

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

имени М.В. ЛОМОНОСОВА

На правах рукописи

Конопляникова Юлия Викторовна

**Морфогенез криоаридных почв
Юго-Восточного Алтая**

Специальность 03.02.13 – Почвоведение

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени

кандидата биологических наук

Москва – 2021

Работа выполнена на кафедре географии почв факультета почвоведения МГУ имени М.В.Ломоносова и в отделе географии и эволюции почв Института географии РАН

- Научные руководители** – *Урусевская Инга Сергеевна, доктор биологических наук, профессор*
Бронникова Мария Артемовна, кандидат биологических наук
- Официальные оппоненты** – *Губин Станислав Викторович, доктор биологических наук, ФГБУН ФИЦ Пушчинский научный центр биологических исследований РАН, ИФХиБПП РАН, ведущий научный сотрудник, лаборатория криологии почв*
Гынинова Аюр Базаровна, доктор биологических наук, доцент, ФГБУН Институт общей и экспериментальной биологии СО РАН, ведущий научный сотрудник, лаборатория географии и экологии почв
Русаков Алексей Валентинович, доктор географических наук, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет», Институт наук о Земле, профессор с возложенными обязанностями заведующего кафедрой почвоведения и экологии почв

Защита диссертации состоится «28» декабря 2021 г. в 14:00 часов на заседании диссертационного совета МГУ.03.05 Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова по адресу: 119234, г. Москва, Ленинские горы, д. 1, корп. 12, ауд. М-2.
E-mail: natalia_kovaleva@mail.ru.

С диссертацией можно ознакомиться в отделе диссертаций научной библиотеки МГУ имени М.В. Ломоносова (Ломоносовский просп., д. 27) и на сайте ИАС «ИСТИНА»:
<http://istina.msu.ru/dissertations/263750426/>

Автореферат разослан «15» ноября 2021 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
доктор биологических наук



Н.О. Ковалева

Актуальность работы. Обширные территории гор Южной Сибири в условиях экстраконтинентального аридного-семиаридного климата в горных котловинах и на склонах южной экспозиции заняты криоксерофитными степями. В. И. Волковинцер (1978) обосновал выделение нового типа степных криоаридных почв, отличного от каштановых почв более теплых и менее континентальных сухих степей. В «Классификацию и диагностику почв России» (2004) криоаридные почвы вошли в составе отдела палео-метаморфических почв, но к настоящему моменту остаются одним из наименее изученных типов почв. Открытыми остаются многие вопросы морфогенеза как криоаридных почв в целом, так и морфологии и генезиса их генетических горизонтов и отдельных характерных почвенных признаков. Отсутствуют работы по микроморфологическому строению данных почв, единичные исследования (Пустовойтов, Таргульян, 1996; Pustovoytov, 1998) посвящены детальной характеристике кутан на щебне, которые являются одним из диагностических признаков и важнейшим источником информации о генезисе и эволюции криоаридных почв. Знание особенностей строения криоаридных почв позволит понимать специфику процессов, протекающих в холодном аридно-семиаридном ультраконтинентальном климате в почвах под степной растительностью на щебнистых субстратах.

Цель работы — выявить морфогенетические особенности криоаридных почв Юго-Восточного Алтая и их вариативность в ландшафтно-высотном ряду.

Задачи работы:

1. Выполнить иерархический морфо-субстантивный анализ криоаридных почв Юго-Восточного Алтая для трех ключевых профилей криоаридных почв ландшафтно-высотного ряда нарастающей аридности.
2. Выявить морфогенетические особенности, общие для исследуемых криоаридных почв и специфические – для каждого из членов ландшафтно-высотного ряда.
3. Детально исследовать состав и организацию кутанного комплекса как ключевого блока памяти криоаридных почв об эволюционных этапах педогенеза.
4. Реконструировать этапы голоценового педогенеза для исследуемых криоаридных почв Юго-Восточного Алтая.

Объектами исследования являются криоаридные почвы Юго-Восточного Алтая, составляющие ландшафтно-высотный ряд нарастающей аридности (2400 м н.у.м. – криоксерофитные степи с участием альпийской флоры, 2230 м н.у.м. – криоксерофитные

степи, 1900 м н.у.м. – опустыненные криоксерофитные степи). **Предмет исследования** – морфология и генезис этих почв.

Методологическую основу работы составляет концепция иерархического морфогенетического исследования почвенного тела, основанная на детальном изучении морфологических и аналитических признаков последовательно на макро-, мезо-, микро- и субмикроуровне организации. Такой подход способствует более полному выделению признаков и их дифференциации по положению в почвенном теле и по времени формирования. Эффективность и информативность такого подхода показана в трудах отечественных и зарубежных исследователей: С. А. Захарова, R. Brewer, G. Stoops, В. О. Таргульяна, Б. Г. Розанова, Т. В. Турсиной, М. И. Герасимовой, И. С. Урусевской, Г. В. Добровольского, С. А. Шобы, К. Е. Пустовойтова, М. А. Бронниковой, С. А. Иноземцева, И. Г. Шоркунова и других. Ранее разработанные исследовательские подходы к описанию элементов строения почв на разных иерархических уровнях организации, а также подходы к интерпретации наблюдаемых признаков с позиции концепций элементарных почвенных процессов (Герасимов, 1976; Розанов, 1983; Элементарные..., 1992), памяти почв (Таргульян, Соколов, 1978; Yaalon, 1983; Таргульян, 2008; Таргульян, 2019) и эволюции почв (Роде, 1947; Таргульян, 1982; Самойлова, Толчельников, 1991; Соколов, 2004; Александровский, Александровская, 2005) легли в основу и применялись на всех этапах работы.

Научная новизна работы. Разработана новая целостная концепция морфогенеза криоаридных почв. Впервые описано микростроение, уточнена специфика криогумусового горизонта, детально исследовано строение и состав палевых пленок на зернах скелета в палео-метаморфическом горизонте криоаридных почв. Впервые изучен вклад криогенеза в формирование признаков криоаридных почв, ведущие современные и палео-процессы в профиле, вариативность строения криоаридных почв котловин Юго-Восточного Алтая в ландшафтно-высотно-климатическом ряду. Показана полигенетичность сложного генетически единого кутанного комплекса криоаридных почв, выделены основные этапы их голоценового педогенеза для Юго-Восточного Алтая.

Теоретическая и практическая значимость. Материалы работы могут быть использованы в учебных курсах по географии, морфологии и генезису почв; при разработке диагностики типа криоаридных почв, его подтипового деления, и критериев их разделения с родственными типами (палевыми, каштановыми, бурыми) почв

в Классификации почв России (2004). Разработки по исследованию кутан криоаридных почв как блока почвенной памяти могут быть использованы для реконструкций голоценовых изменений природной среды Юго-Восточного Алтая, а также для других почв и регионов, где встречаются такие кутаны. Материалы работы могут применяться для развития концепции экстремального педогенеза (Горячкин, Мергелов, Таргульян, 2019) для дополнения представлений о специфике клима- и лито- экстремальных почв с недостатком ресурсов тепла, влаги и мелкозема.

