

УДК 551.4.02+551.89+550.8.028

**МЕТОДОЛОГИЯ ИЕРАРХИЧЕСКОГО
МОРФОГЕНЕТИЧЕСКОГО ИССЛЕДОВАНИЯ:
КАК ПРОЧИТАТЬ ИСТОРИЮ ОТЛОЖЕНИЙ И ПОЧВ
МЕЖДУ СТРОК**

И. Г. Шоркунов^{1), 2)}, Е. В. Гаранкина^{1), 2)}

¹⁾Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова,
Ленинские горы, 1, 119991, г. Москва, Россия, shorkunov@gmail.com,
evgarankina@gmail.com

²⁾Институт географии РАН, Старомонетный пер., 29/4, 119017, г. Москва, Россия

Для восстановления параметров палеогеографической среды *in situ* и выявления достоверной последовательности их изменений в плейстоценовых отложениях и почвах применяется методология иерархического морфогенетического исследования. Записанные в твёрдом веществе явления и признаки последовательно изучаются на разных уровнях структурной организации объекта с систематическим повышением морфологического разрешения: от макро- и мезо- до микро- и субмикро-. Морфологическое и аналитическое геохимическое исследование вещества дополняют результаты наборов методов, специфичных для каждого уровня.

Ключевые слова: полевые и лабораторные исследования; мезоморфология; монолиты почв; структурная организация; твёрдая фаза; палимпсестовый тип записи; палеорекострукции.

**METHODOLOGY OF HIERARCHICAL MORPHOGENETIC
INVESTIGATION: HOW TO READ THE HISTORY OF
SEDIMENTS AND SOILS BETWEEN THE LINES**

E. V. Garankina^{1), 2)}, I. G. Shorkunov^{1), 2)}

¹⁾ Lomonosov Moscow State University, Leninskiye Gory, 1, 119991, Moscow, Russia

²⁾ Institute of Geography, Russian Academy of Sciences, Staromonetny lane, 29, 119017,
Moscow, Russia, evgarankina@igras.ru, shorkunov@igras.ru

To restore the *in situ* parameters of paleogeographic environment and identify a reliable sequence of their alterations in Pleistocene sediments and soils, we apply a methodology of hierarchical morphogenetic investigation. Features and phenomena recorded in solid matter are consistently studied at different levels of structural organization in a system of constantly increasing morphological resolution: from macro- and meso- to micro- and submicro-scale. Morphological and analytical geochemical studies are supplemented by the results of method sets specific to each level.

Keywords: field and laboratory research; mesomorphology; monolith soil sampling; structural organization; solid matter; palimpsest recording; paleoreconstructions.

К началу XXI в. назрела необходимость комплексного подхода к решению генетических и хроностратиграфических вопросов формирования чехла покровных суглинков и коррелятных образований на территории, ограниченной линиями максимального распространения средне- и позднеплейстоценовых покровов оледенения Евразии. Осознана потребность в сопряжённом анализе педолитофациальной изменчивости в пределах разных элементов и форм рельефа междуречий и детальных данных о литологических и геохимических свойствах отложений в целях классифицирования и установления генезиса объектов (толщи осадков, криогенных структур и текстур, поверхностных почв и почвенного покрова, погребённых почв, а также групп педогенных признаков в отдельных лито- и посткриогенных структурах). Визуальная морфология осадочной толщи раскрывает способ перемещения и отложения материала, физико-химические характеристики позволяют установить источники, способы и пути перемещения твёрдого вещества. Морфологическое исследование погребённых палеопочв и посткриогенных структур в первом приближении вскрывает последовательность событий педо- и криогенеза и способствует оценке изменения параметров природной среды в конкретной точке. В отличие от регионального (например, данные спорово-пыльцевого анализа), локальный сигнал, расшифрованный в почвах и осадках ландшафтов междуречий, обладает самым высоким пространственным разрешением. Это, с одной стороны, определяет неправомочность прямых пространственных обобщений (в этом разрезе так, значит, и на всём поле / катене / урочище / регионе – так же), с другой, – позволяет достовернее судить о связи вскрытой последовательности событий с климатическим, геоморфологическим и даже антропогенным факторами в конкретной точке. Физико-химическое и химико-аналитическое исследование, как правило, детализирует геохимическую картину палеоландшафта и помогает морфологическому исследованию установить этапы её трансформации и подтвердить или опровергнуть ранее выдвинутые гипотезы.

