

УДК 551.4.02+551.89+550.8.028

ОТ МАКРО К МИКРО И ОБРАТНО: КАК НАМ БЫТЬ СО СТРУКТУРНОЙ ОРГАНИЗАЦИЕЙ ПОЧВ И ОСАДКОВ

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

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

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

Кратко освещены последовательные этапы и масштабные уровни иерархического морфогенетического исследования: макро-, мезо- и микро-. Методологический пропуск любого этапа неизбежно ведёт к снижению достоверности генерируемых генетических гипотез. Обоснован подход монолитного полевого пробоотбора, рассмотрена методика профильного и специального опробования разрезов полигенетических суглинистых толщ.

Ключевые слова: иерархическое морфогенетическое исследование; полевой пробоотбор; монолитные образцы; мезоморфология; микроморфология; сканирующая электронная микроскопия.

FROM MACRO TO MICRO AND BACK: HOW TO DEAL WITH STRUCTURAL ORGANIZATION OF SOILS AND SEDIMENTS

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

Successive stages and scales of hierarchical morphogenetic research: macro, meso and micro, are covered in brief. Methodological omission of any stage inevitably leads to a decrease in the reliability of the generated genetic hypotheses. The approach of monolith field sampling is argued for, and the procedure for profile and specific sampling of polygenetic loamy sections is considered.

Keywords: hierarchical morphological investigation; bulk field sampling; monolith soil sampling; mesomorphology; micromorphology; electron microscopy.

Иерархический подход к исследованию твёрдой фазы основан на принципе последовательного, системного и непрерывного продвижения по логарифмической шкале роста пространственного разрешения — от масштаба ландшафта и катены к молекулярному уровню организации вещества [1]. Основной объём информации при этом добывается на полевом этапе комплексного синтетического геологического,

геоморфологического и макроморфологического исследования. Все последующие этапы лишь дополняют знание о веществе, однако именно эта информация имеет определяющее значение при построении итоговой процессно-генетической и/или эволюционной модели [2, 3, 4]. Поэтому пропуск любого этапа в иерархическом ряду пространственного разрешения исследования значительно снижает степень достоверности гипотез.

Первый этап мезоморфологического изучения объёмной организации почвенного тела обязательно проводится в поле: исследуется пространственное взаиморасположение элементарных единиц строения почвенного тела в проекциях на плоские срезы различной ориентировки, а также природные поверхности педов и микроагрегатов при ручном разборе объёма с обязательной пошаговой фото-, схемо- и текстовой фиксацией [5, 6]. По его завершению осуществляется полевое опробование разрезов на серию “поточковых” анализов, требующих профильной визуализации: комплексный литологический и агрохимический. В разрезах с относительно однородным латеральным простиранием генетических горизонтов и пачек рыхлых отложений осуществляется стандартный интегральный отбор образцов с выбранным вертикальным шагом – т.н. профилирование: строго в пределах межтрещинной массы (МТМ) через каждые 5–10 см с учетом литологических границ и почвенных горизонтов по всей глубине. Дополнительно в верхних горизонтах, часто с более разреженным шагом, отбираются образцы внутритрещинной массы (ВТМ). При наличии более высоких порядков латеральной дифференциации вещества (например, посткриогенных клиньев или пластических деформаций, заполнений малых эрозионных форм, признаков дифференцированного склонового смещения вещества и т.п.) образцы МТМ могут добираться из дополнительных профилей или же точно из определенных участков строения: осевой части выполнений жил или врезов и их периферии, а также из приконтактно-измененной зоны вмещающих толщ. Иногда необходим и добор с горизонтальных срезов. Независимое опробование МТМ позволяет исследовать литологическую дифференциацию вещества, не завуалированную процессами почвообразования, и затем оценивать воздействие последних, сравнивая с данными по ВТМ.

Более специфичен отбор на разные виды датирования вещества, и многие из методик детально изложены в руководствах. Мы лишь кратко остановимся на принципах полевого опробования на определение радиоуглеродного возраста при работе с разрезами с относительно малым содержанием органического вещества (ОВ) в виде отдельных линз и прослоев, а также с погребёнными гумусовыми горизонтами почв либо отложениями, находящимися в зоне протекания процессов актуального

