

УДК 631.425.4

В. Н. КОНИЩЕВ, В. В. РОГОВ

МИКРОМОРФОЛОГИЯ КРИОГЕННЫХ ПОЧВ И ГРУНТОВ

При исследовании микроморфологии покровных суглинков Большеземельской тундры обнаружен ряд специфических черт — сортировка частиц песчано-пылевой фракции, изменение типов оптически ориентированных глин по профилю и др. Возникновение этих особенностей связывается с криогенными процессами в деятельном слое. В качестве доказательства приводятся экспериментальные данные об изменении микростроения пород при криогенных процессах.

Микроморфологические исследования почв и грунтов, начатые в прошлом столетии, в настоящее время получили широкое распространение. Микроморфологические методы развиваются как вследствие вовлечения в круг исследований все более разнообразных объектов верхней части земной коры, так и за счет новых методических подходов к изучаемым явлениям и использования новых приборов.

В настоящей статье приводятся данные о микростроении сезонно-мерзлых пород — лёссовидных покровных суглинков Большеземельской тундры, полученные при изучении шлифов талой и мерзлой породы под поляризационным микроскопом, а также образцов ненарушенного сложения на растровом электронном микроскопе. Помимо этого приводятся сведения о микроморфологии грунтов по данным различных экспериментов.

Покровные суглинки представлены обычно породами суглинистого, реже супесчаного состава, в них обнаруживается небольшое количество гальки, иногда небольших валунов. Особенность механического состава рассматриваемых пород заключается в высоком содержании пылевой фракции (до 90%). В пылевой фракции преобладает крупная пыль (0,05—0,01 мм), содержание которой обычно равно 40—60%. Покровные суглинки имеют своеобразное морфологическое строение; их цвет в верхней части разреза — палевоый или светло-коричневый, глубже (с 0,6—0,8 м) он меняется на палево-серый или светло-серый с сизоватым оттенком.

Покровные суглинки тонким пластом мощностью от 0,2—0,5 до 3,0—3,5 м (средняя мощность 1,5—1,8 м) залегают на разных по возрасту и происхождению геоморфологических уровнях. Подстилаются они разнообразными в возрастном, литологофациальном и генетическом отношении рыхлыми четвертичными породами. Наиболее типичные покровные образования находятся на водоразделах, холмах и грядах, сложенных ледниково-морскими валунными суглинками. Отсутствуют покровные образования на I террасе и пойме в долинах рек, в заболоченных водораздельных низинах, покрытых торфяниками, иногда на склонах.

Покровные суглинки — наиболее типичные грунты слоя сезонного промерзания — протаивания, их мощность обычно несколько меньше толщины деятельного слоя.

В отношении генезиса покровных суглинков Большеземельской тундры среди исследователей нет единого мнения. Ряд авторов считают их типично осадочными образованиями, причем одни относят их к флю-

виогляциальным отложениям, а другие рассматривают покровные суглинки как лагунно-озерные и собственно лагунные осадки [1, 7]. Широкое распространение среди исследователей получила гипотеза элювиально-мерзлотного происхождения этих пород [1, 3, 7].

Проведенные в последнее время детальные работы кафедры криолинологии и гляциологии географического факультета МГУ по изучению распространения, условий залегания, состава и строения покровных суглинков Большеземельской тундры позволяют сделать достаточно определенные выводы относительно их генезиса. Условия залегания, состав и строение покровных образований свидетельствуют об элювиальном их происхождении. Залегание покровных суглинков в слое сезонного промерзания — протаивания, сочетание их с полигональными структурами двух генераций, имеющих мерзлотное происхождение, показывают, что элювиальный процесс происходил в условиях холодного климата при активном участии мерзлотных факторов. Это позволило сделать вывод о том, что покровные суглинки Большеземельской тундры являются продуктом криоэлювиогенеза.

Для микроморфологических исследований покровных суглинков при помощи поляризационного микроскопа шлифы готовили по двум методикам. Первая из них, ставящая своей задачей изготовление шлифов из талых монолитов ненарушенного сложения, является обычной в почвенных микроморфологических исследованиях. Задача второй — приготовление шлифов непосредственно из монолитов мерзлой породы для выяснения степени участия в формировании микростроения породы периодически образующегося льда, а также для анализа его структуры и текстуры. Такая методика описана в ранее опубликованной работе [9].