Апробация работы. Основные положения работы были доложены и обсуждались на заседании кафедры географии почв факультета почвоведения МГУ имени М.В. Ломоносова, на заседании отдела географии и эволюции почв Института Географии РАН, а также на конференциях: «Современные методы исследований почв и почвенного покрова» (Москва, 2015), VII съезд Общества почвоведов им. В.В. Докучаева (Белгород, 2016), «Морфология почв: от макро- до субмикроуровня» (Москва, 2016), международная молодежная школа-конференция «Меридиан» (Курская биосферная станция, Россия, 2015, 2016, 2017), VII International Conference on Cryopedology «Cryosols in perspective: a view from the permafrost heartland» (Якутск, 2017), XXI Докучаевские молодежные чтения "Почвоведение - мост между науками" (Санкт-Петербург, 2018), «Practical Geography and XXI Century Challenges» International Geographical Union Thematic Conference dedicated to the Centennial of the Institute of Geography of the Russian Academy of Sciences (Москва, 2018), XVIII Всероссийское совещание по почвенной зоологии памяти Беллы Рафаиловны Стригановой (Москва, 2018), Всероссийская научная конференция «Геохронология четвертичного периода: инструментальные методы датирования новейших отложений», посвященная 90-летию со дня рождения Л. Д. Сулержицкого (Москва, 2019)

Публикации. По теме диссертации опубликована 21 работа, в том числе 4 статьи в журналах баз данных Scopus, Web of Science, RSCI и 17 тезисов докладов и статей в сборниках.

Структура и объём диссертации. диссертация состоит из введения, 6 глав, выводов, заключения, списка литературы, включающего 158 источников, в том числе 54 на английском языке, 7 приложений. Содержательная часть диссертации изложена на 182 страницах, иллюстрирована 15 таблицами, 30 рисунками, общий объём диссертации с приложениями составляет 239 страниц.

Защищаемые положения:

1) Крαιοаридные почвы обособляются от родственных им каштановых и палевых почв спецификой криогумусового горизонта, наличием многокомпонентного по морфологии и составу кутанного комплекса, криогенные признаки в них развиты лучше, чем в каштановых, но слабее, чем в палевых почвах.

2) Специфика криогумусового горизонта крαιοаридных почв определяется дефицитом тепла и влаги, ведущим к замедленной гумификации органического вещества и накоплению мелкого слаборазложившегося корневого детрита, а также сочетанием криогенных и биогенных процессов, участвующих в реорганизации почвенной массы.

3) Крαιοаридные почвы полигенетичны: в верхней части профиля признаки соответствуют текущей факторной обстановке, в средней и нижней части профиля современные признаки сочетаются с реликтовыми признаками миграции и аккумуляции карбонатов и гумуса.

Личный вклад автора. Автор участвовал в экспедициях Института Географии РАН на Юго-Восточном Алтае в 2014–2018 гг., где им лично был собран материал по диссертации, обработанный на лабораторном этапе. Автором лично выполнены комплексный иерархический морфогенетический анализ крαιοаридных почв (микростроение исследованных крαιοаридных почв, мезо-, микро-, субмикроморфологическое строение их кутанного комплекса), а также пробоподготовка образцов к дополнительным исследованиям, обработка и интерпретация их результатов.

Благодарности. Автор выражает глубокую благодарность научным руководителям И. С. Урусевской и М. А. Бронниковой за неоценимую помощь при подготовке работы, М. П. Лебедевой, М. И. Герасимовой, Э. П. Зазовской, Т. В. Прокофьевой, А. Р. Агатовой, С. В. Горячкину, Н. С. Мергелову, К. Е. Пустовойтову – за важные консультации и поддержку, всем сотрудникам кафедры географии почв факультета почвоведения МГУ и отдела географии и эволюции почв ИГ РАН за плодотворное обсуждение работы на заседаниях, сотрудникам химической лаборатории ИГ РАН за исследования основных аналитических характеристик почв, А. А. Рахлеевой за определения мезофауны, А. В. Корсакову за определение состава пород, М. В. Бочарникову за описание флористического разнообразия, Б. А. Борисову и О. Е. Ефимову за определения содержания легкоразлагаемого органического вещества, Dr. A. Cherkinsky и центру изотопных исследований Университета Джорджии

за радиоуглеродное датирование, Dr. Carsten W. Müller за проведенную вторично-ионную масс-спектрометрию в Техническом университете Мюнхена, В.А. Шишкову за помощь в освоении и использовании растрового электронного микроскопа, Е. А. Гурковой, В. А. Голубцову, А.Л. Энтину, Г. И. Черноусенко, И. В. Туровой, Р. К. Непопу, Г. Л. Алфимову, И. Г. Шоркунову, Г. А. Боделукову за помощь и поддержку на экспедиционном этапе работ, своему первому научному руководителю В.О. Таргульяну за заложенный вектор мышления и любовь к генетическому почвоведению.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Глава 1. Проблемы морфогенеза криоаридных почв

В главе 1 на основе литературных данных описывается история изучения (Носин, 1963; Ковалев, 1973; Быстряков, Кулинская, 1980; Уфимцева, 1981; Максимович, Ногина, 1984; Еловская, 1987; Быстряков, 1988 и др.) и обоснование выделения типа криоаридных почв, обособления их от каштановых (Волковинцер, 1969, 1978, 1979). Дается определение типа, рассматривается ареал и современное классификационное положение криоаридных почв (Классификация..., 2004). Обсуждаются элементарные почвенные процессы (Быстряков, Кулинская, 1980; Соколов и др, 1982; Быстряков, 1988; Пустовойтов, 1993; Черняховский, 1995; Пустовойтов, Таргульян, 1996; Черняховский, Градусов, Наумов, 1997) и этапы эволюции криоаридных почв (Наумов, Андреева, 1963; Волковинцер, 1978; Быстряков, Кулинская, 1980; Быстряков, 1988; Пустовойтов, Таргульян, 1996). Рассмотрены вопросы морфологии и генезиса горизонтов криоаридных почв и отдельных почвенных признаков (Петров, 1952; Носин, 1963; Морозова, 1966; Волковинцер, 1969, 1978, 1979; Соколов, Быстряков и др., 1982; Быстряков, Кулинская, 1980; Козицкая, Разживин, 1985; Быстряков, 1988; Пустовойтов, 1993; Гончарова, 1997; Десяткин и др, 2011; Панкова, Ямнова, 2019). Показывается, что дискуссионными остаются вопросы ключевых признаков и элементарных почвенных процессов в профиле криоаридных почв, генетического положения и родства криоаридных почв с другими типами. Необходимо уточнить вопрос о наличии и степени выраженности криогенных признаков в профиле, более детально изучить специфику криогумусового горизонта АК, количественно выразить описанное ранее на качественном уровне обилие растительных остатков, а также установить состав, строение и процесс формирования палевых плёнок в горизонте ВРЛ и разных типов кутан в профиле почв, выявить возможную вариативность строения профиля криоаридных почв в разных ландшафтно-

климатических условиях. Последнее необходимо для разработки их подтипового деления и имеет прогностическое значение для исследований эволюции криоаридных почв при различных сценариях климатических изменений. Современные представления о морфогенетической специфике типа криоаридных почв нуждаются в существенных дополнениях, решению этих вопросов посвящена данная работа.

