

## ГЕНЕЗИС И ГЕОГРАФИЯ ПОЧВ

УДК 631.48

### ОБЩИЕ ПРИЗНАКИ В МЕРЗЛОТНЫХ И СЛИТЫХ ПОЧВАХ НА МАКРО- И МИКРОУРОВНЯХ

© 2022 г. И. В. Ковда\*

Почвенный институт им. В.В. Докучаева, Пыжевский пер., 7, стр. 2, Москва 119017 Россия

\*e-mail: ikovda@mail.ru

Поступила в редакцию 17.04.2022 г.

После доработки 02.06.2022 г.

Принята к публикации 15.06.2022 г.

Центральные образы и основные ареалы слитых почв (Вертисолей) и мерзлотных почв (Криосолей) сильно различаются. Однако в последние годы Вертисоли были обнаружены в области распространения многолетнемерзлых пород, а в некоторых палеопочвах отмечены признаки как палеокриогенеза, так и вертиковые свойства. В связи с этим изучение общих признаков и различий на разных уровнях организации Криосолей и Вертисолей становится актуальным. Формирование диагностических признаков Вертисолей и Криосолей обусловлено физическими процессами. Несмотря на разные механизмы этих процессов (усадка и набухание глинистых минералов, образование и таяние льда), они приводят к формированию ряда морфологически сходных признаков как на макро-, так и на мезо- и микроуровнях: микрорельеф, мозаичность профиля, волнистые и прерывистые генетические горизонты, трещиноватость, типы структур, микропризнаки. Поведен анализ, обобщение и систематизация литературных и собственных данных по морфологии Вертисолей и Криосолей на разных уровнях их структурной организации.

*Ключевые слова:* Vertisols, Cryosols, микроструктуры почвенного покрова, морфология почв, микростроение почв

**DOI:** 10.31857/S0032180X22100082

#### ВВЕДЕНИЕ

До недавнего времени сравнение мерзлотных почв, известных в мировой почвенной литературе как Криосоли (Cryosols), Гелисоли (Gelisol), Криоземы и др., и Вертисолей (Vertisols) не представлялось актуальной задачей в силу географической удаленности друг от друга и принципиально разных условий протекания процессов, формирующих их профиль и свойства.

Согласно WRB [28], Криосоли являются минеральными почвами, формирующимися в холодных климатических условиях при наличии мерзлоты и перманентно мерзлого горизонта крайик. Доминирующими почвенными процессами в большинстве Криосолей являются криогенные процессы (в российской классификации почв аналогами криосолей является ряд почвенных типов, относящихся к Криометаморфическому, Палео-метаморфическому и Криотурбированному отделам). В то время как Вертисоли – это глинистые почвы с высоким содержанием разбухающих глинистых минералов, распространенные преимущественно в тропическом и субтропическом климате с разнообразным водным режимом при выраженном чередовании сухого и

влажного периодов. Вертисоли имеют диагностический горизонт вертик, который определяется по наличию сликенсаидов и клиновидной структуры.

На картах глобального распределения почвенных порядков [46] основные ареалы Гелисолей (Криосолей) расположены на территории Аляски, северной части Канады и России, и лишь единично они встречаются в других, преимущественно высокогорных, регионах. Основные ареалы Вертисолей, напротив, расположены между 50° N и 45° S, и приурочены к Африке, Австралии, южной части Европы и Азии.

Однако, по мере накопления новых данных о географии Вертисолей выяснилось, что они могут встречаться и в условиях более холодного климата. Некоторые Вертисоли, как и Криосоли, также расположены в высокогорных территориях вплоть до высот 2000 м. Также накопились сведения о распространении Вертисолей в условиях умеренно-континентального климата в центральной и восточной Европе, Предкавказье [32]. Условия формирования Вертисолей были пересмотрены [20], а в Американской почвенной классификации [47] был выделен новый подпо-

рядок Вертисолей – Крайерты – Вертисоли, формирующиеся в условиях температурного режима крайик, то есть при среднегодовой температуре почвы менее 8°C, но при отсутствии многолетней мерзлоты. Исследования последующих десятилетий расширили географию холодных вертисолей с режимом крайик. Они были обнаружены вплоть до 54° N: в Китае до 47° N, в Канаде на уровне 43°–54° N, в центральной части Европейской территории России до 49°–53° N [15, 32].

Наши исследования в Бурятии показали возможность формирования Вертисолей и вертиковых почв даже в условиях ультраконтинентального климата (режим гелик) при среднегодовой температуре почв около –4°C и подстилании многолетней мерзлотой, которая, в конце августа находилась на глубине около 300 см [33, 34]. Особенностью таких Вертисолей является сочетание в них как вертиковых, так и криогенных признаков, которые могут иметь сходное морфологическое проявление. Кабала с соавт. [29] отмечали, что морфологическое сходство криогенных признаков с вертиковыми затрудняло диагностику вертисолей в Польше, поскольку на этих территориях широко распространены палеокриогенные признаки в виде диапир, трещин, конволюций и др.

В связи с возможностью сочетания в почвах одновременно и криогенных, и вертиковых признаков, актуальной становится задача выявления полного перечня подобных сходных признаков с описанием их морфологических особенностей для дифференциации и разделения вертикового или криогенного генезиса, а также анализ их взаимного влияния при совместном формировании. Эта задача актуальна как для районов современного распространения глинистых почв, в которых возможна актуальная реализация криогенных и вертиковых процессов, так и для регионов, в которых возможно последовательное развитие этих процессов (например, в условиях палеокриогенеза), а также для правильной интерпретации погребенных почв на основе палеорекоконструкций климата и палеогеографической обстановки. Такие плейстоценовые педокомплексы сочетающие признаки палеокриогенеза и вертиковые свойства уже известны во внеледниковой области Восточно-Европейской равнины и в Прикаспийской низменности [14, 37]. Многие современные Вертисоли расположены на территориях, находившихся ранее в перигляциальных условиях и сохраняющих отдельные реликтовые признаки (например, по данным Хитрова с соавт. [15] в Среднем Поволжье, на Окско-Донской низменности, Среднерусской возвышенности, в Польше [29], а, вероятно, и во многих других регионах центральной и восточной Европы, Восточно-европейской равнины, Сибири и др.).

Цель работы – выявление сходных морфологических проявлений вертиковых и криогенных процессов на разных уровнях организации почвенного пространства<sup>1</sup> – от микроструктур почвенного покрова до макро-, мезо- и микроуровней организации почв, то есть от комплексного почвенного покрова до почвенного профиля или горизонта, и в их микростроении при изучении в шлифах. Эта цель реализуется на основе анализа литературных данных и результатов собственных исследований.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Несмотря на обычно существенно различные условия почвообразования в Вертисолях и Криосолях общим для них является то, что формирование их диагностических признаков вызвано физическими процессами. В Криосолях физические изменения минеральной массы связаны с чередованием промерзания и оттаивания и переходом почвенной влаги из жидкого состояния в твердое. При этом замерзающая влага увеличивается в объеме, и почвенная масса подвергается избыточному давлению. В Вертисолях избыточное давление на почвенную массу создается после увлажнения почв и набухания минеральной массы. Особое значение придается трещинам, в которые может засыпаться поверхностный материал и поступает влага.

Поскольку морфологические характеристики почв являются результатом протекающих в них процессов, то первой задачей исследования было составление перечня сопоставимых процессов, связанных с последовательным увлажнением/иссушением Вертисолей и промерзанием/оттаиванием Криосолей. Перечень таких процессов для Криосолей взят из литературных источников [3, 8, 9, 53] и дополнен аналогами для Вертисолей (табл. 1).

**Морфологические признаки на макроуровне.** Сходные морфологические признаки на макроуровне можно разделить на поверхностные и внутрпочвенные. Первым общим поверхностным признаком является *растрескивание* поверхности почв. В Криосолях это морозобойное растрескивание или растрескивание иссушения, то есть возникновение трещин из-за сжатия грунта в процессе промерзания грунтов. Растрескивание и заложение сети полигональных трещин является причиной первичной дифференциации поверхности [2, 12]. Именно со сжатием грунта в процессе промерзания связано возникновение мелкобугристого рельефа, пятен-медальонов, мелких

<sup>1</sup> В данном случае термин употребляется “почвенное пространство”, так как он безразмерный и охватывает все уровни организации почв, включая почвенный покров.