Криогенная текстура покровных суглинков (распределение включений льда) неоднородная; в верхней части разреза, до 0,8 м, — массивная, ниже — слоистая, иногда линзовидная, расположение шлифов льда близко к горизонтальному. Распределение кристаллов льда по шлифу, как видно в поляризованном свете, цепочечное, т. е. кристаллы расположены один за другим в объеме прослойки. В нижней части разреза на глубине 1,5—1,8 м часто встречается базальная криогенная текстура, лед здесь разделяет округлые агрегаты породы размером до 10 мм в диаметре.

Исследование микростроения анализируемых отложений показало, что в пределах профиля изменяются микростроение оптически ориентированных глин и характер распределения обломочного материала.

В верхнем палеом горизонте отмечаются следующие типы дифференциации мелкого обломочного материала: скопления минеральных зерен, имеющие овальную или вытянутую форму; кольца, состоящие из обломков первичных материалов размером от 0,03 до 0,07 мм (рис. 1, а, б); внутри колец заключен алевритово-глинистый материал с размером частиц 0,005—0,01 мм; концентрация песчаных и крупноалевритовых зерен в порах и вдоль трещин. С глубиной эта дифференциация сглаживается, и в нижнем горизонте песчано-алевритовые зерна распределены среди глинистого материала довольно равномерно.

Сверху вниз по разрезу изменяется и микростроение глинистого вещества, что находит отражение в изменении размера чешуек агрегатов глин, их взаимного расположения, степени ориентации глинистого вещества и его дисперсности. До глубины 0,3 м наблюдается мелкочешуйчатое микростроение с беспорядочным расположением чешуек. Глубже их расположение становится взаимноперпендикулярным, возникает подобие сетчатого рисунка, размер чешуек увеличивается. Наибольшей величины они достигают в подстилающих валунных суглинках. Вниз по разрезу наблюдалось также появление кольцевого микростроения оптически ориентированной глины. Лучше всего оно было выражено на глу-

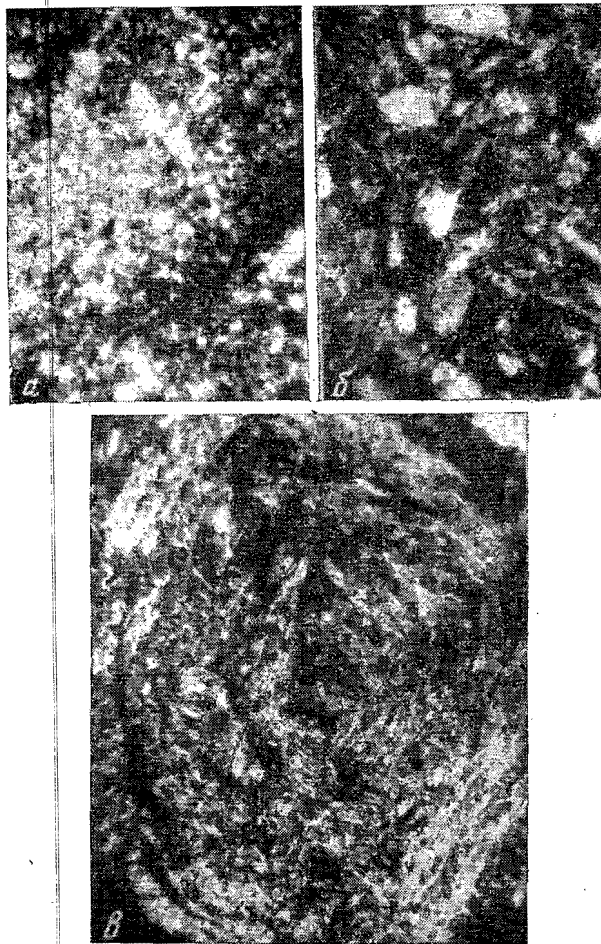


Рис. 1. Микростроение криогенных покровных суглинков

a — скопление песчано-пылевой фракции (глубина 0,3 м), 60X, ник. +; *б* — то же, кольца (глубина 0,5 м), 80X, ник. +; *в* — оптически ориентированная глина (глубина 1,6 м), 150X, ник. +

бине от 1,2 до 1,7 м, т. е. в нижнем горизонте покровных образований (рис. 1, *в*).