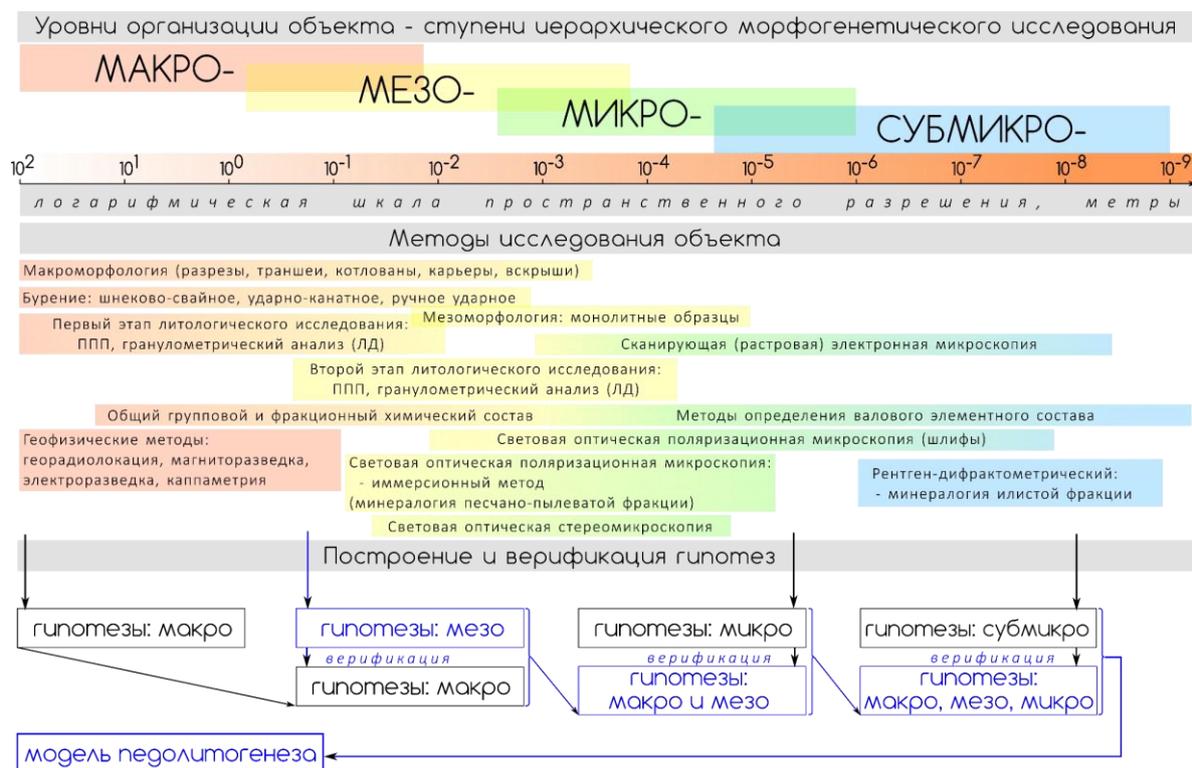
Для восстановления параметров палеогеографической среды *in situ* и выявления достоверной последовательности их изменений в разрезах плейстоценовых отложений и почв командой сотрудников института географии РАН, географического и почвенного факультетов МГУ применяется методология **иерархического морфогенетического исследования (ИМГИ)**. Методология ИМГИ была впервые сформулирована и опробована на опорных разрезах 10–70 и 2–71 в покровных суглинках Клинско-Дмитровской гряды в 1970х годах [1, 2]. Сейчас она активно совершенствуется [3] и успешно применяется для разнообразных элементов педолитосферы в широком географическом

диапазоне [4, 5, 6]. Теоретической основой методологии является концепция памяти почв [7, 8], согласно которой параметры внешней среды, а также их изменения оставляют след, – т. е. Записываются в твёрдофазном каркасе почвенного тела. Такой подход способствует рассмотрению в качестве архивов информации об условиях (и их изменениях) физико- и социально-географической среды не только классических дневных и ископаемых почв и вмещающих осадков, но и целого спектра почвоподобных тел и педолитокомплексов, слабо поддающихся изучению классическими «профильно-горизонтными» методами классического генетического почвоведения.

Покровным суглинкам соответствует **палимпсестовый (многokrатно наложенный) тип записи**: морфологические и физико-химические параметры отдельных признаков, сформированных на предыдущих стадиях, неизбежно изменяются, перемещаются в почвенном теле и даже частично или полностью уничтожаются на каждом новом этапе педолитогенеза. Отсутствие консервирующей ритмичной седиментации и продолжительное влияние крио- и педогенеза обуславливают сложную организацию почвенно-осадочного тела без последовательного, привычного геологам, слоистого профиля с простой хроностратиграфической последовательностью снизу-вверх.