**Таблица 1.** Перечень сопоставимых процессов в Криосолях и Вертисолях

Криосоли	Вертисоли
Криотурбации	Педотурбации, перемешивание
Морозное дробление, криогенное выветривание	Дробление, дезинтеграция, истирание частиц
Пучение, дилатансия (увеличение объема)	Выпучивание, набухание
Криогенные дислокации, обратное движение	Сдвиговые дислокации, подвижки
Инволюции, мерзлотные деформации	Деформации набухания
Морозное растрескивание, растрескивание усыхания	Растрескивание иссушения
Криогенное давление	Давление набухания
Криогенное структурообразование	Вертикальное структурообразование
Вымораживание, криогенная сортировка	Выдавливание, перераспределение крупнозема
Морозное мульчирование	Самомульчирование
Мерзлотная коагуляция	Коагуляция при иссушении

сортированных форм диаметром как менее метра, так и более крупных, а также полос [9, 24].

Вертисоли также характеризуются хорошо развитой системой трещин, этот признак часто используется в качестве одного из их диагностических признаков [27, 28, 48]. Трещиноватость присутствует в Вертисолях как при наличии, так и при отсутствии микрорельефа. Поверхность почв разбита на полигональные отдельности трещинами, ширина которых может достигать 10–15 см. Считается, что интенсивность трещинообразования возрастает с амплитудой изменения влажности [60], а также при низком проективном покрытии растительности [17].

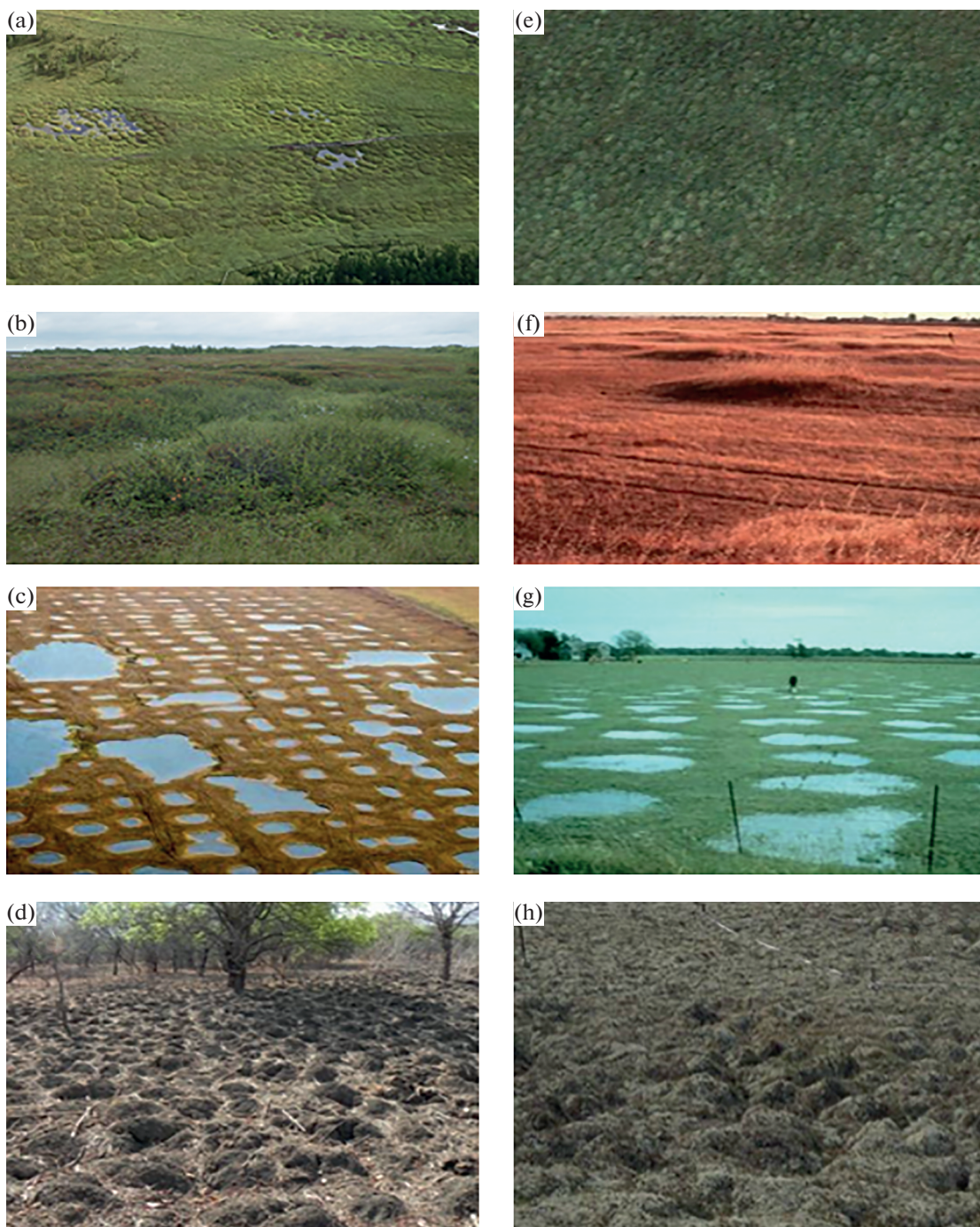
Другим общим поверхностным признаком является *микрорельеф*, который часто формируется как на Криосолях, так и на Вертисолях. При различном генезисе, в обоих случаях его размеры (вертикальная амплитуда и латеральная цикличность или длина волны), а также морфология достаточно разнообразны, тем не менее образуемые на Криосолях и Вертисолях формы микрорельефа весьма схожи. Сходство микрорельефа гильгай и криогенного микрорельефа и аналогия между ними отмечались и ранее [21, 56].

Несмотря на долгую историю изучения, происхождение гильгаев до сих пор имеет различные интерпретации [22]. В недавнем крупном аналитическом обобщении сведений о Вертисолях и микрорельефе гильгай [16] собрана обширная информация о разнообразии морфологии и классификации гильгаев, гипотезах их формирования, а также представлены авторские концепции по каждому из перечисленных вопросов. В общих чертах генезис микрорельефа гильгай связан с процессами усадки и набухания и приводит к формированию волнистой поверхности с регулярным чередованием повышений и понижений. Первая классификация гильгаев включала 6 основных видов: нормальные или округлые, волни-

стые или линейные, сетчатые, с преобладанием понижений, резервуарные и каменистые [25]. Вертикальная амплитуда при этом может меняться от нескольких сантиметров до 2 м, а длина волны от 2 до 60 м [16]. При принятии механизма усадки–набухания в качестве основного, существуют разные гипотезы формирования гильгаев, что позволяет предположить, существование в природе разных процессов, приводящих к образованию гильгаев, отличающихся по морфологии и условиям формирования.

Что касается криогенного рельефа по характеру фазовых переходов выделяют три основных класса: 1) криоаградационный при переходе воды в лед, 2) криодеградационный при переходе льда в воду и 3) смешанный криоаградационно-деградационный при периодической смене обоих фазовых переходов [1, 9]. Группы криогенного рельефа выделены по характеру ведущего криогенного рельефообразующего процесса и в каждом классе могут выделяться несколько из перечисленных групп криогенного рельефа: полигональный, пучинный, структурный, солифлюкционный, нивальный, курумный, термокарстовый, термоэрозионный и термоабразионный. Из разнообразия криогенного рельефа отметим те группы микрорельефа, морфология и размеры которого сопоставимы с гильгаями: (мелко)бугристый, бугристо-западинный, медальонный, микрогрядовый, каменистый, структурные грунты (полигоны).