Таким образом, четкое крупночешуйчатое микростроение оптически ориентированной глины с взаимноперпендикулярным расположением чешуек, а также кольцевое микростроение наблюдались в нижней части профиля, соответствующей нижнему льдистому горизонту слоя сезонного промерзания — протаивания с повышенной влажностью и слоистой криогенной текстурой.

Наряду с исследованием микростроения в шлифах на поляризационном микроскопе проводился анализ образцов ненарушенного сложения на растровом электронном микроскопе. Такая методика еще мало распространена в почвоведении, поэтому ей следует уделить внимание.

В растровом электронном микроскопе пучок электронов в отличие от микроскопа просвечивающего типа движется (сканирует), последовательно проходя всю поверхность образца. Изображение поверхности образца создается на телевизионном экране путем усиления и преобразования сигналов вторичных электронов, «выбитых» из образца падающим пучком. Преимущество этого прибора состоит в том, что можно исследовать непосредственно сухой образец почти без предварительной

подготовки (в случае, если образец — диэлектрик, поверхность его напыляют металлом) и получать изображение большой глубины резкости (в 100 раз больше, чем в оптическом микроскопе) в большом диапазоне увеличений — от 20 до 100 000 раз с разрешением до 100 А.

Образцы покровных суглинков ненарушенного сложения высушивали в вакууме и затем напыляли серебром. Просмотр вели на микроскопе «Стереоскан S-4» при увеличениях от 20 до 6000 раз. Было обнаружено, что в верхней части разреза до глубины 0,3—0,4 м пылеватые и глинистые частицы располагаются беспорядочно; сложение рыхлое, частицы четко оконтурены, угловаты (рис. 2). Глубже крупные частицы



Рис. 2. Микростроение покровных суглинков на глубине 0,3 м, 500X, скан. микроскоп

концентрируются вдоль трещин, количество глинистого вещества увеличивается, появляются крупные агрегаты, сложение их более плотное. На глубине 0,8—1,5 м встречены кольцевые агрегаты глин, которые имеют наружный диаметр 0,05—0,5 мм, размер частиц, составляющих агрегаты, 0,001—0,002 мм; в центре кольцевых агрегатов обнаружены более мелкие частицы. Глубже характер строения образцов вновь изменяется — количество глинистых частиц уменьшается, агрегаты более рыхлые, кольцевое микростроение исчезает. Таковы изменения микростроения породы по профилю, обнаруженные при исследованиях различными микроскопическими методами. Авторами эти изменения связываются с мерзлотными процессами в деятельном слое, в который полностью входят покровные образования, что было сказано в ранее опубликованных работах [3, 4].

Для проверки этого предположения проведен ряд экспериментов с валунным суглинком из района Воркуты и с пылеватым суглинком из Подмосковья.

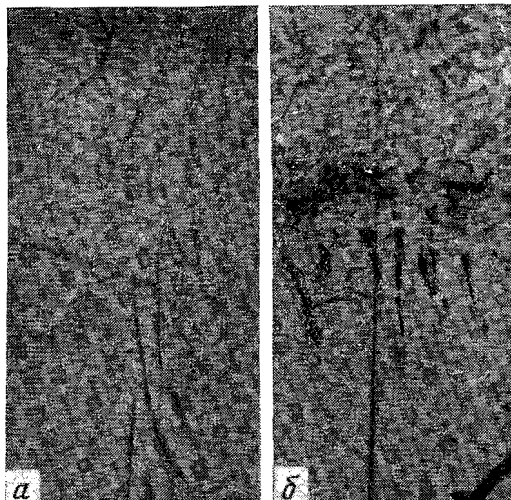
Растертые (для уничтожения первичной структуры) и просеянные через сито с диаметром отверстий 1 мм образцы увлажняли в диапазоне 20—30% и односторонне промораживали в специально сконструированном термоэлектрическом холодильнике, а затем оттаивали. Диапазон колебаний температур был таков: +5°—5°; +20°—20°; +20°—10°. Количество циклов составляло от 10 до 50. Затем исследовали микростроение экспериментальных образцов и сравнивали его с микростроением контрольных образцов, промерзавших только раз. В криогенном строении пород, испытавших неоднократное промерзание — протаивание, были обнаружены черты, аналогичные особенностям покровных суглинков. Наблюдалось образование слоистой и сетчатой текстуры в средней части образца и базальной текстуры — в нижней (рис. 3). Заметно было также изменение микроструктуры суглинка в таком состоянии — опытные образцы имели четкую орыхватость, контрольные были бесструктурными.