Глава 2. Слоистые кутаны как блок памяти криоаридных почв

Во главе 2 рассматриваются кутаны на щебне как носитель педогенетической информации, рассмотрены вопросы строения и формирования гумусовых, силикатных, карбонатных и опаловых кутан на щебне. К настоящему времени показана информативность изучения многослойных кутан на обломках пород для понимания генезиса почв и условий среды (Chadwick, 1989; Courty, 1994; Пустовойтов, 1993; Пустовойтов, Таргульян, 1996; Golubtsov et al, 2021). Однако до сих пор нет единства в представлениях о генезисе многослойных карбонатных кутан: первичном источнике, процессах (иллювиирование, гидрогенная аккумуляция) и механизмах формирования (испарение (Gile, 1966; Machette, 1985; Chadwick et al, 1988; Blank, Fosberg, 1990; Pustovoitov, 2003; Brock, Buck, 2005; Robins et al, 2012; Zamanian et al, 2016), промораживание (Swett, 1974; Vogt, 1991, Vogt et al, 1996; Courty, 1994; Голубцов, Черкашина, 2014), связи морфологии кальцита в кутанах с условиями их формирования. Поэтому вопросы строения, генезиса и реконструкций условий среды по карбонатным кутанам требуют дальнейших исследований. Открытым остается вопрос и о генезисе других кутан криоаридных почв: силикатных, опаловых, гумусовых. Применительно к криоаридным почвам работы по морфосубстантивному исследованию многослойных кутан пока единичны (Пустовойтов, 1993; Пустовойтов, Таргульян, 1996; Голубцов, Черкашина, Бронникова, 2021), что обуславливает необходимость продолжение исследования данной темы, перспективной для понимания генезиса слабоизученных криоаридных почв.

Глава 3. Объекты и методы исследования

Географическое положение объектов исследования. Факторы почвообразования. Для котловин Юго-Восточного Алтая характерен экстраконтинентальный холодный аридный климат с коротким безморозным периодом, большими годовыми и суточными амплитудами температур. Среднегодовая температура -6°C , годовая сумма осадков порядка 110 мм, максимум осадков приходится на июль, безморозный период составляет

60 дней и менее. Доминирующие материнские породы для криоаридных почв – супесчано-легкосуглинистые скелетные пролювиальные отложения конусов выноса (20–90 % обломочного материала). Характерна жесткая высотно-экспозиционная зависимость растительного и почвенного покровов. Многолетнемерзлые породы располагаются в дренированных позициях на глубине более 3 м.

Из 39 профилей криоаридных почв гор Южной Сибири, включая 14 на Юго-Восточном Алтае, исследованных в рамках экспедиций Института Географии РАН, для детального морфогенетического исследования были выбраны эталонные профили криоаридных почв, отражающие разнообразие ландшафтно-климатических условий и закономерности распространения почв степей на Юго-Восточном Алтае, согласно полевым и литературным данным (Ковалев, Волковинцер, Хмелев, 1973). Криоаридные почвы Юго-Восточного Алтая изучены на примере трех разрезов, составляющих ландшафтно-высотный ряд нарастающей аридности: высокогорная криоксерофитная степь с существенной долей элементов альпийской флоры в верховьях р. Чуи (Богуты) (49°45,828' с. ш., 89°27,247' в. д., 2400 м над уровнем моря), высокогорная криоксерофитная степь тундрово-степных ландшафтов малой внутригорной котловины озера Ак-Холь (50°16,282' с. ш., 89°35,722' в. д., 2230 м н.у.м), опустыненная криоксерофитная степь Чуйской межгорной котловины (50°03,944' с. ш., 88°29,061' в. д., 1900 м н.у.м.). Разрез Бог-12 (наименее аридный член ряда) располагается на поверхности размытого моренного бокового вала, общее проективное покрытие – 80 %. Надземная живая биомасса – 154,35 г/м², мертвая биомасса – 14,90 г/м². Разрез Ак-8 заложен на базовой поверхности котловины, представляющей собой древнюю озерную террасу, осложненную конусом выноса, проективное покрытие – 50 %, надземная живая биомасса – 41,45 г/м², «мертвая» биомасса – 31,95 г/м². Разрез Ка-1 заложен на поверхности древней озерной террасы, осложненной конусом выноса, поверхность (70 %) выстлана щебнем с пустынным загаром, проективное покрытие очень низкое – около 20 %; надземная живая биомасса – 20,36 г/м², мертвая биомасса практически отсутствует. Для всех объектов характерен криогенный микрорельеф (полигональная трещиноватость), несвязный скелетный материал на поверхности, в наиболее аридном объекте наблюдаются элементы пустынной мостовой.

Методы исследования. Основу работы составляет иерархический морфогенетический анализ почв. На полевом этапе выполнены: литолого-геоморфологическая

характеристика участков, геоботанические описания, отбор проб на мезофауну, детальные макроморфологические описания почвенных профилей с отдельным вниманием к кутанному комплексу (типизация, профильное распределение, полуколичественная оценка встречаемости морфотипов в каждом из горизонтов рассмотренных профилей). Лабораторные мезоморфологическое исследование отобранных ненарушенных образцов кутан и почвы производили с помощью оптического бинокулярного микроскопа Leica MZ6 в отраженном свете, рабочие увеличения от $\times 6$ до $\times 80$. Микроморфологическое исследование строения мелкозема и кутан на щебне вели в тонких шлифах, изготовленных из ненарушенных образцов, пропитанных полиэфирными смолами, с помощью поляризационного микроскопа Nikon E200 Pol, рабочие увеличения – $\times 40$, $\times 100$, $\times 400$. Субмикроморфологические данные и данные микроанализа элементного состава получены при помощи растрового электронного микроскопа JEOL JSM-6610LV, снабженного анализатором элементного состава Oxford INCA Energy. Также состав микрослоев кутан определялся в эталонном образце с помощью вторично-ионной масспектрометрии. Исследования гранулометрического анализа мелкозема выполняли пирофосфатным методом; анализ содержания карбонатов – методом алкалометрического титрования, определение рН водной и солевой суспензии почв – потенциометрическим методом. Содержание органического углерода определялось методом Тюрина в модификации Никитина с фотометрическим окончанием, а также при помощи CHN-анализатора Vario Isotope cube фирмы Elementar методом поточной масс-спектрометрии после пиролиза пробы при температуре 1500 °С. Для определения содержания легкоразлагаемого органического вещества (ЛОВ) фракция ЛОВ выделялась фракционированием в тяжелой жидкости плотностью 1,8 г/см³, с последующей повторной флотацией в тяжелой жидкости плотностью 1,6 г/см³. (Ганжара, Борисов и др., 2002).

