

# МІКРОМОРФОЛОГІЯ ҐРУНТІВ

---

---

УДК 631.42

Н. А. Белова, А. К. Балалаев, В. Н. Яковенко

## ОСОБЕННОСТИ ГЕНЕЗИСА ПОРОВОГО ПРОСТРАНСТВА ПОЧВ ЛЕСНЫХ БИОГЕОЦЕНОЗОВ В УСЛОВИЯХ СТЕПНОГО ПРИДНЕПРОВЬЯ

Н. А. Белова, О. К. Балалаев, В. М. Яковенко

*Дніпропетровський національний університет*

## ОСОБЛИВОСТІ ГЕНЕЗИСУ ПОРОВОГО ПРОСТОРУ ҐРУНТІВ ЛІСОВИХ БІОГЕОЦЕНОЗІВ В УМОВАХ СТЕПОВОГО ПРИДНІПРОВ'Я

Надано мікроморфологічний опис лісових ґрунтів степового Придніпров'я. Визначено особливості і спрямованість генезису порового простору ґрунтів. Проведено багатовимірний статистичний аналіз даних мікроморфометрії ґрунтових пір. Виконано кількісну оцінку впливу лісових екосистем на мікроструктуру ґрунтів у степових умовах.

*Ключові слова:* генезис мікроструктури ґрунтів, лісові екосистеми, Степове Придніпров'я, мікроморфометрія порового простору, прозорий шліф, аналіз зображень.

N. A. Belova, O. K. Balalayev, V. M. Yakovenko

*Dniepropetrovsk National University*

## PECULIARITIES GENESIS OF SOIL PORE SPACES OF FOREST ECOSYSTEMS IN CONDITIONS STEPPE PRIDNIPROVJE

The micromorphological description of steppe Pridniprovje forest soils is given. Characteristics and directivities of the genesis of soils oscules areas were determined. The multivariate statistical analysis of the data of soils oscules micromorphometry was taken. Quantitative assessment of the influence of forest ecosystems on a soils microstructure in steppe conditions is given.

*Keywords:* genesis of soil microstructure, forest ecosystems, steppe Pridniprovje, micromorphometry of oscules areas, transparent slice, pattern analysis.

На современном этапе развития почвенной науки не вызывает сомнения положение о том, что одним из признаков хорошего состояния почвы является ее высокая агрегированность, оструктуренность и пористость (Вильямс, 1946; Качинский, 1965; Белова, Травлеев, 1999). Актуальным в настоящее время является поиск и изучение естественных факторов и эффективных искусственных методов, улучшающих экологические, агрономические и другие свойства почвы. Многолетними и разноплановыми микроморфологическими исследованиями лесных эдафотопов Степного Приднєпровья (Белова, 1986, 1997; Яковенко, 2001, 2003) показано положительное влияние леса на восстановление и улучшение почвенной микроструктуры.

Известно, что особенности геометрии порового пространства во многом определяют водно-воздушный режим, химическую и биологическую активность и в целом экологическое состояние почв. Поверхность пор является местом взаимодействия почвенного воздуха, почвенных растворов с твердой фазой почвы, экологической нишей для почвенных микроорганизмов, микрофлоры и микрофауны (Звягинцев, 1973; Розанов, 1975). Многие исследователи отмечают взаимосвязь между геометри-

---

© Белова Н. А., Балалаев А. К., Яковенко В. Н., 2006

ей порового пространства и характером передвижения почвенных растворов (Franzuebbers, 2002; Pachepsky, Rawls, 2003; Лактионова и др., 2004). Важную экологическую функцию выполняют макропоры сложной формы. Они во многом определяют глубину, скорость и объемы перемещения химических веществ жидкой фазы в почвенном профиле (Boima, 1980; Beven, Germann, 1982; Shipitalo et al., 2000).

Почвенная микроморфология – один из немногих методов, который дает возможность непосредственно изучать количество, размер, форму, ориентацию и другие параметры пор в их ненарушенном виде. Применение точного количественного учета микроморфометрических характеристик с использованием современной вычислительной техники и многомерных методов статистической обработки позволяет находить достоверные закономерности развития того или иного эдафотопа. Перспективность данного подхода подтверждает ряд опубликованных работ по исследованию порового пространства эдафотопов с применением компьютерных методов анализа изображений тонких срезов почв: для количественной оценки водно-воздушных свойств (Murphy et al., 1977; Moran et al., 1989), для целей диагностики и классификации (Скворцова, Морозов, 1993). В этой связи интересно применение подобных методологических подходов в изучении генезиса микроструктуры эдафотопов и его порового пространства как следствия взаимодействия компонентов биогеоценоза.

### ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В качестве объектов исследования использовались характерные почвы естественных и искусственных лесных биогеоценозов в пределах Присамарского мониторинга.

Пробная площадь 201 заложена на водоразделе между р. Самарой и ее притоком р. Сороковушкой, на склоне в 2° северо-восточной экспозиции.

Тип лесорастительных условий – суглинок сухой (СГ<sub>0-1</sub>). Увлажнение – атмосферное, грунтовые воды – на глубине 40 м. Почва – чернозем обыкновенный, карбонатный, малогумусный, среднесуглинистый на лессах.