Сопоставление микрорельефа гильгай с криогенным микрорельефом показало, что действительно, их внешняя морфология может быть весьма схожей, причем аналоги криогенного микрорельефа можно найти для каждого типа микрорельефа гильгай (рис. 1). Однако различия криогенного и вертикального генезиса проявляются при вскрытии почвенных разрезов во внутреннем строении почвенных профилей и горизонтов, что позволяет их дифференцировать. В част-

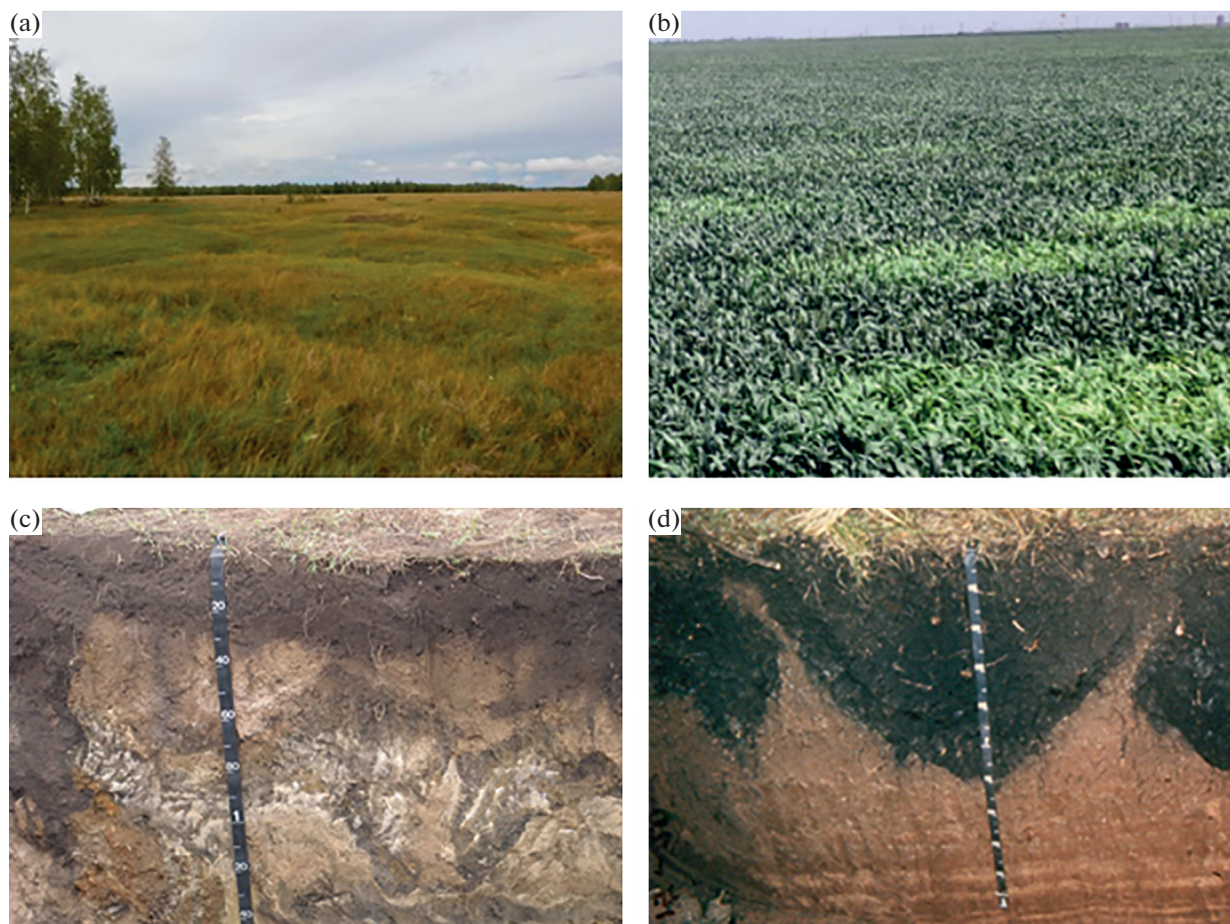


**Рис. 1.** Сопоставление различных морфологических форм микрорельефа: в Криосолях (а–d) и в Вертисолях(е–h) (фото f, g [23]; h [26]).

ности, минеральная масса под микрорельефом гильгай характеризуется обязательным наличием сликенсайдов. В то же время обращает внимание, поразительное сходство, как размеров, так и форм микрорельефа гильгай и криогенного микрорельефа, а также общие закономерности перехода одних морфологических форм микрорельефа в другие. Например, переход от округлых форм микрорельефа к вытянутым (линейным) при на-

растании уклона поверхности расположения микрорельефа отмечался как для гильгаев [43], так и для каменистых сортированных грунтов (полигонов) [31]. Вероятно, объяснение этому следует искать в общности процессов механики грунтов.

Внутрипочвенные признаки Вертисолей и Криосолей при наличии микрорельефа также могут иметь формальное сходство, которое выража-



**Рис. 2.** Комплексность растительного покрова на криогенных почвах Якутии (а) и Вертисолях Техаса (b); мозаичное строение криотурбированного бурозема (с), Бурятия и Вертисоли Техаса (фото Wesley L. Miller) (d).

ется в формировании *комплексности почвенного покрова* или почвенной пятнистости. Это явление широко известно для Вертисолей, в которых пространственная неоднородность может достигать высших таксономических уровней как при микрорельефе, так и при выровненной поверхности, но наличии комплексности внутрисочвенной цикличности в виде крупных чашеобразных структур, очерченных крупными сликенсайдами. Под каждым элементом микрорельефа гильгай (микрорытание, микросклон, микрозападина) почва имеет свои морфологические особенности и может различаться набором и выраженностью почвенных горизонтов, а сами горизонты могут быть разорваны и фрагментированы (рис. 2с, 2d), что будет более подробно обсуждаться в следующем разделе.

В ареалах распространения мерзлотных почв пятнистость и комплексность также имеют широкое распространение, включая трещинно-полигональные комплексы тундровых почв, почвы пятен и трещин и другие, связанные с мерзлотными и эрозионными процессами, а также перерас-

пределением влаги и изменением условий дренированности.

Поверхностный микрорельеф и внутрисочвенная пространственная неоднородность Вертисолей и Криосолей оказывают влияние на другие компоненты ландшафтов и затрудняют использование этих почв. Перераспределение атмосферного увлажнения и поверхностного стока приводят к формированию комплексного растительного покрова (рис. 2а, 2b). Морозное пучение Криосолей и пучение Вертисолей негативно сказываются на постройках и сооружениях, способствуя развитию трещин в стенах сооружений, наклону столбов, заборов и прочих конструкций, пучению асфальта.

**Морфологические признаки на мезоуровне.** Сходные морфологические признаки Криосолей и Вертисолей на уровне почвенного профиля и горизонта систематизированы в табл. 2. Рассмотрим подробнее их сходства и различия.

Выше отмечалась характерная пространственная неоднородность Вертисолей, особенно при наличии микрорельефа. Был предложен способ

**Таблица 2.** Общие признаки Вертисолей и Криосолей на уровне почвенного профиля и горизонта

Признак	Проявление в почве	
	Криосоль	Вертисоль
Мозаичность профиля	Цикличность, фрагментированность, интрузии, инволюции	Цикличность, фрагментированность, интрузии, инволюции
Трещины	Мерзлотное иссушение, ледяные клинья, языковатость, карманы	Иссушение, трещины усадки, гумусовые засыпки
Обогащение обломочным материалом, крупной или пылеватой фракцией	Скопления обломков на поверхности, зоны скопления крупнозема, пылеватые прослойки и кутаны	Каменистый гильгаи, сортировка крупнозема, выдавливание конкреций
Специфическая оструктуренность	Криогенная слоеватость, плитчатость, ореховатость, гранулированность	Клиновидность, параллелепипедные педы, ореховатость
Мульчированный слой	Мерзлотный мульчированный слой	Самомульчированный поверхностный горизонт
Глеиковые/стагниковые признаки	Внутрипочвенный горизонт надмерзлотного оглеения	Квазиглеевые срединные горизонты

описания Вертисолей в траншеях [58]: выделение и описание индивидуальных морфологических элементов (“полигонов”) на протяжении траншеи, их зарисовка с последующим отбором образцов из каждого полигона. Этот способ в принципиальных моментах сходен с детальным морфологическим анализом и выделением морфонов, предложенным Корнблумом [7] для мозаичных почв и опробованным им на слитых почвах, что позволяет отразить сложную пространственную организацию Вертисолей и проследить направления перемещения минеральной массы. Глубокопромерзающие почвы, на основании сложного строения и наличия разорванных или деформированных горизонтов, также были квалифицированы Корнблумом [7] как мозаичные. Недавно аналогичный подход был предложен в качестве методики полевого изучения Гелисолей (Криосолей) [44].