почвообразования. В таких условиях велика вероятность загрязнения целевой фракции ОВ как вмещающими, так и перекрывающими осадками, а также более молодым ОВ, поступающим в процессе наложенного почвообразования и тяжело отделяемого вручную (начиная с включений мелкого корневого полуразложившегося детрита до микроскопических гифов грибов и тонких фракций ОВ, перемещающихся вертикально и латерально с почвенным раствором). Важно до начала отбора образца детально разобраться со строением объекта и определить наиболее достоверные морфоны ОВ для разных задач, будь то ограничение времени отложения вмещающих пачек, оценка среднего времени пребывания самого ОВ или каких-то иных интересующих состояний системы. От этого будет зависеть выбор метода ^{14}C датирования: жидкостная сцинтилляция (ЖС) или ускорительная масс-спектрометрия (УМС), а соответственно, требуемый объём вещества и степень детализации отбора. В случае ЖС, как правило, отбирается прослой/линза целиком или её наименее преобразованный участок, а загрязнение посторонними включениями принимается допустимо малым. Во втором же случае (УМС), извлекаются препараты отдельных органогенных морфонов — тонкодисперсное ОВ, веточки, семена, углистые частицы и проч.

Достоверно разобраться в морфонах вещества, а тем более отобрать его с необходимой точностью для радиоуглеродного датирования методом УМС далеко не всегда удается в поле, поэтому для решения этих и иных мезо- и микроморфологических задач стоит отбирать образцы ненарушенного строения, или монолиты. Такие монолиты могут достигать по осям от первых до 20-50 см. Как правило, это кубоиды, вырезаемые как из вертикальных, так и горизонтальных сечений разреза. После определения участков, представляющих интерес для лабораторного исследования структуры и текстуры либо детального пробоотбора, на стенку или днище шурфа наносятся прямоугольные границы предполагаемых монолитов. Затем, отступив 4-12 см от каждой стороны, следует сделать ножом продольные дугообразные надрезы, направленные навстречу друг другу, и постепенно углублять их, выбирая грунт. Движения ножа вдоль подрезаемых стенок всегда должны быть направлены от их краев к центру. Подобная методика позволяет снизить сдвиговое напряжение на более хрупких углах и ребрах формируемого монолита при снятии давления окружающего грунта и сохранить его сплошность и структуру. Таким образом, по боковому периметру кубоида формируются полости ланцетовидной формы максимальной шириной в середине боковых граней (обычно от первых до 10-25 см в зависимости от размера самого монолита). При достижении желаемой глубины полостей (и будущего монолита) аккуратно срабатываются излишки грунта, образовавшиеся в его

вершинах, полностью освобождая все кроме тыловой грани блока от контакта с вмещающим грунтом. По возможности подрезается и часть контакта с задней стенкой по всему периметру. Особое внимание на финальном этапе подрезки следует уделить сочленениям вертикальных и горизонтальных рёбер монолита, примыкающих к задней стенке: все они должны принадлежать одной плоскости. Наиболее деликатен момент извлечения монолита, когда плоскости срезов подготовлены таким образом, что для отрыва блока грунта от задней стенки требуется приложить достаточно небольшое, пульсационно нарастающее давление с помощью рычага – лопаты, ножом с изгибающимся полотном, тонких металлических пластин. Тыльная грань может сохранять структуру природной отдельности при отламывании либо быть после изъятия срезана в плоскость как и остальные грани. На каждую плоскость извлечённого монолита острием ножа, зондом или скальпелем наносят метки: на боковых гранях – стрелки, указывающие направление вверх, на нижней — крест, и точка (малый обратный конус) — на верхней грани. Это помогает избежать распространённой ошибки — потери ориентировки при упаковке. Затем для герметизации естественной влажности монолит упаковывается в несколько слоев пластиковой пленки и плотно, внатяг обматывается скотчем. Причем вначале фиксируются крест на крест его ребра, а затем и грани, что позволяет безболезненно транспортировать монолит. Поверх маркером дублируются отметки о его ориентировке, а также фиксируется его название и положение во внутренней системе координат разреза [5].

Лабораторный этап работы с монолитными образцами организован подобно полевому: сначала подготавливаются и исследуются ортогональные сечения граней монолита в последовательных стадиях потери полевой влажности. При достижении воздушно-сухого состояния производится объемное исследование структурной организации с особым вниманием к стереометрии и характеру граней и ребер в иерархической системе поверхностей раздела — поверхностей педов разных порядков, магистральных плоских и трубчатых пор и т. п. Взаиморасположение всего пула выявленных и исследованных элементарных единиц строения позволяет выявить стадии формирования ансамбля современных и реликтовых почвенных, а также породных признаков [7, 8].