Травяной покров состоит из типчака бороздчатого (*Festuca valesiaca* Gaud.), чабреца Маршалла (*Thymus marschallianus* Willd.), тонконога изящного (*Koeleria gracilis* Pers.), полыни австрийской (*Artemisia austriaca* Jacq.), шалфея лесного (*Salvia nemorosa* L.), льна волосистого (*Linum hirsutum* L.).

Структура комплекса почвенных беспозвоночных характеризуется доминированием фитофагов. Наибольшая плотность почвенных беспозвоночных наблюдается в верхних, наиболее корненасыщенных, гумусовых горизонтах.

Искусственное насаждение из дуба обыкновенного (пробная площадь 224) находится на водораздельном плато западнее с. Всесвятское Новомосковского района.

Тип лесорастительных условий – суглинок суховатый (СГ<sub>1</sub>). Увлажнение – атмосферное, грунтовые воды – на глубине 40 м. Материнская порода – лесс. Почва – чернозем обыкновенный, лесоулучшенный, слабощелоченный, малогумусный, среднесуглинистый на лессах.

Тип световой структуры – теневой. Световое состояние – нормальное.

Наличие окон вследствие выпадения бересклета европейского (*Euonymus europaea* L.) обусловило формирование двух основных парцелл: дубово-кустарниковой мертвопокровной и дубово-разнотравно-злаковой.

Разрез заложен на дубово-кустарниковой мертвопокровной парцелле.

В структуре комплекса почвенных беспозвоночных доминируют фитофаги – хрущи, проволочники, усачи, долгоносики.

Байрак Капитановский находится на водоразделе рек Самары и Орели, в 6 км от р. Самары.

Пробная площадь 204 расположена на средней трети склона северной экспозиции. Условия увлажнения – атмосферные, зеркало грунтовых вод находится на глубине 23 м. Почвообразующие породы – лессы и лессовидные суглинки. Почва – чернозем лесной слабелессивированный, слабощелоченный, многогумусный, среднесуглинистый на лессовидных суглинках.

Тип лесного биогеоценоза – свежая липово-ясеневая дубрава со звездчаткой (Dac). Тип лесорастительных условий – суглинок свежий (СГ<sub>2</sub>).

Структура комплекса почвенной мезофауны байрачных лесов характеризуется значительным преобладанием сапрофагов, прежде всего дождевых червей. Наибольшая плотность наблюдается в слое 0–30 см, максимальная активность – в весенний и осенний периоды.

Пробная площадь 209 расположена на выровненном участке центральной части поймы р. Самары.

Увлажнение – атмосферно-грунтовое, грунтовые воды – на глубине 3–4 м. Почва – пойменная, лугово-лесная, многогумусная, легкосуглинистая на аллювиальных отложениях.

Тип лесного биогеоценоза – свежая липово-ясеневая дубрава (D'ac).

Структура комплекса почвенной мезофауны характеризуется преобладанием сапрофагов, особенно люмбрицид.

Почвы степной целины использовались в качестве контроля для сравнения с почвами наиболее характерных лесных экосистем степной зоны и уровня их влияния на поровое пространство эдафотоп.

Качественный анализ микроструктурной организации почвенных шлифов проводился по классическим, общепринятым методическим и методологическим руководствам (Парфенова, Ярилова, 1977; Методическое ..., 1983).

Количественный анализ, получение цифровых изображений почвенных шлифов и вычисление геометрических характеристик пор осуществлялись по ранее изложенным методикам (Балалаев, 2002, 2004).

В данной работе учитываются видимые в световой микроскоп поры, которые сортируются по размерам согласно широко применяемой классификации Йоргениуса и Брюера (Brewer, 1964; Парфенова, Ярилова, 1977; Турсина и др., 1985; Скворцова, 1994) к субмакро- > 2 мм, макро- 100–2000 мкм и мезопорам 20–100 мкм.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

**Микроструктурная организация черноземов обыкновенных (ПП 201).** Соотношение компонентов микросложения (агрегатов, губчатого материала, неагрегированного материала) по профилю типично для черноземов: преобладание губчатого и агрегированного материала в гумусовых горизонтах; закономерное увеличение доли неагрегированного материала и уменьшение роли агрегатов в микроструктурной организации вниз по профилю. При этом содержание губчатого материала в большей мере имеет стабильный характер по всему профилю. Изменение относительного содержания компонентов микросложения сопряжено с постепенным общим уплотнением сложения вниз по профилю.

Масштабы и характер биогенного микроструктурообразования соответствуют структуре комплекса почвенной мезофауны почв степной целины.

Степень участия биогенных структур в микроструктурной организации почвы в гумусовых горизонтах является максимальной и снижается с глубиной. Среди зоогенных структурных агрегатов преобладают выбросы личинок почвообитающих насекомых.

В гумусовых горизонтах губчатый материал состоит из сплывшихся копролитов дождевых червей и выбросов личинок почвообитающих насекомых. Четко обособлены преимущественно выбросы личинок насекомых.

Вниз по профилю возрастает относительное значение копролитов люмбрицид как биогенных компонентов микросложения.