Мозаичность профиля Криосолей определяется криотурбациями, в частности, такими признаками, как интрузии, инволюции, криогенная сортировка, характеризующими в Мировой коррелятивной базе квалификатор Турбик [28]. Отмечается широкий набор криогенных дислокаций, сопровождающих криотурбации в виде струйчатых, складчатых, волнистых образований, нарушающих границы горизонтов и формирующих волнистые переходы [3].

В Вертисолях отмечаются аналогичные морфологические проявления, связанные с педотурбациями, вертикальными и латеральными подвижками, интрузиями нижележащего материала в пластичном состоянии, формирующими вертикальные или наклонные широкие клиновидные структуры или узкие внедрения (диапиры) с раз-

рывом нормальной последовательности горизонтов и формированием более или менее сложной пространственной организации морфонов (полигонов) (рис. 2с, 2d).

Помимо поверхностной полигональной системы трещин Вертисолям и Криосолям характерна внутрипочвенная *трещиноватость*. Морозобойное растрескивание Криосолей более выражено в почвах глинистого состава и проявляется в формировании грунтовых жил или языков, заполненных гумусированным материалом (рис. 2с, 3а). Заполнение трещин происходит в теплый сезон после оттаивания почв за счет сползания влажного поверхностного грунта. Согласно исследованиям морозобойных трещин современных мерзлотных почв в Забайкалье [4], такие гумусовые языки имеют резкие границы со вмещающей массой, достигают глубины 1.5 м, имеют клиновидную апофизную форму и вертикальную ориентировку. Ширина трещин в верхней части достигает 50–60 см, внизу они часто имеют бахромчатые окончания, связанные с повторным трещинообразованием рядом с предыдущим окончанием. Одновременно могут наблюдаться гумусовые языки нескольких генераций.

Любопытно, что при морозном растрескивании иссушения предполагается переориентация частиц, особенно глинистых, а также возможность расширения и углубления трещин усыхания под действием морозного растрескивания [24]. Это позволяет предполагать, что трещинообразование в Вертисолях ультраконтинентального климата может складываться из двух составляющих: иссушения и растрескивания Вертисолей в сухой период теплого времени года, а также морозобойного растрескивания и морозного иссушения в

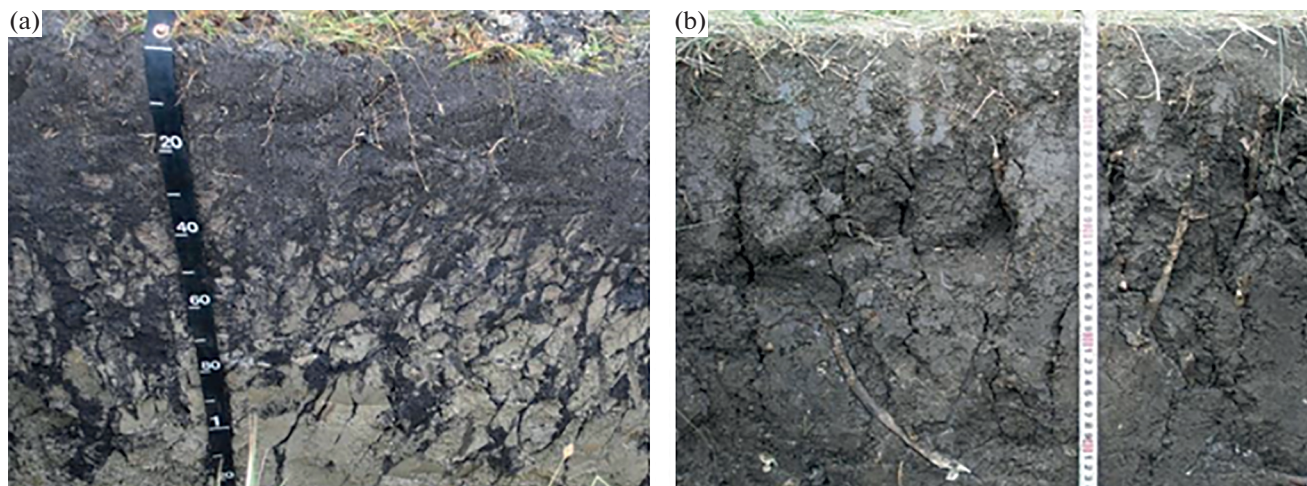


Рис. 3. Различия в морфологии трещин: а – криогенная языковатость в Черноземовидной языковатой надмерзлотно-глееватой почве, Бурятия; б – открытые веретенообразные трещины в Темной слитой почве, Ростовская обл.

зимний холодный период. Полагаем, что сочетание этих двух механизмов усиливает трещинообразование Вертисолей в ультраконтинентальном климате [33].

При изучении Вертисолей, внимание обращается на открытые трещины незаполненные материалом (рис. 3в). Их ширина на поверхности, продолжительность нахождения в открытом состоянии и периодичность открывания учтены в американской классификации почв [50]. Форма трещин клиновидная либо при густом растительном покрове – веретенообразная, то есть с максимальной шириной открытой трещины не в поверхностном, а в подповерхностном горизонте. В сухой сезон в трещины происходит засыпание поверхностной мульчи, что способствует гомогенизации и монотонности профиля [51]. Таким образом, принципиальное отличие при формировании трещин в Вертисолях и Криосолях состоит в том, что в зрелых гомогенных Вертисолях языковатость в результате засыпания гумусированного поверхностного материала в трещины становится менее заметной в почвенном профиле на мезоуровне. Возможно, это может быть индикатором и поможет в интерпретации палеопочвенных признаков и процессов в сложных случаях сочетания криогенеза и вертикальных признаков в палеопочвах. В то же время в случае изменения климатических условий на более аридные и, как следствие, проникновения трещин иссушения за пределы нижней границы гомогенного гумусированного горизонта, признаки языковатости возобновятся.

Мерзлотная (морозная) *сортировка* и вымораживание крупнозема проявляются в вертикальном и горизонтальном перемещении щебня и элементов скелета под действием промерзания и льда (рис. 4а). На мезоуровне это приводит к вер-

тикальной дифференциации содержания скелетного материала с увеличением доли скелетного материала вверху, формированию зон обогащения скелетным материалом, горизонтальному перераспределению щебня и элементов скелета, а также вертикальной ориентации щебня [3].

Вертисоли – глинистые почвы, в которых могут наблюдаться различные закономерности профилного распределения ила и физической глины в зависимости от литологических особенностей почвообразующих пород, а также сопутствующих почвенных процессов (солонцовый, элювиально-глеевый и др.), влияющих на изменение гранулометрического состава [16]. В отношении Вертисолей также выдвигались идеи о накоплении фракций песка и пыли за счет их выдавливания и переноса вверх [59, 45]. Такие предположения высказывались также в отношении карбонатных конкреций: сглаженная округлая форма, четкая оформленность нодулей и их резкая граница с вмещающей массой объяснялась “окатанностью” при локальном перемещении по профилю вследствие процессов усадки-набухания и педотурбаций [59]. В некоторых Вертисолях Австралии, Германии предположительно за счет педотурбаций и выдавливания отмечалось увеличение содержания гравия, щебня и каменистых включений в верхней части профиля и на поверхности почв (рис. 4в). Миллер с соавт. обнаружили концентрическое строение и закономерные изменения изотопных соотношений в слоях крупных (>2 см) карбонатных нодулей и объяснили это перемещением нодулей от западин к повышениям с сохранением в изотопной записи внутренних слоев исходных условий формирования в западинах [40].

О сходстве процесса *самомульчирования* в Вертисолях и Криосолях свидетельствует то, что первоначальное определение этого процесса предпола-



**Рис. 4.** Зоны обогащения и выдавливания крупнозема в мерзлотной слитой почве (а, показаны стрелками) и выдавливание карбонатных конкреций в Вертисоли (б, фото [23]).

гало “формирование поверхностного горизонта гранулированной структуры в почвах в результате процессов усадки/набухания или процессов промерзания/оттаивания” [49].

