** Избранные труды: В 3 т. – К.: Изд-во АН УССР, 1956. – Т. 2. – 456 с.

Надійшла до редколегії 01.11.07