Характеризуя поровое пространство, необходимо отметить зависимость морфологии пустот от сочетания различных компонентов микросложения. В гумусовых горизонтах преобладают поры биогенного происхождения: зоогенные каналы, камеры, межагрегатные пустоты в микрizonaх скопления выбросов; фитогенные каналы, овальные и округлые пустоты, нередко содержащие растительные остатки. Кроме биогенных пустот присутствуют поры-трещины и фигурные поры.

Вниз по профилю меняется морфология и уменьшается общая площадь видимой пористости. На рис. 1 представлено изменение пористости и доля поверхности видимых субмакро-, макро-, и мезопор в исследуемых генетических горизонтах.

Видно, что общая пористость для всех горизонтов достаточно низкая (менее 0,3), что говорит о плотном сложении почвенной массы особенно в горизонте P<sub>2</sub>k. Максимум достигается в горизонте H<sub>2</sub> за счет относительно большого объема, принадлежащего субмакро- и макропорам. С увеличением глубины общая пористость стабильно снижается, резко падая почти в два раза в самом нижнем горизонте, где вклад субмакропор в общую пористость незначителен. Мезопористость во всех горизонтах минимальная.

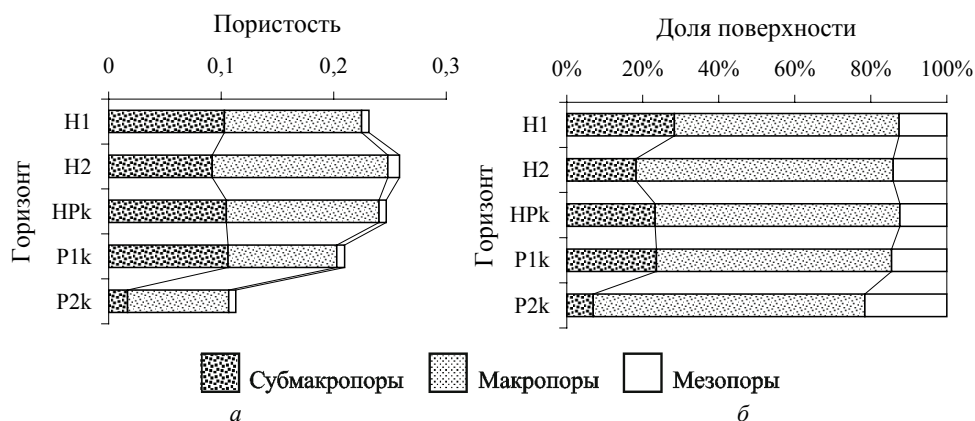


Рис. 1. Изменения пористости (а) и доли поверхности (б), занимаемой субмакро-, макро- и мезопорами в горизонтах почвенного профиля ПП 201

Максимальный вклад в общую поверхность пор вносят макропоры (60–70 %). Это связано как с их большим количеством, так и с достаточно извилистой и разветвленной формой. Доли субмакропор и мезопор приблизительно одинаковые (около 20 %). Так как при измельчении любого материала его суммарная поверхность увеличивается, то возрастание части поверхности, принадлежащей мезопорам вследствие увеличения их количества, – закономерное явление. Доля поверхности субмакропор определяется преимущественно не их числом, а сложной извилистой, изрезанной формой.

**Микроструктурная организация черноземов обыкновенных лесоулучшенных (ПП 224).** Гумусовые горизонты подвергаются интенсивному структурообразующему воздействию растительных и животных организмов, населяющих почвенную толщу. Корневые системы растений формируют сеть каналовидных пор с находящимися в них свежими и различной степени разложения корнями. Роль растительности не ограничивается образованием разветвленной системы пор в результате механического воздействия на почвенную массу. Отмирая, растительные фрагменты подвергаются процессам разложения и гумификации. Продукты гумификации становятся составной частью плазмы, пропитывают тонкодисперсный материал основы, создают в комплексе с минеральными коллоидами пленки на поверхности скелетных зерен. Таким образом, вещественный состав плазмы обеспечивает стабильность почвенных микроструктур различного генезиса.

Почвенная мезофауна принимает непосредственное участие в оструктурировании почвы, создавая морфологически четко оформленные агрегаты. Структура комплекса почвенной мезофауны обуславливает доминирование среди биогенных структурных агрегатов выбросов почвообитающих личинок насекомых. Копролиты дождевых червей занимают в микросложении подчиненное положение. Зоогенные структурные отделы заполняют поры-каналы, формируют микрозоны, сложенные обособленными агрегатами и их скоплениями – губчатым материалом.

Агрегаты и губчатый материал значительно преобладают среди компонентов микростроения верхних горизонтов, вследствие чего развиты неправильные сообщающиеся межагрегатные макропоры, фигурные поры в массе губчатого материала и биогенные поры-каналы.

Генетический горизонт, переходный по окраске, плотности и вещественному составу, имеет переходный характер и в микроструктурной организации твердой фазы, что отражается в содержании компонентов микростроения, площади видимой пористости, соотношении пустот различного генезиса и морфологии.

Микроструктурное состояние минеральных горизонтов формируется преимущественно под влиянием процессов набухания-усадки и коагуляции карбонатно-глинистой плазмы. Растрескивание почвенной массы обуславливает развитие портрещин, агрегирование насыщенного карбонатами тонкодисперсного материала приводит к образованию участков, сложенных микроагрегатами и неправильными сильноизрезанными межагрегатными порами. Значительную часть от общей площади порового пространства занимают округлые и овальные макропоры. В результате протекающих в нижней части профиля процессов организации твердой фазы почвы микроструктурное состояние характеризуется преобладанием неагрегированного материала, меньшим содержанием губчатого материала и незначительным – агрегированного.