Механизм криогенного мульчирования связан с образованием линз льда. Формирование мелкокомковатых и зернистых агрегатов происходит в поверхностных горизонтах Криосолей с высоким содержанием грубых органических остатков и наиболее интенсивным образованием кристаллов и друз льда, как в районах многолетней мерзлоты, так и за ее пределами, обычно в почвах, испытывающих максимальное проявление циклов заморозания/оттаивания [55]. При сохранении стабильности режимов увлажнения, промерзания и протаивания, за счет ежегодного образования устойчивых форм выделений текстурного льда в одних и тех же зонах, зернистая криогенная структура может приобретать водопрочность и устойчивость [3].

Вертисоли в пределах верхних 5 см также могут иметь поверхностный горизонт, состоящий из мелких плотных агрегатов-гранул размером 3–5 мм, формирующихся в результате растрескивания и набухания [39]. Некоторые Вертисоли, в первую очередь солонцеватые или кислые, не имеют такого поверхностного горизонта, прямая корреляция между содержанием органического углерода и развитием мульчированного горизонта отсутствует. Отмечалась связь проявления самомульчирования с емкостью катионного обмена и составом обменных катионов [38], минералогиче-

ским составом и содержанием ила, количеством чередований процессов увлажнения/иссушения и их скоростью [18].

Помимо поверхностного горизонта гранулированная структура может формироваться в более глубоких горизонтах криогенных почв. Этому способствуют криотурбационные и особенно склоновые процессы, приводящие к вращению угловатых агрегатов и за счет этого, стиранию и закруглению острых граней и как результат формированию округлых (ооидов) и угловатых агрегатов [13, 54]. Подробнее криогенные ооиды и их аналоги в Вертисолях будут рассмотрены в разделе признаков на микроуровне.

Для криогенных почв, в первую очередь за счет выделений текстурообразующего льда при промерзании, а также за счет увеличения общего давления массы, меньшей скорости процессов оттаивания и увеличения структурообразующих органических или минеральных коллоидов с глубиной отмечается устойчивое увеличение размеров структурных отдельных частей, возрастает их прочность [3, 55]. В подповерхностных и срединных надмерзлотных горизонтах криогенных почв в результате сегрегации льда широко представлена плитчатая криогенная, ореховатая и призматическая оструктуренность. Толщина плитчатых агрегатов варьирует от нескольких миллиметров до сантиметров (листоватая, пластинчатая, плитчатая, сланцевая). При этом известно, что слоистая криогенная текстура формируется при медленном промерзании тонкодисперсных грунтов, а



миграция влаги к растущему горизонтальному шлиру льда и замерзание приводят к иссушению и усадке нижележащего прилегающего слоя. В свою очередь усадка способствует образованию вертикальных трещин [5].

В Вертисолях также формируется *специфическая оструктуренность*, связанная с процессами усадки/набухания, однако без воздействия льда. С глубиной в почвенном профиле, за счет увеличения количества сликенсайдов и разнообразия их ориентации, усиливается скошенность и клиновидность ореховатых и призматических педов. В горизонте максимального проявления этого признака формируется клиновидная структура, переходящая с глубиной в параллелепипедную, то есть в отдельности более крупного размера со скошенными боковыми гранями. Клиновидная структура, сформированная пересекающимися сликенсайдами является важнейшим диагностическим признаком Вертисолей.

В целом следует отметить, что в криогенных почвах и в Вертисолях происходит образование более или менее сходных агрегатов, что объясняется тем, что даже при криогенном механизме за счет формирования агрегированности под воздействием льда, непосредственную роль играет морозное иссушение и усадка минеральной массы и, как следствие, образование сходной трещиноватости. Однако в случае глинистых набухающих Вертисолей, на процессы усадки после увлажнения почв накладываются сдвиговые процессы, приводящие к формированию сликенсайдов и угловатости педов, тогда как в мерзлотных почвах подобные сдвиговые явления отсутствуют.

**Морфологические признаки на микроуровне.** Микропризнаки процессов растрескивания, дислокаций, турбаций, уплотнения и переорганизации массы, дробления, сортировки, агрегации и др., происходящие в Криосолях и Вертисолях, систематизированы в табл. 3. Эти признаки хорошо диагностируются на микроуровне, многие из них устойчивы, сохраняются в погребенных почвах и имеют сходное проявление при изучении в почвенных шлифах.

Сходство микропризнаков почвенных процессов в мерзлотных и вертикальных почвах, как и признаков на макро- и мезоуровнях, объясняется тем, что они образуются под действием чередующихся физических процессов давления и снятия напряжений. Промерзание мерзлотных почв приводит к иссушению межшлировых зон и сегрегации льда, а дальнейшее влияние на микропризнаки зависит от таких характеристик, как гранулометрический состав, содержание органического вещества и ила, параметров увлажнения и температурного режима, условий дренажа. Наиболее характерные криогенные микропризнаки — это плитчатые и линзовидные микроаг-

регаты, глинистые и пылеватые шапки и кутаны, микросортировка, приводящая к различным типам слоистого микростроения, вертикальная переориентация зерен скелета, признаки микродвигов, вокругскелетный и околопоровый типы оптической ориентации, гранулярные микроагрегаты (ооиды), формированию пор-трещин, вагов, пузырьковых и сложных звездчатых пор. Накопление действия промерзания, протаивания и солифлюкционных процессов приводит к уплотнению, смещениям и деформациям криогенных микропризнаков [54].

Практически такой же набор микропризнаков отмечался для Вертисолей. Поверхностная мульча или округлые (гранулированные) и комковатые микроагрегаты размером 2–5 мм формируются в поверхностном горизонте Вертисолей за счет повторяющихся циклов увлажнения и высыхания [19]. Давление и сдвиги проявляются в формировании пор-трещин и разнообразных стресс-кутан. На разных глубинах микромаасса характеризуется вокругскелетной, околопоровой, волокнистой, перекрестно-волокнистой, параллельно-волокнистой, струйчатой, изогнуто-петельчатой типами оптической ориентации [36]. Отмечалось формирование кутан вокруг скелетных зерен и перемещение зерен с кутанами вверх путем выталкивания [41]. Засыпание микроагрегатов в трещины приводит к формированию микророзональности [35].

Округлые микроагрегаты сферической и угловато-сферической формы, сходные с криогенными ооидами, отмечались в срединных горизонтах со сликенсайдами и глубже в средиземноморских вертисолях на различных почвообразующих породах в результате явления усадки и когезии [30]. В скрещенных николях агрегаты маркируются стресс-кутанами, образующимися под влиянием процессов усадки–набухания [42]. Мы наблюдали подобные агрегаты как в вертисолях Северного Кавказа [6], так и в криогенных почвах Бурятии [33, 34]).

Анализ информации о процессах, формирующих микростроение криогенных почв и вертисолей, подтвердил, что они приводят к формированию ряда сходных микропризнаков (рис. 5а–5ж). В Вертисолях ультраконтинентального климата Бурятии [33] обилие клиновидных микроагрегатов, обнаруженное нами в шлифах, вероятно, отражает развитие вертикальных признаков на благоприятном фоне, подготовленном предшествующим криогенным микрооструктурированием. При этом в Вертисолях умеренного климата в Предкавказье такие остроугольные клиновидные агрегаты не встречены. Вероятно, именно криогенной предрасположенностью к клиновидной микроагрегированности можно объяснить отмеченное нами в почвах криогенного слитого ком-