Общая характеристика строения профилей исследованных почв. Исследованные почвы (рисунок 1) имеют характерное для типа криоаридных почв строение профиля: АК-ВРL-ВСА-С. Криогумусовый горизонт АК характеризуется бурой окраской, плохо оформленной непрочной комковато-порошистой структурой. Важной чертой является обилие слабо разложенного растительного детрита. Палево-метаморфический горизонт характеризуется плохо оформленной блочной структурой буровато-палевой, палевой окраской. Верхняя часть горизонта ВСА во всех разрезах характеризуется содержанием

большого количества отмершего корневого войлока. Все аккумулятивно-карбонатные горизонты содержат карбонаты как в основной массе (в виде пропиточных форм и осколков кутан), так и в виде кутан на щебне. Во всех разрезах верхняя часть профиля до глубины 40–50 см сложена существенно менее скелетными отложениями, вероятно, с участием эолового материала, в средней и нижней части профиля доля крупнозема возрастает до 70–90 % и более. Петрографический состав скелетной фракции характеризуется доминированием песчаников для разреза в долине реки Богуты, доминированием гранитов, гнейсов, гранито-гнейсов для котловины озера Ак-Холь, в Чуйской котловине наиболее представлены габброиды. Только в профиле самого аридного члена ряда отложения содержат существенные количества литогенных карбонатов.



Рисунок 1 – Строение профилей криоаридных почв ландшафтно-высотного ряда нарастающей аридности.

Аналитические свойства исследованных почв. Исследованные криоаридные почвы имеют легкосуглинистый гранулометрический состав в верхней части профиля, супесчано-песчаный – в нижней. АК и BPL горизонты наименее аридного и среднего членов ряда (Бог-12 и Ак-8) бескарбонатны и имеют слабокислую (pH 5,6–6,5) реакцию среды, для нижней части этих профилей характерен сильнощелочной pH. Наиболее аридный объект (Ка-1) карбонатен с поверхности и имеет сильнощелочную (pH от 8,9 до 9,7) реакцию среды во всех горизонтах. В криоаридных почвах максимум (10–35 %) содержания карбонатов в средней части профиля. Содержание органического углерода в горизонте АК составляет 1–5 %, в нижней части профиля 0,3–0,15 %. В наименее аридном и среднем членах ряда среди обменных оснований преобладает обменный Ca, в наиболее аридном – обменные Mg и Ca; содержание оксалат-растворимого железа

незначительно (менее 1 %), убывает к нижней части профиля. Содержание дитионит-цитраторастворимого железа убывает от 1,5–2 % в верхней части профиля до 0,3–1 % в нижней. По классификации почв России все исследованные почвы являются криоаридными. Согласно WRB (World Reference Base..., 2015) исследованные профили классифицированы как Skeletic Kastanozem (Cambic) (Бог-12), Skeletic Cambisols (Protocalcic) (АК-8), Skeletic Cambic Calcisol (Yermic) (КА-1), то есть относятся к трем разным реферативным группам.

Глава 4. Морфогенетический анализ криоаридных почв

4.1. Горизонт АК (криогумусовый). Криогумусовый горизонт характеризуется бурой окраской (10YR3/3, в случае наиболее аридного объекта – 10YR5/4), обилием слабо-средне разложенного растительного детрита, преимущественно корневого (рисунок 2, а, г, д, ж), наличием красновато-бурых гумусовых кутан на щебне, непрочной комковато-порошистой макроструктурой (рисунок 2, б). Для криогумусового горизонта характерно наличие большого количества хорошо выраженных биогенных зернистых микроагрегатов размером 25–50 мкм (рисунок 2, г-II, д-II, е-I), присутствие более крупных слабооформленных криогенных ооидных агрегатов размером около 250 мкм (рисунок 2, в-II, г-III, д-III, ж-II). Песчаные и гравелистые зерна наряду с гумусовыми могут быть покрыты пылевато-глинистыми кутанами (рисунок 2, д-V). Такие кутаны наблюдаются, в том числе, на слабо разложенных растительных остатках – яркое свидетельство современности процесса криогенной перегруппировки материала (рисунок 2, ж-I). В менее аридных членах ряда (Бог-14, АК-8) в верхней части горизонта развита дернина. В наименее аридном объекте в микроструктуре присутствуют наиболее крупные комковатые агрегаты, (рис. 2д-I) 500-1000 мкм, каналовидные поры и поры-камеры. Ооидные агрегаты здесь оформлены лучше, чем в других членах ряда. В самом аридном объекте (Ка-1) горизонт АК не задернован, в его верхней части выражен подгоризонт акI: недифференцированная тонкослоисто-пузырчатая корка с округлыми (газовыми) порами (рисунок 2, в). Карбонаты в этом профиле, в отличие от двух других, имеющих бескарбонатные горизонты АК и ВРL, присутствуют с поверхности, также здесь максимально выражено ожелезнение растительных остатков, наблюдается также их окарбоначивание (замещение органического вещества кальцитом) (рисунок 2, з-I). Характерные формы карбонатов: пропитки (рисунок 2, в), карбонатные кутаны на минеральных зернах (рисунок 2, з-II), осколки карбонатных кутан (рисунок 2, в-III).