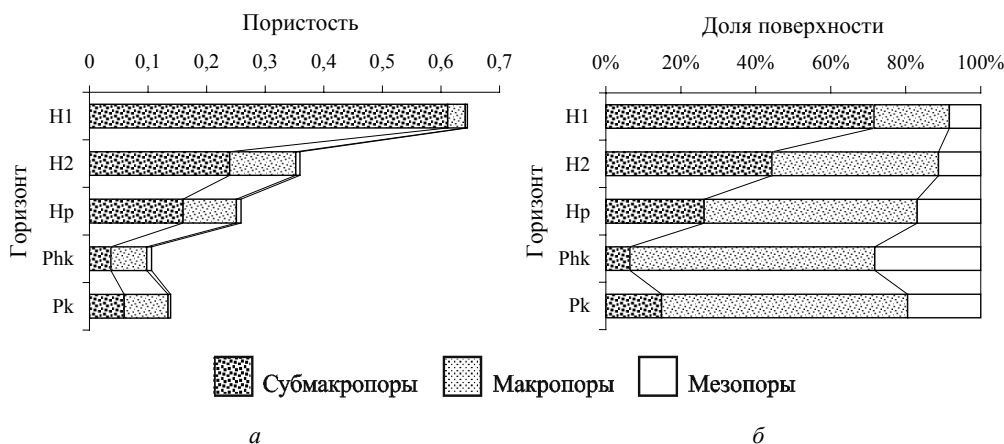


Рис. 2. Изменение пористости (а) и доли поверхности (б), занимаемой субмакро-, макро- и мезопорами в горизонтах почвенного профиля ПП 224

Отличительной чертой влияния искусственных лесных насаждений на пористость эдафотопа является резкое увеличение общей видимой пористости (0,64) и доли субмакропористости в общей длине поверхности (72 %) для гумусового горизонта N<sub>1</sub> (рис. 2). В нижерасположенных горизонтах наблюдается последовательное снижение с увеличением глубины общей пористости и степени влияния субмакропор вплоть до горизонтов, принадлежащих материнской породе. Лессовидному суглинку характерна низкая пористость (0,12) и высокий вклад в общую поверхность порового пространства макропор (65 %) и мезопор (20–28 %); полученные значения близки с показателями пористости нижних горизонтов контрольной пробной площади степной целины.

Найденное распределение пористости и отличия геометрии пор в верхних гумусовых горизонтах по сравнению с контрольным эдафотопом являются следствием средопреобразующего воздействия лесных насаждений на степные эдафотопы.

**Микроструктурная организация черноземов лесных (ПП 204).** Лесные черноземы характеризуются своеобразными чертами микроструктурной организации профиля, обусловленными особенностями почвообразования под лесной байрачной растительностью.

Гумусовые горизонты  $H_1e1_1$ ,  $H_2e1_1$  отличаются исключительно агрегированным сложением с незначительными по площади микрозонами губчатого материала, неагрегированный материал отсутствует.

Структурные отдельности практически полностью представлены зоогенными агрегатами – копролитами дождевых червей. Копролиты находятся на разных стадиях разрушения, однако преобладают неразрушенные и незначительно разрушенные, что также свидетельствует о высокой интенсивности биогенного микроструктурообразования. Выбросы других представителей почвенной мезофауны играют незначительную роль в микроструктурной организации горизонтов.

Иллювиальные горизонты  $H_{pil}$  и  $HPilk$  – плотного сложения, структурные отдельности ограничены порами-трещинами. Биогенные агрегаты заполняют каналовидные и овальные пустоты, но в целом их значение как компонента микросложения несущественно. Поровое пространство сформировано каналовидными разветвленными, биогенными мезо- и макропорами, округлыми и овальными биогенными камерами, разветвленными трещинами, фигурными микро- и мезопорами.

Микроструктурная организация горизонта  $P_k$  характеризуется активной структурообразующей деятельностью почвенных беспозвоночных, прежде всего дождевых червей. В результате наблюдается значительное увеличение площади видимой пористости (поры разнообразны по своей морфологии), губчатого и агрегированного материала. Широко развиты педотубулы, заполненные агрегатами-выбросами.

Основная площадь видимой пористости сформирована сообщающимися разветвленными межагрегатными пустотами, организованными в единую пространственную структуру.