При анализе шлифов, изготовленных из пород, испытавших неоднократное промерзание — протаивание, были обнаружены особенности

микростроения, связанные с неравномерным распределением песчаных и пылеватых частиц, аналогичные тем, которые описаны выше для верхнего горизонта покровных суглинков. В шлифах наблюдались участки со скоплениями песчано-алевритовых частиц и участки, где мелкие песчаные и алевритовые частицы образовывали кольца диаметром 0,1—

Рис. 3. Изменение криогенной текстуры в результате 10-кратного промерзания—протаивания (ум. 2). Видные темные прослойки льда

а — до опыта; *б* — после опыта



0,3 мм (рис. 4, *а*, *б*). Частицы, образующие кольца, имеют размеры до 0,02—0,05 мм. Внутри колец располагаются однородная глинистая масса или обломки первичных минералов. Встречаются изолированные кольца и группы колец, соприкасающиеся друг с другом, но обе группы не распространены по всему полю шлифа.

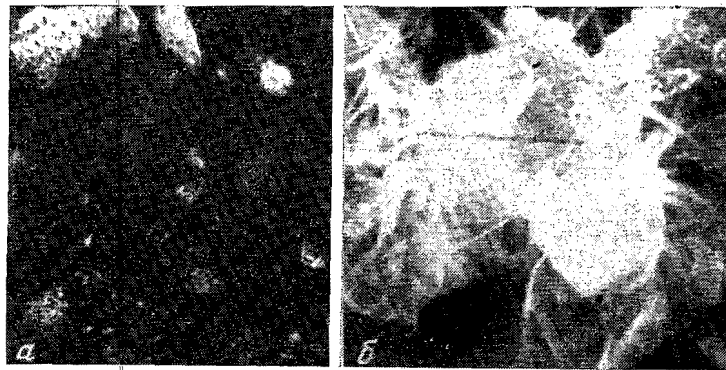


Рис. 4. Микростроение образца после многократного промерзания—протаивания

а — кольца песчано-пылеватых частиц (28-кратное промерзание — протаивание, 100X, ннк. +); *б* — агрегаты гидрослюды (50-кратное промерзание — протаивание, 2000X, скан. микроскоп)

В шлифах из суглинка, промерзшего один раз, крупные частицы располагаются довольно равномерно и не образуют подобного рисунка. По сравнению с этим суглинком в суглинке, испытавшем неоднократное промерзание — протаивание, частицы песка и крупной пыли отличаются большей трещиноватостью. Что касается микростроения глинистого вещества, то для суглинков, испытавших неоднократное промерзание — протаивание, было характерно чешуйчатое микростроение глины с хао-

тическим расположением чешуек. Из других видов строения оптически ориентированных глин наблюдается лишь тенденция к образованию кольцевой микроструктуры.

Таким образом, вряд ли можно сомневаться, что особенности микростроения покровных суглинков, связанные с сортировкой песчаных и крупных алевритовых частиц, возникают в результате промерзания — протаивания. Более сложной задачей является выяснение механизма образования подобных форм микростроения. Вероятно, образование скоплений частиц песчано-алевритового материала, а также перемещение их в поры и трещины связаны с миграцией воды к более холодным участкам породы (например, частицы близ трещины охлаждаются быстрее и сильнее, чем более удаленные), и этот процесс следует рассматривать как вымораживание частиц в более холодные зоны.

Более сложен и неясен генезис микростроения оптически ориентированных глин. Преобладание беспорядочной мелкочешуйчатой микроструктуры глин в верхней части разреза, очевидно, обязано быстрому промерзанию, которое препятствует ориентации чешуек агрегатов, а сами чешуйки приурочены к включениям образующегося в таких условиях льда-цемента порфирированного типа [8].