**Таблица 3.** Сходные микропризнаки основных почвенных процессов в Криосолях (по [3, 54] и Вертисолях [35, 36])

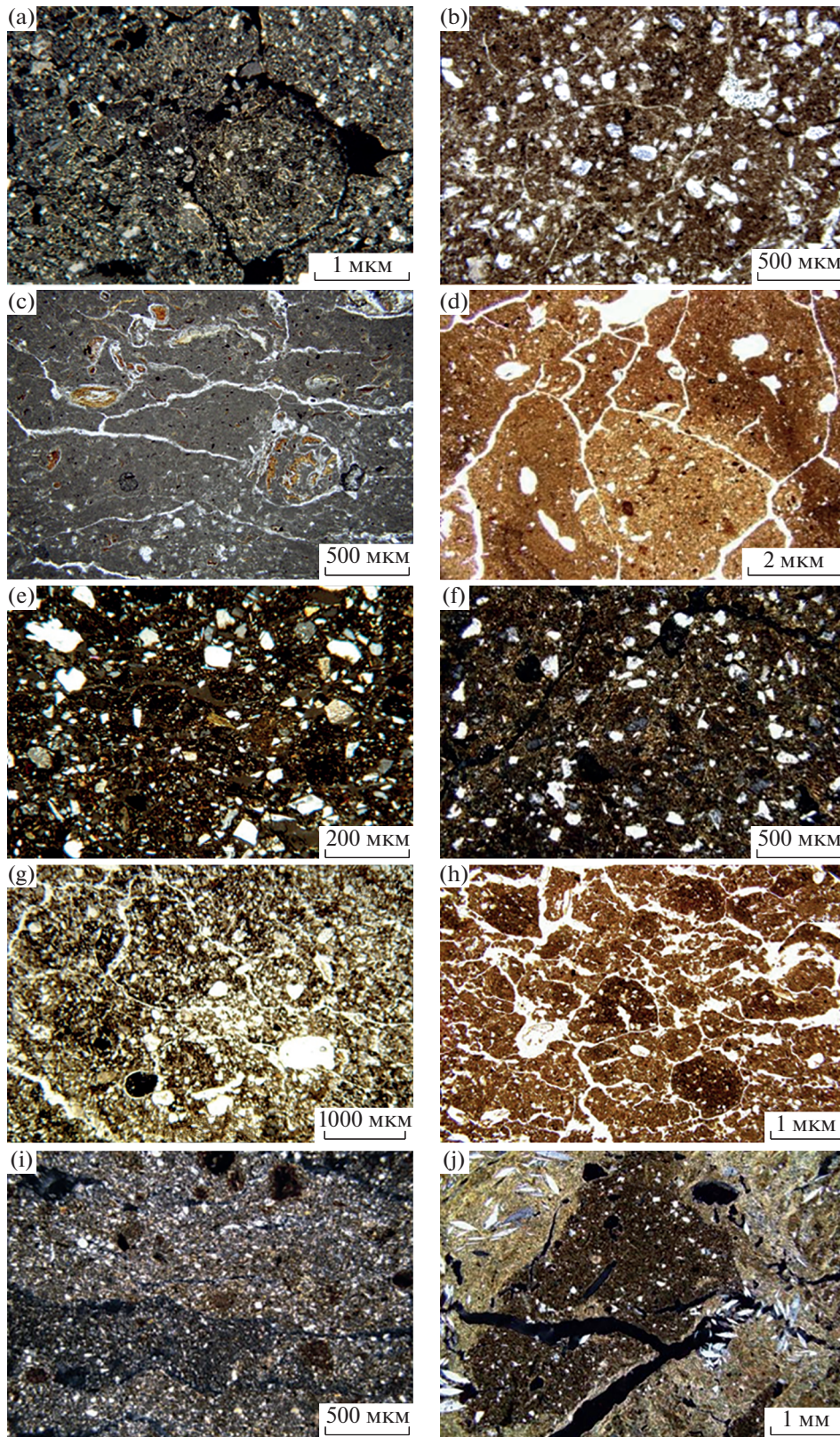
Криосоли		Вертисоли	
процесс	микропризнак	процесс	микропризнак
Криотурбации	Неоднородность строения материала, микроразнообразие по цвету, составу, микростроению	Педотурбации, перемешивание	Неоднородность строения материала, микроразнообразие по цвету, составу, микростроению на начальных стадиях; гомогенность в зрелой почве
Морозное дробление	Растрескивание и разрушение зерен и новообразований	Дробление, истирание частиц	Растрескивание и разрушение новообразований или агрегатов
Пучение, дилатансия (увеличение объема), криогенные дислокации, обратное движение, инволюции, мерзлотные деформации	Микросбросы; инфиллинги из материала вышележащих горизонтов; струйчатые, складчатые, волнистые нарушения; полосчатая ориентация	Выпучивание, набухание, сдвиговые деформации, подвижки, интрузии	Микроразнообразие состава и строения; волокнистая параллельная, наклонная ориентация; линейное распределение; изогнуто-петельчатый тип оптической ориентации
Морозное растрескивание	Поры-трещины	Растрескивание иссушения	Поры-трещины
Криогенное давление	Стресс-кутаны, микроструйчатые текстуры, плотное сложение	Давление набухания	Стресс-кутаны, сетчатый, струйчатый, околоторовый, вокругскелетный тип оптической ориентации; плотное сложение; массивная микроструктура
Криогенное структурообразование	Уплотненные (плитчатые, листоватые, линзовидные), угловато-блоковые, зернистые микроагрегаты	Вертикальное структурообразование	Угловато-блоковая, массивная микроструктура
Вымораживание, криогенная сортировка	Кольцевые, линейные, сетчатые формы распределения зерен скелета, скопления минеральных зерен	Выдавливание и сортировка крупнозема	Скопления минеральных зерен, новообразований, зоны обогащения
Морозное мульчирование	Угловато-блоковые и гранулированные микроагрегаты в верхних горизонтах	Самомульчирование	Зернистые и комковатые микроагрегаты в верхних горизонтах
Мерзлотная коагуляция, тиксотропия	Округлые микроагрегаты (ооиды) с кольцевой ориентацией минеральных частиц	Коагуляция при иссушении, тиксотропия	Округлые микроагрегаты-сфероиды (ооиды)

плекса в Бурятии более яркое проявление слитогенеза на микроуровне при его слабой выраженности на макроуровне [34].

Другой общий пример – тенденция к линейному распределению новообразований, в частности формирование криогенных кольцевых структур из зерен скелета в результате сортировки

песчаных частиц при циклических процессах промерзания и оттаивания и перемещения зерен на контактах с ледяными шпирями [10, 11]. Аналогичные кольцевые структуры из песчаных зерен обнаружены в Предкавказских Вертисолях, сформированных в условиях умеренно-континентального климата со среднегодовой температурой  $\sim 8.5^\circ\text{C}$ . Их формирование мы связываем с

**Рис. 5.** Сходство микропризнаков в криогенных и вертикальных почвах: округлые микроагрегаты типа ооидов в криогенной почве Бурятии, 130–135 см, NX (а) и Вертисоли Предкавказья, 100–105 см, NII (б); клиновидные криогенные микроагрегаты в корковом криогенном горизонте, Оренбургская область, NII (с) и Вертисоли Предкавказья, 5–10 см, NII (д); кольцевые структуры зерен скелета в криосоли Якутии, 0–10 см, NX (е) и Вертисоли Предкавказья, 60–65 см, NX (ф); включения округлых гумусированных микроагрегатов в криогенной почве Якутии, 20–30 см, NII (г) и Вертисоли Предкавказья, 3–8 см, NII (и); мозаичное микростроение с резкими границами деформированных микроагрегатов криометаморфического горизонта палеопочвы Западной Сибири, 90–100 см, NX (и) и Вертисоли Предкавказья, 60–65 см, NX (ж) (фото М.П. Лебедевой).



перераспределением песчаных зерен в ходе процессов усадки—набухания глинистого смектитового материала Вертисолей (рис. 5f).

Помимо образования округлых микроагрегатов-ооидов криогенные процессы промерзания—оттаивания способствуют формированию комплексных агрегатов (конгломератов), состоящих из дискретных фрагментов и округлых частиц, которые испытали перемещение и затем были окружены глинистыми частицами и объединены в единый агрегат [52]. Подобные комплексные агрегаты встречаются в Вертисолях жаркого и умеренного климата, а также ультраконтинентального климата, где их формирование могло усиливаться мерзлотными процессами.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В последние годы Вертисоли обнаружены в области распространения многолетнемерзлых пород, а в некоторых плейстоценовых палеопочвах отмечено сочетание признаков палеокриогенеза и вертикальных свойств. В связи с этим изучение общих признаков и различий на разных уровнях организации Криосолей и Вертисолей становится актуальным.

Несмотря на принципиальные различия внешних факторов формирования центральный образ и ряд диагностических признаков этих почв управляют физическими процессами деформаций.