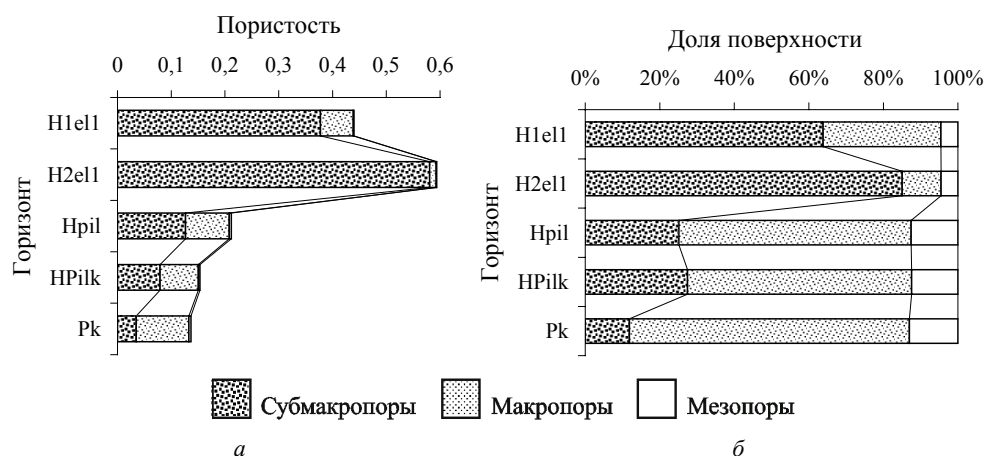


Рис. 3. Изменения пористости (а) и доли поверхности (б), занимаемой субмакро-, макро- и мезопорами в горизонтах почвенного профиля ПП 204

При увеличении глубины общая видимая пористость закономерно снижается, так же падает доля субмакропор и растет процент макропор (рис. 3). При этом максимальная общая пористость (0,6 ед.) и доля поверхности приходятся на нижний элювиальный горизонт в основном за счет субмакропор.

Хорошая агрегированность и относительно высокая видимая пористость элювиальных горизонтов, а также относительно плотное сложение и низкая видимая пористость иллювиальных горизонтов являются следствием одного и того же явления текстурной дифференциации профиля байрачных почв в результате лессиважа. Особенности текстурной дифференциации профиля байрачных черноземов накладывают отпечаток на процесс биогенного микроструктурообразования и на структурное состояние эдафотопы в целом.

Влияние искусственных лесов на плакоре имеет сходную направленность, но свои особенности по сравнению с естественными лесами в байраках. В частности, в

байраках максимум пористости наблюдается на большей глубине (горизонт  $H_2$  – 10–30 см) почвенного профиля.

#### **Микроструктурная организация пойменных лугово-лесных почв (ПП 209).**

Характеризуя микроструктуру эдафотопов дубрав центральной поймы, необходимо учитывать, что почвообразующая порода формируется в процессе аллювиальных отложений. Материал различных слоев осадка может существенно отличаться по составу, мощность самих слоев также варьирует.

В профиле исследованных почв можно выделить три литологически различных слоя: горизонты  $H_1$  и  $H_2$  развиты на осадке суглинистого гранулометрического состава (пылевато-плазменное элементарное микростроение); горизонты  $H_3$  и  $HP$  формируются на крупнозернистых песчаных аллювиальных отложениях (плазменно-песчаное элементарное микростроение); гранулометрический состав горизонтов  $Ph$  и  $P$  характеризуется значительным содержанием частиц пылеватого размера (плазменно-пылевато-песчаное элементарное микростроение).

Дифференциация однородных по гранулометрическому составу слоев на генетические горизонты диагностируется по гумусированности и микроструктуре, при этом изменение данных характеристик взаимозависимо: чем выше содержание тонкодисперсного гумуса, тем сложнее микроструктурная организация генетических горизонтов профиля.

Верхние суглинистые горизонты  $H_1$  и  $H_2$  характеризуются масштабной структурообразующей деятельностью мезофауны (прежде всего дождевых червей), отсюда полная агрегированность горизонта  $H_1$  и губчатое микросложение горизонта  $H_2$ .

В супесчаных и песчаных горизонтах особенности структурообразующей деятельности почвенной мезофауны меняются: роль животных ограничена формированием пустот, преимущественно каналов, часть из которых заполнена почвенным материалом. Особенностью микросложения горизонтов  $Ph$  и  $P$  является наполненность практически всех биогенных каналов почвенным материалом.

Таким образом, среди факторов, определяющих характер и масштабы биогенного микроструктурообразования пойменных эдафотопов, особое значение имеют различия гранулометрического состава аллювиальных слоев, формирующих профиль почвы.

Оценивая значение отдельных представителей различных экологических групп почвенной мезофауны, необходимо отметить однотипность микроструктурной организации суглинистых горизонтов  $H_1$  и  $H_2$  почв центральной поймы (тип лесного БГЦ  $D'ac$ ) и гумусовых горизонтов байрачных черноземов (тип лесного БГЦ  $Dac$ ) – копролиты дождевых червей являются компонентами микросложения, формирующими микроструктуру данных горизонтов. Выбросы других представителей почвенной мезофауны имеют второстепенное значение в микроструктурной организации эдафотопов.

Преобладающими компонентами микросложения гумусовых горизонтов черноземов обыкновенных под степной и лесной растительностью являются агрегаты и губчатый материал, микрзоны неагрегированного сложения занимают подчиненное положение.

Гумусовые горизонты черноземов лесных и пойменных лугово-лесных почв отличаются высокой степенью однородности микросложения. Компонентом микросложения, слагающим практически полностью верхние горизонты данных почв, являются зоогенные агрегаты (преимущественно копролиты дождевых червей) и их скопления.

Изменения пористости и доля поверхности для видимых субмакро-, макро- и мезопор в генетических горизонтах представлены на рис. 4.