Другим важным преимуществом мезоморфологического этапа является возможность вдумчивого и существенно более качественного пробоотбора в лабораторных условиях, когда решение о целях последующего физико-химического, химико-аналитического и микроморфологического исследования, выборе методик и самой стратегии отбора (регулярный либо поморфонный) является значительно более информированным

по сравнению с полевым этапом. Особенно эффективной методикой здесь служит сплошной монолитный пробоотбор из разреза вертикальной колонкой. В этом случае в лаборатории есть возможность гибко подходить к изменению мощности, частоты шага и повторности отбора, созданию контрольной средней пробы. Достаточное количество материала позволяет производить параллельный отбор на анализы с различной пробоподготовкой с одних и тех же глубин, резерв вещества страхует от случайной потери данных.

Монолиты для микроморфологического изучения вещества вырезаются отдельно от колонки сплошного монолитного отбора согласно сюжетам, установленным на полевом этапе. Вопреки устоявшемуся мнению, что микроморфология – это световое оптическое исследование в препаратах тонких срезов (шлифах), основное микроморфологическое исследование основано на световой стереомикроскопии и электронной сканирующей микроскопии (СЭМ) природных поверхностей раздела и сломов внутрипедной массы в масштабном диапазоне $n \cdot 10^{-3}$ – $n \cdot 10^{-6}$ м. Методическая связка стерео- и сканирующей электронной микроскопии особенно эффективна для выявления “затёртых” признаков седименто- и педогенеза, когда в твердофазной памяти сохраняются только микропризнаки. Примером может служить обнаружение плоских поверхностей педов и их покровов с характерной плотной слоистой упаковкой глинистых кристаллов в морене, погребённой под 6 м толщиной аллювиальных, озёрных и склоновых осадков, что позволило установить факт самого раннего послеледникового почвообразования [9]. Отбор и подготовка тонких плоских срезов (шлифов) — лишь заключительная часть этапа, дополняющая уже полученный материал об объёмном взаиморасположении признаков на микроуровне деталями контактов фаз и их вещественного состава: минералогического и молекулярного — рамановская спектроскопия, и элементного — энерго-дисперсионный анализ при СЭМ. Препараты шлифов также определяются и отбираются после проведения полного мезоморфологического исследования.

Таким образом, мезоморфологический этап и масштабный уровень исследования является ключевым как при проверке гипотез, сформированных в поле, так и при корректировке последующего микроморфологического и физико-химического исследования твердой фазы.

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

Библиографические ссылки

1. Gerasimova M. I., Bronnikova M. A., Khitrov N. B., Shorkunov I. G. Hierarchical morphogenetic analysis of Kursk Chernozem // *Byulleten Pochvennogo instituta im. V.V. Dokuchaeva*. 2016. Vol. 86. Pp. 64–76. <https://doi.org/10.19047/0136-1694-2016-86-64-76>

2. Kust P., Makeev A., Lessovaya S., Milanovsky E., Rusakov A., Abrosimov K., Belyaev V., Ryazantsev P. Polygenetic features in Retisols formed in Moscow (Late Saalian) glacial till // *Catena*. 2022. № 214. P. 106245. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2022.106245>

3. Rusakov A., Nikonov A., Savelieva L., Simakova A., Sedov S., Maksimov F., Kuznetsov V., Savenko V., Starikova A., Korkka M., Titova D. Landscape evolution in the periglacial zone of Eastern Europe since MIS5: Proxies from paleosols and sediments of the Cheremoshnik key site (Upper Volga, Russia) // *Quaternary International*. 2015. Vol. 365. Pp. 26–41. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2014.09.029>

4. Valdai Periglacial Field Symposium Guidebook, 27–30 Aug 2023 [El. ed.]. M. : IGRAS. 2023. 160 p. <https://doi.org/10.15356/periglacial978-5-89658-071-3>

5. Таргульян В. О., Соколова Т. А., Биринина А. Г., Куликов А. В., Целищева Л. К. Организация, состав и генезис дерново-палеоподзолистой почвы на покровных суглинках // Генезис и география почв зарубежных стран по исследованиям советских географов : [Докл.] к X Междунар. конгрессу почвоведов в Москве : (1974 г.) / АН СССР, Ин-т географии. Москва : Наука, 1974.

6. Шоркунов И.Г. Моно- и полигенез сложно организованных ископаемых педолитокомплексов (на примере Северо-Западного Предкавказья, Среднерусской возвышенности и Центральной Мексики) : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата географических наук : специальности 25.00.23 Физическая география и биогеография, география почв и геохимия ландшафтов, 25.00.25 Геоморфология и эволюционная география. М. 2018. 28 с.

7. Shishkina Y., 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. № 7. Pp. 184–195. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2019.02.001>