Характерное для криогумусового горизонта обилие слабо разложенного растительного детрита, обсуждалось еще в работах В.И. Волковинцера. В настоящей работе впервые предпринята попытка более детально исследовать этот феномен и выразить эту характеристику количественно через оценку доли легкоразлагаемого органического вещества (ЛОВ). Полученные данные показали, что ЛОВ составляет 3–5% от массы горизонта, что примерно в 6 раз превышает содержание этой фракции органического вещества в европейских каштановых почвах (0,7 %) (Борисов, Ганжара, 2008). Выделенные фракции ЛОВ представляют собой слабо- и среднеразложенные мелкие растительные остатки (рисунок 2, *а*), фракция 0,2–0,5 мм составляет 40 % от массы детрита, также обильна фракция 0,1–0,2 мм (около 20 %). Обилие растительных остатков такой мелкой размерности может быть связано с криогенным дроблением (Van Vliet-Lanoë, Catherine, 2018)

4.2. Горизонт ВРЛ (палео-метаморфический). Горизонт ВРЛ на макроуровне характеризуется палевой (буровато-желтой) окраской (2,5Y 6/3 в наиболее аридном и 10YR5/4 в среднем и наименее аридном членах ряда), непрочной призмовидно-блочной-ореховато-порошистой плохо оформленной структурой, наличием глинисто-пылеватых кутан на минеральных зернах (рисунок 3, *е*). На микроморфологическом уровне его специфическими чертами являются обилие глинисто-пылеватых кутан на минеральных зернах (рисунок 3, *а, б, в, г, д-1*), наличие слабо- и средне-разложенных растительных остатков и зернистых микроагрегатов. Во всех ВРЛ горизонтах в большей или меньшей степени выражена криогенная ооидная микроструктура, но только в наименее аридном и наиболее тяжелом по гранулометрическому составу объекте она выражена четко: материал собран в хорошо оформленные округлые пылевато-глинистые криогенные микроагрегаты с довольно резкими границами, иногда с включением крупных песчаных минеральных зерен (рисунок 3, *а, б*). Исследования шлифов в отраженном свете показывают, что весь материал горизонта ожелезнен (мелкозем пропитан дисперсными оксидами железа), в некоторых скелетных зернах соединения железа располагаются по трещинам внутри зерна (рисунок 3, *д*). Проведенные микро- и субмикроморфологические исследования кутан на зернах гравия, песка и поверхностях агрегатов показали, что, как правило, эти пленки небогаты железом: в их рентгеновских спектрах обнаруживается железо, в количествах, близких к его содержанию в силикатной фазе (рисунок 3, *д, е, ж, з*), скопления соединений железа на зернах скелета наблюдаются редко и точечно.

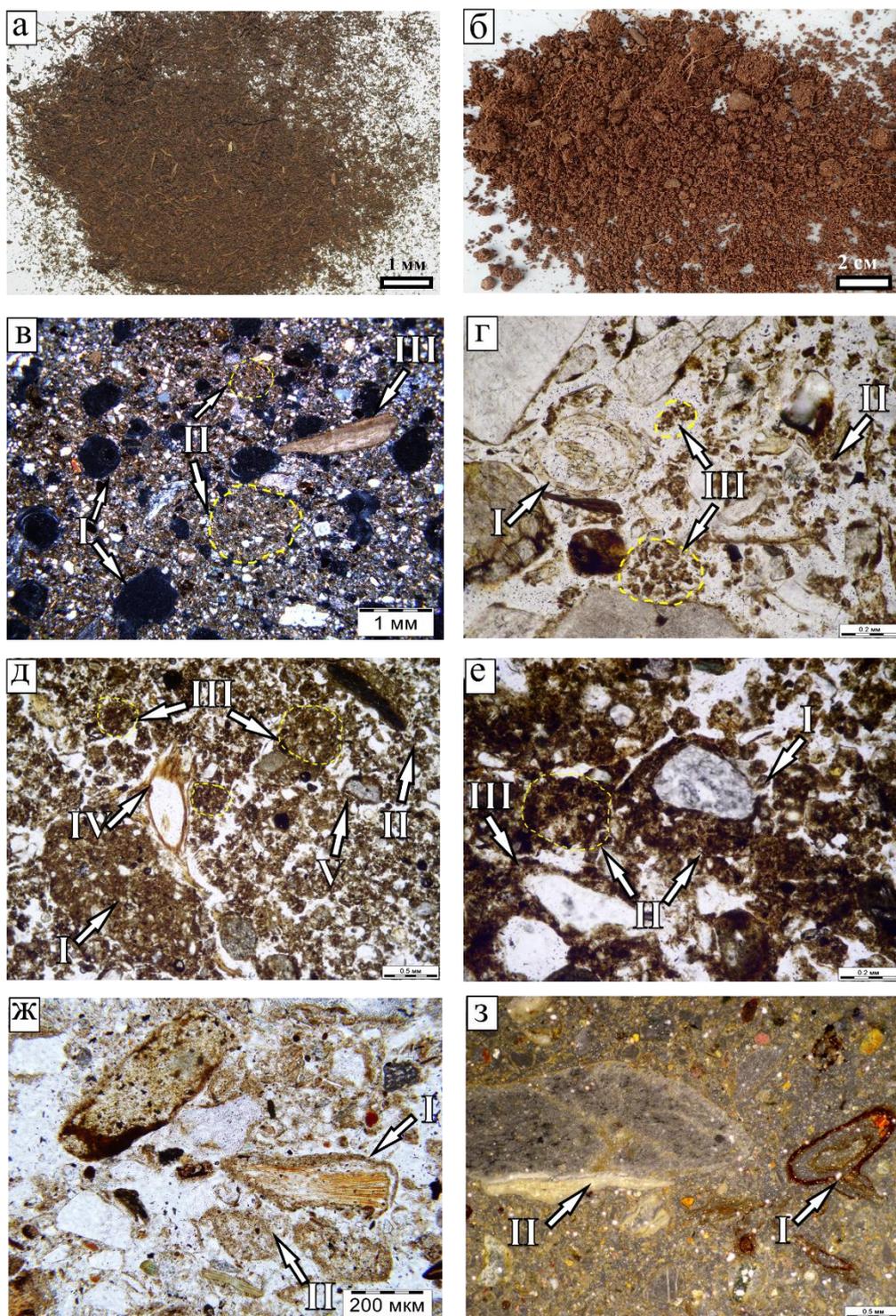


Рисунок 2 – Горизонт АК: а) Слабо-средне-разложившиеся мелкие растительные остатки, выделенные из навески (20 г) горизонта по методике Ганжары и Борисова (разрез Ак-8); б) среднеоформленная непрочная комковатая структура (разрез Ак-8); в) разрез Ка-1: пузырчатая корка в верхней части АК: округлые газовые поры (I), слабовыраженные ооидные агрегаты 0,5-1 мм (II), XPL; г) разрез Ак-8: растительные остатки (I), зернистые (granular) агрегаты 25 мкм (II), слабо выраженные ооидные агрегаты 250 мкм (III), пылевато-глинисто-гумусовые кутаны на минеральных зернах, PPL; д) разрез Бог-12: крупные (I) и мелкие (II) биогенные агрегаты, слабо выраженные криогенные (III), растительные остатки (IV), пылевато-глинисто-гумусовые кутаны на минеральных зернах (V), PPL; е) разрез Бог-12: мелкие биогенные агрегаты 50 мкм (I), криогенные ооидные агрегаты (II), пылевато-глинисто-гумусовые кутаны на минеральных зернах (III), PPL; ж) разрез Ка-1 –глинисто-пылеватая кутана на растительном остатке (I), ооидные агрегаты (II), PPL; з) разрез Ка-1 –окарбоначенные и ожелезненные растительные остатки (I), карбонатная кутана на обломке (II), отраженный свет.