Верхний горизонт  $H_1$  отличается средней пористостью (0,28) и преобладанием поверхности макропор (66,7%). Максимум общей пористости (0,44) соответствует горизонту  $H_2$  в первую очередь за счет большого вклада субмакропористости, которой принадлежит 47,2% поровой поверхности, вследствие высокой агрегированности и губчатости горизонта. Доля поверхности макропор также высока – 45,8%. Переходный горизонт  $HP$  характеризуется минимальной общей пористостью 0,05 ед.,

преобладанием поверхности макро- (65,2 %) и мезопор (29,5 %). Снижение общей пористости можно трактовать присутствием подвижных органических тонкодисперсных компонентов, которые проникают преимущественно в субмакропоры и частично в макропоры, уменьшая их объем. Сказанное подтверждает небольшой рост общей, субмакро- и макропористости в нижних горизонтах Ph и P, где количество тонкодисперсного материала снижается.

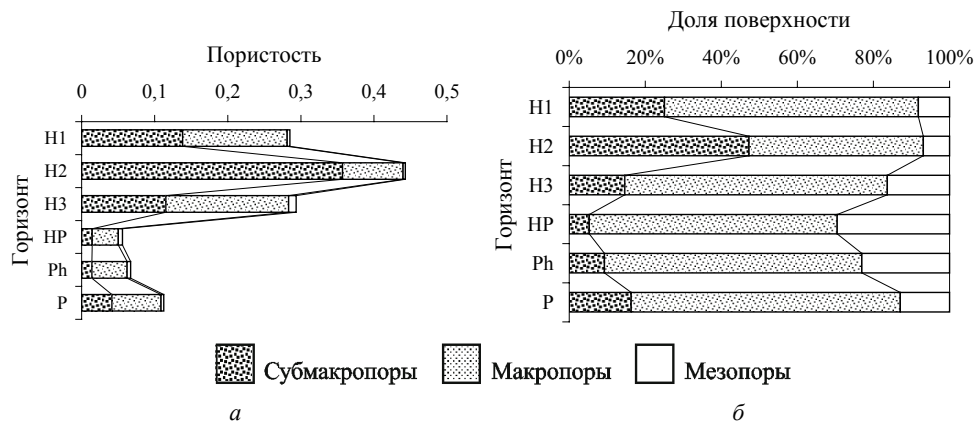


Рис. 4. Изменения пористости (а) и доли поверхности (б), занимаемой субмакро-, макро- и мезопорами в горизонтах почвенного профиля ПП 209

В связи с тем что в процессе компьютерного эксперимента проводилось вычисление более двадцати геометрических признаков пор по каждой размерной группе, возникла потребность в обобщении полученного массива данных многомерными статистическими методами для получения достоверных выводов.

Для оценки эффектов влияния естественных лесов и искусственных лесных насаждений на поровое пространство эдафотопов применялся двухфакторный дисперсионный анализ (Афифи, Эйзен, 1982; Лакин, 1990). К первому двухуровневому фактору относится наличие и отсутствие лесной растительности, ко второму трехуровневому фактору – гумусированность почвенного горизонта (гумусовый, переходный и материнская порода). Определялись также эффекты комбинированного действия двух факторов на отклики геометрических признаков всей совокупности видимых пор. Коэффициенты Фишера ( $F$ -критерии), отражающие отношение межгрупповой к внутригрупповой дисперсии признаков, приведены в *таблице*.

**Статистическая оценка эффектов влияния лесистости, гумусированности горизонтов и их комбинации на некоторые геометрические признаки видимых пор**

Геометрические признаки	Ф а к т о р ы			Отношение средних значений (лес/степь)
	лес	горизонты	лес и горизонты	
1	2	3	4	5
Площадь	4,98	5,43	5,94	2,158
Периметр	2,09	6,59	4,86	1,172
Длина	0,12	4,50	1,02	1,026
Ширина	0,00	5,43	3,93	1,002
Показатель изометричности	58,35	5,88	2,02	0,949
Показатель округлости	43,66	28,67	4,09	0,968
Фактор формы	66,29	20,53	3,94	0,960
Коэффициент расчлененности	6,67	22,98	2,91	1,013
Эквивалентный диаметр	0,00	4,93	2,27	0,998
Коэффициент заполнения	16,29	21,46	3,31	0,984
Эксцентриситет эллипса	27,25	1,54	0,19	1,022



1	2	3	4	5
Длина остова	3,52	<b>6,08</b>	<b>5,47</b>	1,495
Средняя ширина остова	<b>93,66</b>	<b>8,70</b>	2,78	0,820
Коэффициент ветвления	<b>15,60</b>	<b>4,57</b>	1,14	1,208
Коэффициент прерывания	<b>20,05</b>	<b>5,87</b>	0,30	0,939
Коэффициент измен. ширины	<b>16,31</b>	<b>10,86</b>	<b>3,34</b>	0,971
Коэффициент извилистости	<b>69,02</b>	<b>29,71</b>	<b>20,33</b>	1,091
Коэффициент защемления	<b>73,08</b>	<b>4,28</b>	<b>4,44</b>	0,821
Минимальное расстояние до соседней поры	<b>136,47</b>	<b>230,6</b>	<b>28,69</b>	1,322
<b>ОБЩИЙ ЭФФЕКТ</b>	<b>20,63</b>	<b>14,27</b>	<b>4,43</b>	–

Примечание. Эффекты представлены коэффициентами Фишера. В последнем столбце приведены отношения средних значений поровых признаков пор при воздействии леса и без него. Достоверные эффекты на уровне значимости 0,05 выделены жирным шрифтом.