Явления и признаки твёрдофазного вещества последовательно изучаются на каждом уровне структурной организации объекта с систематическим повышением морфологического разрешения: от **макро-** ($n \cdot 10^2 - n \cdot 10^{-1}$ м) и **мезо-** ($n \cdot 10^0 - n \cdot 10^{-4}$ м) до **микро-** ($n \cdot 10^{-2} - n \cdot 10^{-5}$ м) и **субмикроморфологического** ($n \cdot 10^{-3} - n \cdot 10^{-9}$ м). На каждом из них морфологическое и аналитическое геохимическое исследование [1, 9] дополняют результатами сопутствующих наборов методов изучения объекта – специфичных для каждого уровня (рисунок). Так, полевое **макроморфологическое исследование** сопровождается применением литолого-стратиграфического, почвенно-географического и геоморфологического подходов в поле [10], а в лаборатории – профильным анализом распределения валовых физико-химических характеристик [11, 12]. **Мезоморфологическое исследование** объёмной организации почвенного и/или осадочного тела, визуальное в поле и в образцах ненарушенного строения (монолитах) в лаборатории с применением световой стереомикроскопии, позволяет выделять основные морфотипы и анализировать их распределение в объекте, а также получать точечные сведения об их вещественном составе комплексом химических, минералогических и томографических методов [12]. Именно на мезоморфологическом уровне пространственного

разрешения добываются ключевые данные о стадийности формирования твердофазных признаков в почвенном теле. **Микроморфологическое исследование**, наверное, самый популярный и богатый методами уровень пространственного разрешения. Здесь вначале рассматривают организацию твёрдофазного каркаса ненарушенных природных поверхностей с помощью световой стереомикроскопии и растровой (сканирующей) электронной микроскопии (СЭМ). Затем – исследуют препараты тонких плоских срезов (шлифов) в проходящем поляризованном, отражённом свете и сканирующем электронном пучке (СЭМ), получая сведения об элементном составе микроучастков энерго-дисперсионным и волновым рентгеновским методами [12, 13]. Завершающий этап – исследование минерального (и/или молекулярного) состава фрагментов микростроения в препаратах плоских срезов и ненарушенных природных поверхностей с помощью рамановского волнового свига [14]. **Субмикроморфологическое исследование** уточняет детали кристаллического, молекулярного и элементного строения твердого вещества.



Соотношение уровней структурной организации твёрдофазного вещества и последовательности применения наборов методов его исследования для получения и верификации достоверности высокоразрешающих моделей педолитогенеза

Результат ИМГИ — детальная модель педолитогенеза высокой точности. Достоверность итоговых моделей достигается последовательной верификацией генерируемых генетических гипотез на каждом этапе исследования. Пропуск любого этапа из иерархической линейки пространственного разрешения вынуждает использовать логические конструкции (индукцию, актуалистический подход и проч.), неизбежно снижающие достоверность модели. Процессно-генетическая интерпретация объекта, а также реконструкция реликтовых параметров географической среды на любом временном отрезке основываются на сопоставлении диапазонов условий всех синхронно формировавшихся признаков. Восстановление последовательности протекания элементарных почвообразовательных (ЭПП) и геоморфологических (ЭГП) процессов, этапов саморазвития и эволюции почв, почвоподобных тел и педолитокомплексов основано на определении взаиморасположения и наложения групп сингенетичных признаков в пространстве почвенного тела и географического ландшафта [4]. Такой подход способствует повышению генетического разрешения реконструкций: как ретроспективных, так и прогностических, что особенно важно при исследовании объектов со специфическим — палимпсестовым — типом записи событий, таких как дневные (поверхностные) почвы и педолитокомплексы в автономных геохимических позициях.

Комплексное решение палеогеографических задач в перигляцильных областях материковых оледенений и определение структуры современного и реконструкции ископаемых (голоценовых и плейстоценовых) почвенных покровов требует не только детального исследования вещества, но и иерархического географического анализа распространения выявляемых данных. Детализированный катенарный подход предполагает исследование нескольких малых почвенно-литологических трансект, пересекающих все выделенные формы мезо- и микрорельефа, на каждой ступени макросклона катены. Опыт имплементации предлагаемой методологии показывает успехи не только в области решения палеопочвенных задач [15], но и широкого круга вопросов комплексных палеогеографических и в т.ч. палеогеоморфологических задач [13, 16–18].

Исследование выполнено при поддержке РФФ, проект 23-17-00073.

Библиографические ссылки

1. Таргульян В. О., Соколова Т. А., Бирин А. Г., Куликов А. В., Целищева Л. К. Организация, состав и генезис дерново-палеопodzolistой почвы на покровных суглинках. М. Междунар. конгр. почвоведов. 1974.
2. Почвообразование и выветривание в гумидных ландшафтах / под ред. В. О. Таргульяна. М.: Наука. 1978.