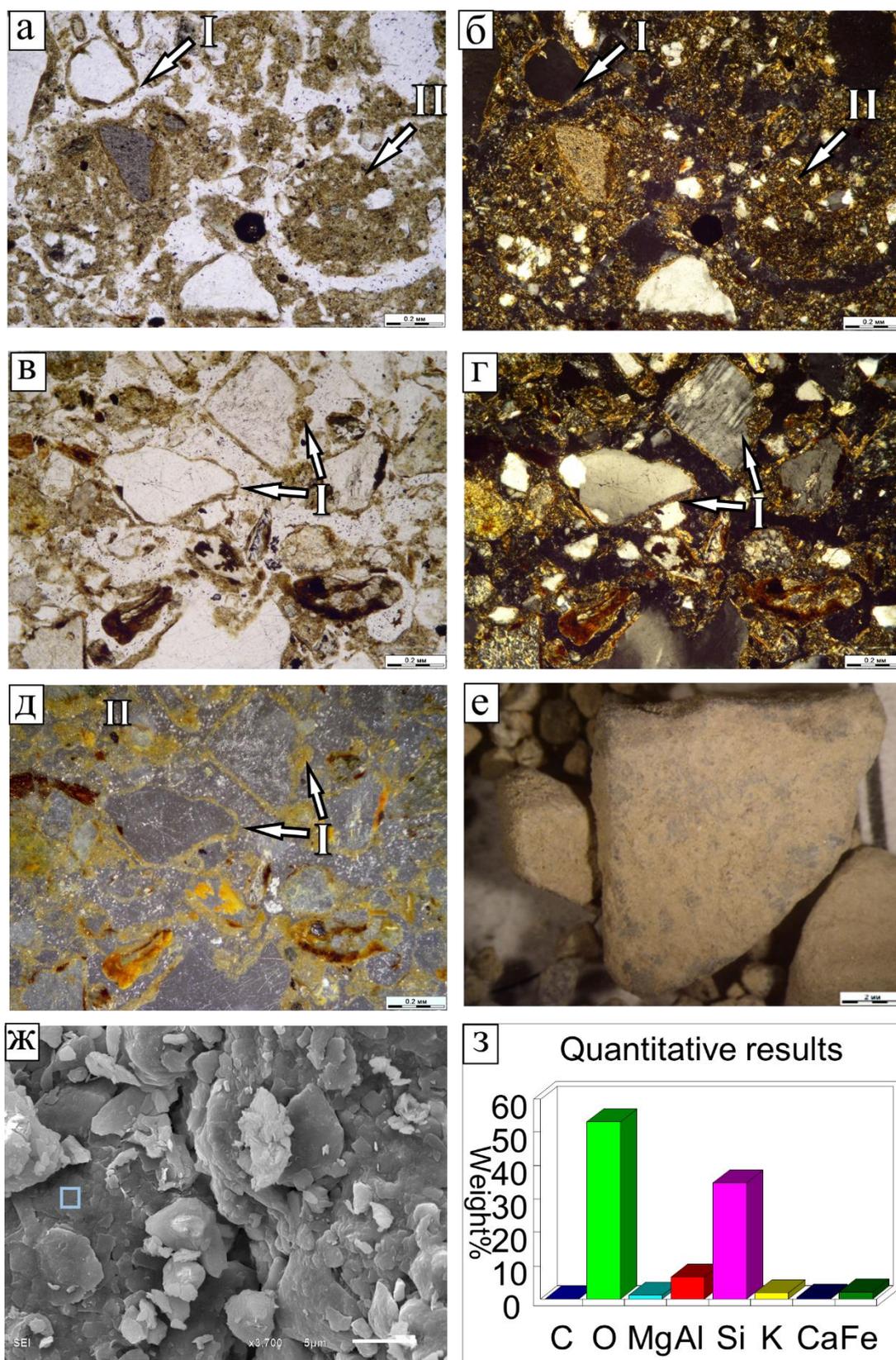


Рисунок 3 – Строение горизонта BPL: а) Бог-12: пылевато-глинистые кутаны на зернах (I), ооидные агрегаты (II), PPL, б) разрез Бог-12: пылевато-глинистые кутаны на зернах (I), ооидные агрегаты (II), XPL; в) разрез Ак-8: пылевато-глинистые кутаны на зернах (I), ооидные агрегаты (II), PPL; г) разрез Ак-8: пылевато-глинистые кутаны на зернах (I), ооидные агрегаты (II), XPL; д) разрез Ак-8: пылевато-глинистые кутаны на зернах (I), агрегированный мелкозем с дисперсной пропиткой соединениями железа (II), в отраженном свете; е) глинисто-пылеватые кутаны на минеральных зернах, в отраженном свете; ж) субмикроморфологическое строение глинисто-пылевой кутаны; з) силикатный состав материала кутаны

4.3. Горизонты ВСАіс (аккумулятивно-карбонатные). Диагностически значимой чертой горизонтов ВСАіс является наличие на поверхностях обломков многослойных карбонатных кутан различной морфологии. Карбонаты также могут присутствовать в форме пропиток (рисунок 4, з-1), осколков кутан, локальных карбонатных цементаций, заполнения трещин в обломках (рисунок 4, ж-III). В ряде случаев наблюдается перекристаллизация верхнего слоя карбонатных кутан на щебне (рисунок 4, ж-1). Преимущественно на верхних гранях крупных минеральных зёрен присутствуют криогенные глинисто-пылевато-песчаные кутаны (рисунок 4, д). В наименее аридном члене ряда (разрез Бог-12) ввиду более тяжелого гранулометрического состава и меньшей щебнистости в аккумулятивно-карбонатных горизонтах на макроуровне наблюдается слоегато-крупитчатая структура («постшлировая текстура») (рисунок 4, б), на микроуровне наблюдаются крупные криогенные ооидные агрегаты (рисунок 4, в, з, е), возможно проявление криогенного растрескивания микроагрегатов (рисунок 4, е) и фрагментов пород. В первом аккумулятивно-карбонатном горизонте резко возрастает скелетность, во всех объектах наблюдается обильное скопление красновато-бурого отмершего корневого войлока (рисунок 4, а). Радиоуглеродное датирование корневого войлока показало его современную активность, абсолютный возраст, рассчитанный программой Calib, составляет около шестидесяти лет. Эти данные свидетельствуют в пользу относительно низкой скорости минерализации органического вещества.