Наиболее информативными признаками, индицирующими влияние леса на поровое пространство эдафотопов, является уменьшение вероятности защемления, средней ширины остова и округлости формы, увеличение изометричности и эксцентриситета эллипса. Причем изменение эксцентриситета является достоверным откликом только на фактор лесистости. Почвенные поры в лесной экосистеме более вытянутые, их форма сложнее, а контуры изрезаннее. Характерно, что из всех размерных признаков достоверно увеличивается только площадь.

Для выяснения степени близости изучаемых эдафотопов между собой в многомерном пространстве вычисленных геометрических признаков пор использовалось многомерное (двумерное) шкалирование методом Торгерсона (Терехина, 1986; Дэвисон, 1988) на основе матрицы расстояний Махаланобиса средних значений всех геометрических признаков разных горизонтов видимых субмакро-, макро- и мезопор. Результаты оптимального размещения на плоскости почв исследуемых пробных площадей изображены на рис. 5. Показатели стресса итерационной процедуры оптимизации имеют нулевые значения до шестого знака после запятой, что говорит о высокой сходимости результата. Найденные шкалы являются гипотетическими, и значения могут не соответствовать величине какого-то одного реального фактора, влияющего на формирование порового пространства. Вероятно, здесь проявляется действие комплекса факторов, точно определить которые на основе имеющихся данных сложно. Однако такой подход вполне оправдан для оценки относительной близости исследуемых объектов.

Эдафотопы естественных степных, байрачных и пойменных лесных экосистем образуют треугольник, близкий к равностороннему (рис. 5). Такая структура отражает различные экологические условия формирования поровых пространств этих эдафотопов. Обособленное расположение эдафотопов дубрав центральной поймы (ПП 209) в первую очередь определяет генетически обусловленные отличия гранулометрического состава аллювиальных отложений почвообразующей породы, формирующих профиль почвы. Близость остальных эдафотопов объясняется главным образом общностью лессовой материнской породы. Положение степного эдафотоба (ПП 201) определяет геометрическая близость в пространстве поровых признаков суглинистых и гумусовых горизонтов.

Конфигурация почвенных пор искусственного лесного насаждения ПП 224 находится почти на прямой линии, соединяющей ПП 201 и ПП 204. То есть по степени и направлению эколого-микроморфологической трансформации поровых признаков данная почва соответствует промежуточному положению между исходным степным и естественным байрачным лесным эдафотопами. Приняв байрачные экосистемы, сформированные эволюционным путем за тысячи лет, в качестве эталона (100 %), можно количественно оценить степень средообразующего воздействия на почву искусственных лесных насаждений ПП 224 – 42 %. Очевидно, путем подбора места и

способа посадки деревьев, выбора типа древостоя и других факторов, влияющих на успешность выживания лесных БГЦ в условиях степи, можно в определенных пределах изменять указанное процентное соотношение. Кроме того, можно предположить, что по мере своего роста и развития удачное лесонасаждение будет преобразовывать поровое пространство эдафотопы, перемещаясь по плоскости отображения ближе к байрачным лесам и дальше от степной целины.

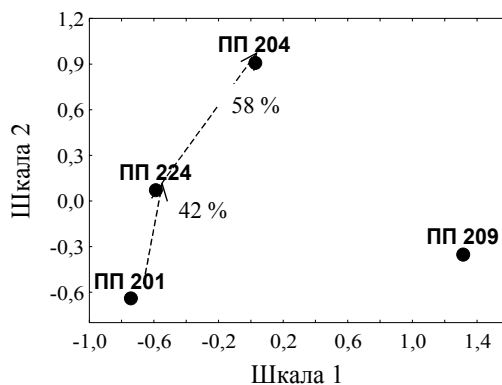


Рис. 5. Эколого-микроморфологическое отображение эдафотопов в пространстве двух шкал признаков порового пространства

## ВЫВОДЫ

Тип лесного биогеоценоза определяет характер, масштабы и генезис биогенного микроструктурообразования – микростроение генетических горизонтов, участие биогенных структур в общей картине микроструктурной организации и порового пространства эдафотопов.

Полученные результаты позволяют достоверно утверждать, что лесные экосистемы в процессе своего функционирования сильно преобразовывают поровое пространство степных эдафотопов. Уровень этих преобразований слабо зависит от генетических горизонтов почвенного профиля, исторически сложившихся в рассматриваемой климатической зоне.

В ряду почв: чернозем обыкновенный – чернозем обыкновенный лесоразрушенный – чернозем лесной возрастает степень трансформации порового пространства биогенного микроструктурообразования и значение почвенной биоты, в педогенезе. Пойменная лесолуговая почва имеет свой, генетически обусловленный, путь развития.