3. *Targulian V. O., Bronnikova M. A.* Память почв: теоретические основы концепции, современное состояние и перспективы развития // Почвоведение. 2019. № 3. С. 259–275.

4. *Шоркунов И. Г.* Моно- и полигенез сложно организованных ископаемых педолитокомплексов (на примере Северо-Западного Предкавказья, Среднерусской возвышенности и Центральной Мексики) / М.: Автореф. дис.... к.г. н. 2013.

5. *Gerasimova M. I., Bronnikova M. A., Khitrov N. B., Shorkunov I. G.* Hierarchical morphogenetic analysis of Kursk Chernozem. Бюлл. Почвенного ин-та. 2016. Vol. 86. Pp. 64–76. <https://doi.org/10.19047/0136-1694-2016-86-64-76>

6. *Mergelov N. S., Shorkunov I. G., Dolgikh A. V., Shishkov V. A., Zazovskaya E. P., Targulian V. O., Goryachkin S. V.* Endolithic and hypolithic soil-like systems: structure and composition from the macro- to submicro-levels // Бюлл. Почвенного ин-та. 2016. Vol. 86. P. 103–114. <https://doi.org/10.19047/0136-1694-2016-86-103-114>

7. *Targulian V. O., Соколов И. А.* Структурный и функциональный подход к почве: почва-память и почва-момент // Математическое моделирование в экологии. М.: Наука. 1978. С. 17–33.

8. Память почв: Почва как память биосферно-геосферно-антропосферных взаимодействий / под ред. В. О. Таргульяна, С. В. Горячкина. М.: Изд-во ЛКИ. 2008.

9. *Targulian V. O.* Soil and soil-like systems and bodies // Pochvoznanie, Agrokhimiya i Ekologiya. 2011. Vol. 45. № 2. Pp. 21–26.

10. *Гаранкина Е. В., Шоркунов И. Г.* О чём молчат разрезы: методические аспекты работы с грунтовыми выработками в палеогеографических целях // Этот сборник. 2024.

11. *Шеремецкая Е. Д., Гаранкина Е. В., Шишкина Ю. В., Журавлева В. И., Богданова О. А., Шоркунов И. Г., Лобков В. А.* Методические аспекты применения гранулометрического анализа при детальном изучении отложений междуречий // Перигляциал Восточно-Европейской равнины и Западной Сибири. Мат-лы Всеросс. науч. конф. Ростов Великий, 25–26 авг. 2023 г. [Эл. изд.]

12. *Шоркунов И. Г., Гаранкина Е. В.* От макро до субмикро и обратно: как нам быть со структурной организацией почв и осадков // Этот сборник. 2024.

13. *Shishkina Yu., Garankina E., Belyaev V., Shorkunov I., Andreev P., Bondar A., Potapova V., Verlova T.* Postglacial incision-infill cycles at the Borisoglebsk upland: Correlations between interfluvial headwaters and fluvial network // Int. Soil and Water Conserv. Res. 2019. Vol. 7. № 2. Pp. 184–195. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2019.02.001>

14. *Mergelov N., Zazovskaya E., Fazuldinova N., Petrov D., Dolgikh A., Matskovsky V., Golyeva A., Bichurin R., Miamin V., Dobryansky A.* Chronology and properties of macrocharcoal sequestered in boreal forest soils since deglaciation (southeast of the Kola Peninsula) // Catena. 2024. Vol. 236. P. 107753.

15. *Лобков В. А., Шоркунов И. Г., Гаранкина Е. В., Шеремецкая Е. Д., Беляев В.Р.* Модели эволюции педогенеза на покровных суглинках Борисоглебской возвышенности // Почвоведение. Горизонты будущего. 2022. Сб. тезисов докладов VI конф. молодых ученых Почвенного ин-та им. В.В. Докучаева. 2022. С. 85–87.

16. *Garankina E. V., Lobkov V. A., Shorkunov I. G., Belyaev V. R.* Identifying relict periglacial features in watershed landscape and deposits of Borisoglebsk Upland, Central European Russia // J of Geological Society. 2022. Vol. 5. № 179

17. Valdai Periglacial Field Symposium Guidebook, 27–30 Aug 2023 [El. ed.]. М.: IGRAS. 2023.

18. *Гаранкина Е. В., Лобков В. А., Шеремецкая Е. Д., Шоркунов И. Г.* Покровные суглинки как перигляциальный феномен: происхождение и возраст // Перигляциал Восточно-Европейской равнины и Западной Сибири. Мат-лы Всеросс. науч. конф. Ростов Великий, 25–26 авг. 2023 г. [Эл. изд.]