Механизм деформаций различный: регулярно повторяющиеся циклы промерзания—оттаивания в Криосолях и циклы усадки—набухания в Вертисолях. Таким образом, организация пространства Криосолей и Вертисолей обусловлена водой, льдом и разбухающими глинистыми минералами (смектитами) соответственно. При этом результат процессов на различных уровнях структурной организации Вертисолей и Криосолей тяжелого гранулометрического состава имеет много общего. Это полигональная трещиноватость, микрорельеф, комплексность почвенного покрова на макроуровне; мозаичность профиля и фрагментарность горизонтов, трещиноватость, сильное варьирование глубин горизонтов, мульчированный поверхностный горизонт, неоднородность распределения крупнозема и включений, пучения и выдавливания материала, внутрпочвенное оглеение на мезоуровне профиля и горизонта. Особенно много общих признаков на микроуровне, которые проявляются в микроразнообразии массы, дроблении и переорганизации крупных частиц, формировании сходных типов оптической ориентации глины и формы микроагрегатов.

При этом безусловно присутствуют и специфические признаки, характерные только для определенного типа почв. В признаках Вертисолей и Криосолей имеются и различия, не связан-

ные с биоклиматически обусловленными органо-минеральными взаимодействиями. Характер трещиноватости, наличие/отсутствие сликенсаидов и особенности формирования почвенной структуры — важнейшие из них; это и позволяет в дальнейшем выработать четкие критерии, позволяющие выявлять криогенную или вертикальную природу свойств сложноорганизованных полигенетических современных и палеопочв.

### БЛАГОДАРНОСТЬ

Автор выражает глубокую благодарность С.В. Горячкину (Институт географии РАН) за инициирование и поддержку данной работы, ценные советы и обсуждение в ходе подготовки статьи, а также выражает искреннюю признательность Н.Б. Хитрову (Почвенный институт имени В.В. Докучаева) за полезные советы и комментарии при доработке статьи.

### ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Исследование выполнено в рамках темы НИР Почвенного института им. В.В. Докучаева АААА-А19-119081690029-4. Материалы по криогенным признакам почв Оренбургской области получены при финансовой поддержке РФФИ в рамках гранта № 20-05-00556.

### КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Втюрина Е.А.* Криогенное строение пород сезоннопротаивающего слоя. М.: Наука, 1974. 127 с.
2. *Гаранкина Е.В.* Эволюция криогенного микрорельефа низкогорий Субарктики // Криосфера Земли. 2013. Т. XVII. № 3. С. 3—16.
3. *Губин С.В.* Роль криогенеза в организации почв на макро-, мезо- и микроуровнях // Морфология почв: от макро- до субмикроуровня. Матер. Всес. конф. с межд. участием. 19—21 декабря 2016. М.: Почв. Ин-т им. В.В. Докучаева. 2016. С. 70—84.
4. *Гугалинская Л.А., Алифанов В.М.* Морфогенетический анализ профиля как основа реконструкции условий почвообразования (на примере мерзлотных почв Нерчинской котловины) // Почвоведение. 1979. № 6. С. 5—19.
5. *Достовалов Б.Н., Кудрявцев В.А.* Общее мерзлотоведение. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1967. 404 с.
6. *Ковда И.В., Моргунов Е.Г., Ярилова Е.А.* Микроморфологические черты полигенеза почв гильгаев // Генезис, география и эволюция почв. Науч. тр. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. М.: 1992. С. 115—125.
7. *Корнблюм Э.А.* Основные уровни морфологической организации почвенной массы // Почвоведение. 1975. № 9. С. 36—48.
8. *Макеев О.В.* Криология почв. М.: Изд-во РАН, 2019. 464 с.

9. *Мудров Ю.В.* Мерзлотные явления в криолитозоне равнин и гор. Основные понятия и определения. Иллюстрированный энциклопедический справочник. М.: Научный мир, 2007. 312 с.
10. *Пастухов А.В.* Микроморфологическое строение мерзлотных и длительно сезонно-промерзающих суглинистых почв Европейского Северо-востока // Известия Коми научного центра УрО РАН. Вып. 4(12). Сыктывкар, 2012. С. 30–39.
11. *Романенко К.А., Рогов В.В., Юдина А.В., Абросимов К.Н., Скворцова Е.Б., Курчатова А.Н.* Исследование микростроения мерзлых почв и дисперсных пород с помощью рентгеновской компьютерной томографии: методы, подходы, перспективы // Бюл. Почв. Ин-та им. В.В. Докучаева. 2016. Вып. 83. С. 103–117. <https://doi.org/10.19047/0136-1694-2016-83-103-117>
12. *Романовский Н.Н.* Основы криолитогеоза криосферы. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1993. 335 с.
13. *Русанова Г.В., Шахтарова О.В.* Структурная организация и профильная дифференциация веществ в автоморфных почвах юго-востока Большеземельской тундры // Вестн. Томского гос. ун-та. Биология. 2012. № 3(19). С. 18–32.
14. *Сычева С.А., Ковда И.В., Семенов В.В., Пушкина П.Р., Шоркунов И.В.* Почвенно-лесовая стратиграфия Среднерусской возвышенности (от Эоплейстоцена до голоцена) по данным изучения разреза Новопоселковский карьер (Курск) // VIII Всерос. Совещ. по изучению четвертичного периода “Фундаментальные проблемы квартера, итоги изучения и основные направления дальнейших исследований”. Ростов-на-Дону: Изд-во ЮНЦ РАН, 2013. С. 617–618.
15. *Хитров Н.Б., Роговнева Л.В.* Гранулометрический состав вертисолей и вертиковых почв России // Почвоведение. 2017. № 3. С. 329–344. <https://doi.org/10.7868/S0032180X17030066>
16. *Хитров Н.Б., Калинина Н.В., Роговнева Л.В., Рухович Д.И.* Слитоземы и слитизированные почвы России. М.: ИД Академии Жуковского, 2020. 640 с.
17. *Ahmad N.* Vertisols // Pedogenesis and Soil Taxonomy. II. The Soil Orders / Eds. Wilding L.P et al. Amsterdam: Elsevier, 1983. P. 91–123.
18. *Ahmad N.* Occurrence and distribution of vertisols // Vertisols and Technologies for Their Management. Amsterdam: Elsevier, 1996. V. 24. P. 1–41.
19. *Blokhuis W.A., Wilding L.P., Kooistra M.J.* Classification of vertic intergrades: macromorphological and micromorphological aspects // Characterization, classification and utilization of cold Aridisols and Vertisols. Proc. Sixth Int. Soil Correlation Meeting (ISCOM). Lincoln, 1990. 1991. P. 1–7.
20. *Comerma J.A., Williams D., Newman A.* Conceptual Changes in the classification of Vertisols // Vertisols: Their distribution, properties, classification and management. Technical Monograph No 18. TAMU, College Station, 1988. P. 41–54.
21. *Costin A.B.* A note on gilgaies and frost soils // J. Soil Sci. 1955. V. 6. P. 32–34.
22. *Dixon J.C.* Aridic soils, patterned ground, and desert pavements // Geomorphology of Desert Environments. Springer Scienca+Business Media B.V., 2009. P. 101–122. [https://doi.org/10.1007/978-1-4020-5719-9\\_5](https://doi.org/10.1007/978-1-4020-5719-9_5)
23. *Eswaran H., Beinroth F.H., Reich P.F., Quandt L.A.* Vertisols: their properties, classification, distribution and management. The Guy D. Smith memorial Slide Collection. USDA, 1999. CDROM.
24. *French H.M.* The Periglacial Environment. Wiley-Blackwell. 2018. 544 p.
25. *Hallsworth E.G., Robertson G.K., Gibbons F.R.* Studies in pedogenesis in New South Wales. VII. The “Gilgai” soils // J. Soil Sci. 1955. V. 6. № 1. P. 1–31.
26. <https://pt.wikipedia.org/wiki/Vertissolo>
27. *Isbell R.F.* National Committee on Soil and Terrain. The Australian soil classification. Melbourne: CSIRO Publ., 2021. 192 p.
28. IUSS Working Group WRB. World Reference Base for Soil Resources 2014, Update 2015, International Soil Classification System for Naming Soils and Creating Legends for Soil Maps, World Soil Resources Reports No 106 (UN Food and Agricultural Organization, Rome, 2015).
29. *Kabala C., Plonka T., Przekora A.* Vertic properties and gilgai-related subsurface features in soils of south-western Poland // Catena. 2015. V. 128. P. 95–107. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2015.01.025>
30. *Kapur S., Karaman C., Akça E., Aydina M., Dinc U., FitzPatrick E.A., Pagliai M., Kalmar D., Mermute A.R.* Similarities and differences of the spheroidal microstructure in Vertisols from Turkey and Israel // Catena. V. 28(3). P. 297–311. [https://doi.org/10.1016/S0341-8162\(96\)00044-6](https://doi.org/10.1016/S0341-8162(96)00044-6)
31. *Kessler M.A., Werner B.T.* Self-Organization of Sorted Patterned Ground // Science. 2003. V. 299(5605). P. 380–383. <https://doi.org/10.1126/science.1077309>
32. *Kovda I.V.* Vertisols: Extreme features and extreme environment // Geoderma Regional. 2020. V. 22. P. E00312. <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2020.e00312>
33. *Kovda I., Goryachkin S., Lebedeva M., Chizhikova N., Kulikov A., Badmaev N.* Vertic soils and Vertisols in cryogenic environments of Southern Siberia, Russia // Geoderma. 2017. V. 288. P. 184–195. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2016.11.008>
34. *Kovda I.V., Lebedeva M.P.* Modern and relict features in clayey cryogenic soil: morphological and micromorphological identification // SJSS. 2013. V. 3(3). P. 70–87. <https://doi.org/10.3232/SJSS.2013.V3.N3.01>
35. *Kovda I.V., Lebedeva M.P., Morgun E.G.* Central image of vertisols: evolution of concepts of their morphology and genesis // Dokuchaev Soil Bulletin. 2016. V. 86. P. 134–142. <https://doi.org/10.19047/0136-1694-2016-86-134-142>
36. *Kovda I., Mermut A.R.* Vertic features // Interpretation of micromorphological features of soils and regoliths / Eds. Stoops G. et al. Amsterdam: Elsevier, 2018. P. 604–632.
37. *Makeev A., Lebedeva M., Kaganova A., Rusakov A., Kust P., Romanis T., Yanina T., Kurbanov R.* Pedosedimentary environments in the Caspian Lowland during MIS5 (Srednaya Akhtuba reference section, Russia) // Quater. Int. V. 590. 2021. P. 164–180. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2021.03.015>