Глава 5. Кутанный комплекс криоаридных почв

Экстремальные литологические условия (низкое содержание мелкозёма: от 50–75 % в верхней до 5–20 % в нижней части профиля) обуславливают приуроченность почвенных процессов преимущественно к поверхностям обломков, что определяет основной тип новообразований в данных почвах – кутаны на щебне.

5.1. Морфологические типы кутан и их строение. Иерархический морфогенетический анализ кутанного комплекса криоаридных почв позволил выделить единый набор морфо-субстантивных типов кутан на щебне: силикатные (песчано-пылевато-глинистые), гумусовые и карбонатные кутаны, разделяющиеся по размерам частиц (кристаллов) и плотности их упаковки на микритовые рыхлые (состоят из мелких частиц < 4 мкм), микритово-микроспаритовые плотные (состоят из переслоев мелких (< 4 мкм) и средних (4–50 мкм) кристаллов), (микро)спаритовые плотные (состоят из крупных сростков кристаллов около 50 мкм). Гумусовые кутаны имеют красновато-бурую

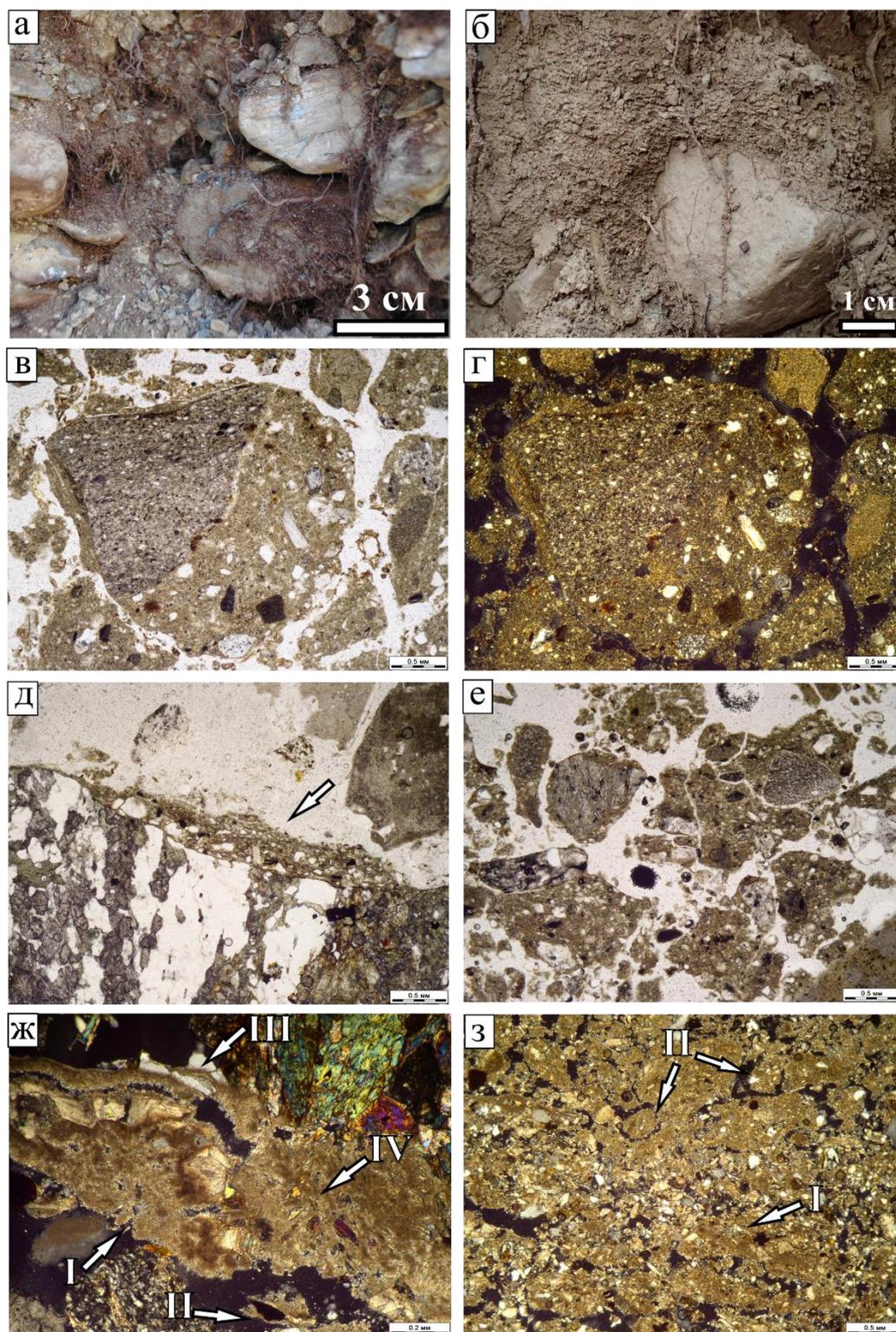


Рисунок 4 – Особенности строения горизонтов BSAic криоаридных почв: а) отмерший корневой войлок в горизонте BSAic1; б) слоегато-крупитчатая структура, разрез Бог-12; в) разрез Бог-12, BSAic1: криогенные ооидные агрегаты с включением дресвы, PPL; г) разрез Бог-12, BSAic1: криогенные ооидные агрегаты с включением дресвы, XPL; д) глинисто-пылеватая кутана (*silt capping*) на верхней грани крупного минерального зерна, разрез Ак-8, BSAic1, PPL; е) разрез Бог-12, BSAic3: криогенное растрескивание агрегатов, PPL; ж) разрез Ак-8, BSAic1: перекристаллизация верхнего слоя карбонатной кутаны (I), осколки карбонатной кутаны (II), кутана заходит в трещину обломка породы (III), в кутану включены частицы обломка породы (IV), XPL; з) разрез Ка-1, BSAic3: сплошная карбонатная микривоковая пропитка материала (I), ооидные микроагрегаты (II), XPL.

окраску, карбонатные микритовые рыхлые – белую, карбонатные (кремний-карбонатные) микритово-микроспаритовые плотные могут иметь желтую, оранжевую и коричневую окраски, карбонатные спаритовые плотные – прозрачны. Строение выделенных морфотипов кутан на разных уровнях организации показано на рисунке 5.

5.2. Состав кутан. По результатам исследований состава слоев кутан выявлены следующие особенности. Карбонатные плотные слои часто сложены не чистым кальцитом, а представляют собой чередование CaCO_3 и SiO_2 . В составе слоёв карбонатных кутан может присутствовать магний, его содержание максимально во внешних рыхлых слоях. Бурые карбонатные слои кутан, пропитанные органическим веществом, содержат также алюминий и железо. В таких слоях зоны обогащения Al и Fe ассоциированы с углеродом, имеют хлопьевидную форму, что свидетельствует в пользу гипотезы образования данных кутан в результате процесса Al-Fe-гумусового иллювиирования в гумидную фазу эволюции.