Многомерный статистический анализ данных микроморфометрии пор показал многогранность факторов и сложность процессов, влияющих на формирование геометрического облика порового пространства эдафотопов; выявил закономерности влияния лесных биогеоценозов и генетической горизонтальности почв на совокупность геометрических признаков видимых пор; определил направленность почвообразовательных процессов с точки зрения формирования порового пространства и микроструктуры в целом.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- Афифи А., Эйзен С. Статистический анализ: Подход с использованием ЭВМ. – М.: Мир, 1982. – 488 с.
- Балалаев А. К. Опыт применения компьютерных технологий в морфометрических исследованиях почвенных микрошлифов // Грунтознавство. – 2002. – Т. 2, № 1-2. – С. 88-96.
- Балалаев А. К. О вычислении метрических признаков видимых пор по цифровым изображениям прозрачных почвенных микрошлифов // Грунтознавство. – 2004. – Т. 5, № 3-4. – С. 89-97.

- Белова Н. А.** Биологические и микроморфологические особенности лесных эдафотопов Присамарья // Вопросы степного лесоведения и лесной рекультивации земель. – Д.: ДГУ, 1986. – С. 56-64.
- Белова Н. А.** Экология, микроморфология, антропогенез лесных почв степной зоны Украины. – Д.: ДГУ, 1997. – 263 с.
- Белова Н. А., Травлев А. П.** Естественные леса и степные почвы. – Д.: ДГУ, 1999. – 343 с.
- Вильямс В. Р.** Почвоведение. – М.: Сельхозгиз, 1946. – 456 с.
- Дэйвисон М.** Многомерное шкалирование. Методы наглядного представления данных. – М.: Финансы и статистика, 1988. – 348 с.
- Звягинцев Д. Г.** Взаимодействие микроорганизмов с твердыми поверхностями. – М.: МГУ, 1973. – 176 с.
- Качинский Н. А.** Физика почв: В 2 ч. – М.: Высш. шк., 1965. – Ч. 1. – 323 с.
- Лакин Г. Ф.** Биометрия. – М.: Высш. шк., 1990. – 352 с.
- Лактіонова Т. М., Медведєв В. В., Почепцова Л. Г., Лізогубов В. О.** Дослідження преференційних потоків рідини у чорноземі за допомогою модельного польового експерименту // Агрохімія і ґрунтознавство. – 2004. – Вип. 65. – С. 62-72.
- Методическое руководство по микроморфологии почв / Под ред. В. В. Добровольского.** – М.: МГУ, 1983. – 69 с.
- Парфенова Е. И., Ярилова Е. А.** Руководство к микроморфологическим исследованиям в почвоведении. – М.: Наука, 1977. – 197 с.
- Розанов Б. Г.** Генетическая морфология почв. – М.: МГУ, 1975. – 340 с.
- Скворцова Е. Б.** Микроморфометрия порового пространства почвы и диагностика почвенной структуры // Почвоведение. – 1994. – № 11. – С. 42-49.
- Скворцова Е. Б., Морозов Д. Р.** Микроморфометрическая классификация и диагностика строения порового пространства почвы // Почвоведение. – 1993. – № 3. – С. 44-53.
- Терехина А. Ю.** Анализ данных методами многомерного шкалирования. – М.: Наука, 1986. – 168 с.
- Турсина Т. В., Скворцова Е. Б., Кулинская Е. В., Грачева М. В.** Микроморфометрический анализ пористости почв // Почвоведение. – 1985. – № 4. – С. 60-69.
- Яковенко В. Н.** Микроструктура и микроморфология черноземов обыкновенных лесоулучшенных Присамарья Днепропетровского // Екологія та ноосферологія. – 2000. – Т. 9, № 1-2. – С. 98-107.
- Яковенко В. М.** Екологічна роль біогенного мікроструктурування лісових едафотопів південного сходу України: Автореф. дис. ... канд. біол. наук. – Д., 2003. – 20 с.
- Beven K., Germann P.** Macropores and water flow in soils // Water Resour. Res. – 1982. – Vol. 18. – P. 1311-1325.
- Bouma J.** Soil morphology and preferential flow along macropores // Agric. Water Manage. – 1980. – Vol. 3. – P. 235-250.
- Brewer R.** Fabric and mineral analysis of soils. – N.-Y.: Wiley Publ., 1964. – 470 p.
- Franzluebbers A. J.** Water infiltration and soil structure related to organic matter and its stratification with depth // Soil Tillage Res. – 2002. – Vol. 66. – P. 197-205.
- Moran C. J., McBratney A. B., Koppi A. J.** A rapid method for analysis of soil macropore structure. I. Specimen preparation and digital binary image production // Soil Sci. Soc. Am. J. – 1989. – Vol. 53. – P. 921-928.
- Murphy C. P., Bullock P., Turner R. H.** The measurement and characterisation of voids in soil thin sections by image analysis, Part. I. Principles and techniques // J. Soil Sci. – 1977 – Vol. 28. – P. 498-508.
- Pachepsky Y. A., Rawls W. J.** Soil structure and pedotransfer function // Eur. J. Soil. Sci. – 2003. – Vol. 54. – P. 443-451.
- Shipitalo M. J., Dick W. A., Edwards W. M.** Conservation tillage and macropore factors that affect water movement and the fate of chemicals. // Soil and Tillage Res. – 2000. – Vol. 53. – № 3. – P. 167-183

*Надійшла до редколегії 24.04.06*