38. *McGarry D.* The structure and grain size distribution of Vertisols // *Vertisols and Technologies for their Management. Developments in Soil Science.* Amsterdam: Elsevier, 1996. V 24. P. 231–259.
39. *Mermut A.R., Dasog G.S., Dowuona G.N.* Soil morphology // *Vertisols and Technologies for their Management. Developments in Soil Science.* Amsterdam: Elsevier, 1996. V 24. P. 89–114.
40. *Miller D.L., Mora C.I., Driese S.G.* Isotopic variability in large carbonate nodules in Vertisols: Implications for climate and ecosystem assessments // *Geoderma.* 2007. V. 142(1). P. 104–111. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2007.08.007>
41. *Nettleton W.D., Sleeman J.R.* Micromorphology of Vertisols. // *Soil Micromorphology and Soil Classification.* Soil Sci. Soc. Am. Publ. 1985. № 15. P. 165–196.
42. *Özcan H., Aydemir S., Çullu M.A., Günal H., Eren M., Kadir S., Ekinci H., Everest T., Sungur A., FitzPatrick E.A.* Vertisols // *The Soils of Turkey* / Eds. Kapur S. et al. World Soils Book Series. 2018. P. 169–206. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-64392-2\\_11](https://doi.org/10.1007/978-3-319-64392-2_11)
43. *Paton T.R.* Origin and terminology for gilgai in Australia // *Geoderma.* 1974. V. 5. P. 221–242.
44. *Ping C.L., Clark M.H., Kimble J.M., Michaelson G.J., Shur Yu., Stiles C.A.* Sampling protocol for permafrost-affected soils // *Soil Horizons.* 2013. <https://doi.org/10.2136/sh12-09-0027>
45. *Schlichting E.* Clay accumulation in vertic subsoils by sand ejection? // *11th Int. Congr. Soil Sci.* Edmonton, 1978. V. 1. P. 270–271.
46. Soil Survey Staff. Illustrated guide to soil taxonomy. U.S. Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service, National Soil Survey Center, Lincoln, 2015. 681 p.
47. Soil Survey Staff. Keys to Soil Taxonomy. 6th edition. USDA. NRCS, 1994. 306 p
48. Soil Survey Staff. Keys to Soil Taxonomy. 12th edition. USDA. NRCS, 2014. 372 p.
49. Soil Survey Staff. Soil Classification – A Comprehensive System: 7th Approximation. Soil Conserv. Service, U.S. Dept. of Agriculture, Washington, D.C. U.S. Govern. Printing Office. 1960. 269 p.
50. Soil Survey Staff. Soil Taxonomy: A basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys. Agric. Handbook No. 436, USDA-NRCS, Washington, 1999. 869 p.
51. *Temga J.P., Azinwi T.P., Basga D.S., Zo'o Z.Ph., Gouban H., Abossolo M., Nguetnkam J.P., Bitom D.L.* Characteristics, classification and genesis of vertisols under seasonally contrasted climate in the lake Chad Basin, Central Africa // *J. African Earth Sci.* 2019. V. 150. P. 176–193. <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2018.11.003>
52. *Van Everdingen R.O.* Multi-language glossary of permafrost and related ground-ice terms. The Arctic Institute of North America, The University of Calgary, Calgary, Alberta, Canada T2N 1N4, 1998 (revised 2005). 159 p.
53. *Van Vliet-Lanoue B.* Frost and soils: implications for paleosols, paleoclimates and stratigraphy // *Catena.* 1998. V. 34. P. 157–183. [https://doi.org/10.1016/S0341-8162\(98\)00087-3](https://doi.org/10.1016/S0341-8162(98)00087-3)
54. *Van Vliet-Lanoue B., Fox C.A.* Frost action // *Interpretation of Micromorphological Features of Soils and Regoliths* / Eds. Stoops G. et al. Elsevier, 2018. P. 575–604.
55. *Van Vliet-Lanoue B., Fox C.A., Gubin S.V.* Micromorphology of Cryosols // *Cryosols. Permafrost-Affected Soils* / Ed. Kimble J. Berlin: Springer-Verlag, 2004. P. 365–390.
56. *White E.M.* Formation of Gilgai and Soil Wedges in South Dakota // *Soil Survey Horizons.* 1997. V. 38(1). P. 11–19.
57. *Wieder M., Yaalon D.H.* Effect of matrix composition on carbonate nodule crystallization // *Geoderma.* 1974. V. 11. P. 95–121
58. *Williams D., Cook T., Lynn W., Eswaran H.* Evaluating the field morphology of Vertisols // *Soil Survey Horizons.* 1996. V. 37. P. 123–130.
59. *Yaalon D.H., Kalmar D.* Vertical movement in an undisturbed soil: Continuous measurement of swelling and shrinkage with a sensitive apparatus // *Geoderma.* 1972. V. 8. P. 231–240.
60. *Young R.N., Warkentin B.P.* Introduction to Soil Behavior. N.Y.: McMillan Co., 1966. 451 p.

## Common Macro- and Microfeatures of Vertisols and Cryosols

I. V. Kovda\*

*Dokuchaev Soil Institute, Moscow, 119017 Russia*

*\*e-mail: ikovda@mail.ru*

The central images and main areas of Vertisols and Cryosols differ greatly. However, recently the Vertisols have been found in the permafrost area, and the signs of both paleocryogenic and vertic properties have been found in some paleosols. In this regard, the study of common and specific features at different levels of organization of Cryosols and Vertisols becomes relevant. The formation of diagnostic features of Vertisols and Cryosols is related to physical processes and deformations. Despite the different mechanisms of these physical processes (shrinkage and swelling of clay minerals, ice formation and melting), they lead to the formation of a number of morphologically similar features both at the macro and micro levels: microrelief, mosaic profile, wavy and discontinuous genetic horizons, cracking, specific aggregation, microfeatures. The article develops sporadic previous observations, analyzes, generalizes and systematizes the literature and personal data on the morphology of Vertisols and Cryosols at different levels of their structural organization.

*Keywords:* Vertisols, Cryosols, soil cover, soil morphology, microstructure