Обнаруженное ниже по профилю крупночешуйчатое строение оптически ориентированных глин с взаимноперпендикулярным расположением чешуек, а также кольцевое микростроение соответствует более глубокому льдистому горизонту слоя сезонного оттаивания с повышенной влажностью и слоистой криогенной текстурой. Образование этих типов связано, по-видимому, с более высоким содержанием частиц $< 0,001$ мм, высокой влажностью летом и большей льдистостью зимой, более медленным промерзанием и формированием микролинз льда-цемента слоистой, сетчатой и кольцевой микротекстур [8]. Механизм образования описываемого микростроения в настоящее время еще неясен. Вопрос этот осложняется тем, что глинистые минералы, входящие в состав оптически ориентированных глин, как показывают последние работы, в ходе криоэлювиогенеза в значительной степени диспергируются, разрушаются; в ряде случаев происходит их аморфизация [2, 6].

Микроскопическое изучение на растровом и просвечивающем электронных микроскопах образцов гидрослюд, монтмориллонита и каолинита, испытывавших 50-кратное промерзание — протаивание, показало следующее. Каолинит и монтмориллонит значительно диспергируются — размер частиц уменьшается почти на порядок. Гидрослюда частично аморфизуется, аморфные части скелета «склеивают» частицы, что приводит к увеличению размеров агрегатов, поверхность их покрывается кристаллическими формами железа (рис. 4, б). Рентгендифрактометрические анализы и анализы ИК-спектров подтверждают разрушение кристаллической решетки гидрослюды [5]. Эти процессы приводят к своеобразному составу фракции < 1 мкм в породах, что необходимо учитывать при исследовании пород деятельного слоя.

Таким образом, микроморфологические исследования убедительно показывают, что многократное промерзание — протаивание, рассматриваемое в криолитологии как фактор выветривания (криоэлювиогенез), приводит к значительному изменению состава и строения покровных образований, почв и почвообразующих пород.

Литература

1. Конищев В. Н. Покровные лёссовидные образования юго-восточной части Большеземельской тундры. В сб.: Проблемы палеогеографии и морфогенеза в полярных странах и высокогорье. Изд. МГУ, 1964.
2. Конищев В. Н. Криогенное выветривание. II междунар. конф. по мерзлотоведению. Докл. и сообщ., вып. 3. Якутск, 1973.

3. *Конищев В. Н., Фаустова М. А.* Микростроение покровных лёссовидных образований Большеземельской тундры. В кн.: Геология кайнозоя Севера Европейской части СССР. Изд. МГУ, 1968.
4. *Конищев В. Н., Фаустова М. А., Rogov В. В.* Отражение криогенных явлений в микростроении четвертичных отложений. В кн.: Микроморфология почв и рыхлых отложений. «Наука», 1973.
5. *Конищев В. Н., Шурина Г. Н.* Глинистые минералы в кайнозойских отложениях Яно-Индигирской низменности. В сб.: Проблемы криолитологии, вып. IV. Изд. МГУ, 1974.
6. *Конищев В. Н., Rogov В. В., Шурина Г. Н.* Влияние криогенных процессов на глинистые минералы. Вестн. МГУ. Сер. геогр., 1974, № 4.
7. *Попов А. И.* Покровные суглинки и полигональный рельеф Большеземельской тундры. В сб.: Вопросы географии мерзлых и перигляциальных областей. Изд. МГУ, 1962.
8. *Rogov В. В.* Микростроение мерзлых пород как индикатор их генезиса. Автореф. канд. дис., М., 1972.
9. *Rogov В. В.* К методике изучения микростроения мерзлых пород. Вестн. МГУ. Сер. геогр., 1971, № 4.

Географический факультет
МГУ

Дата поступления:
24.VII.1975 г.

V. N. KONISHCHEV, V. V. ROGOV

MICROMORPHOLOGY OF CRYOGENIC SOILS

Micromorphological studies of mantle loams of the Bolshezemelskaya tundra revealed several specific features: the assortment of sand-silty particles, the changes of optically oriented clays along the profile and others. The appearance of these features is due to cryogenic processes in the active layer. As an evidence experimental data on the changes in the microstructure of rocks during cryogenic processes are presented.