5.3. Профильное распределение морфотипов кутан и особенности их строения в разрезах ландшафтно-высотного ряда. В криоаридных почвах наименее аридного и среднего членов ряда в верхней части профиля в горизонтах АК и ВРЛ на всех гранях обломков располагаются гумусовые кутаны, перекрытые силикатными. В средней и нижней частях профиля в горизонтах ВСА_{1с} на всех обломках на верхних гранях располагаются силикатные кутаны, а на нижних гранях обломков располагаются многослойные карбонатные кутаны разных типов в характерной закономерной последовательности. Гумусовые кутаны тяготеют к АК, ВРЛ и верхним ВСА_{1с} горизонтам. В самом аридном члене ряда (профиль в Чуйской котловине) карбонатные кутаны присутствуют с поверхности и располагаются в том числе и на верхних гранях обломков, для этого объекта характерны максимальные мощности многослойных кутан и площадь покрытия обломка, самая высокая твердость кутан, максимальное количество силикатных включений, крайне неровное, даже хаотичное залегание слоев, наличие явных признаков перекристаллизации карбонатов. Для объекта в долине р. Богуты для карбонатного микритово-микроспаритового плотного морфотипа характерно наличие большого количества включений и относительно неровное залегание слоёв. Для объекта в котловине озера Ак-Холь кутаны этого морфотипа относительно более тонкие, для них характерно меньшее количество силикатных включений и ровное залегание слоёв, совокупные мощности многослойных кутан минимальны для данного объекта.

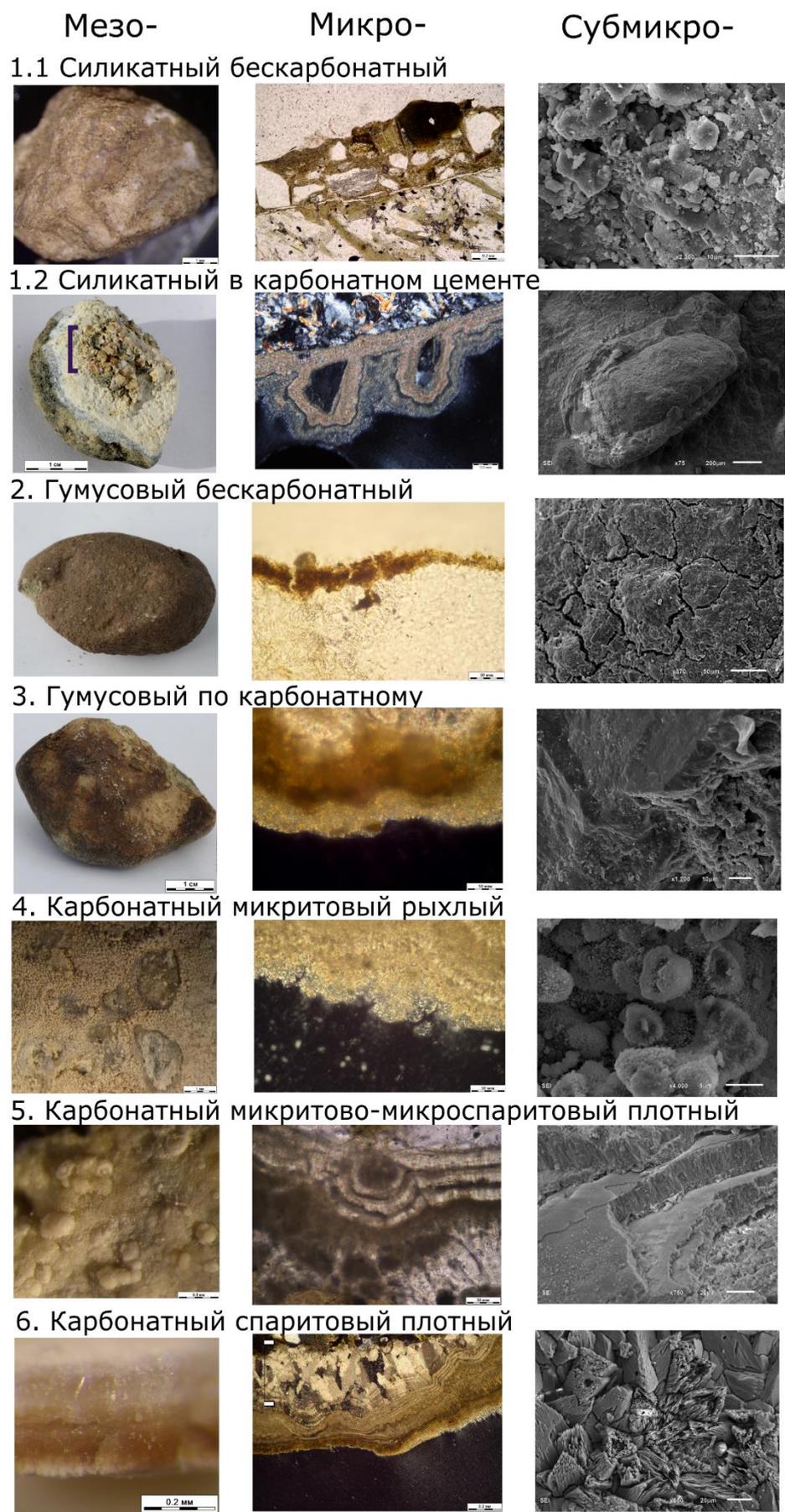


Рисунок 5 – Строение морфологических типов кутан криоаридных почв на мезо-, микро- и субмикроморфологическом уровнях организации.

Отличия строения кутан в разрезах ландшафтно-высотного ряда не могут быть объяснены только различиями современных ландшафтно-климатических условий. Кутанный комплекс исследованных почв, по большей части, является унаследованным от прошлых этапов педогенеза, на которых также наблюдались ландшафтно-климатические отличия в исследуемых котловинах, о чем свидетельствуют отличия в строении и профильном распределении кутан.

5.4. Последовательность расположения морфотипов кутан на обломках. Для трех исследованных объектов установлен единый набор морфо-субстантивных типов в составе сложных многослойных кутан, также едина максимальная последовательность слоев кутан на обломках (от более древнего к более молодому): карбонатный спаритовый (кристаллы > 50 мкм) плотный с ромбовидной формой сростков кристаллов — микритово-микроспаритовый плотный — спаритовый плотный с зубовидной формой сростков кристаллов — микритовый (кристаллы < 4 мкм) рыхлый — гумусовый) → гумусовый, поверх которого возможно наличие тонкого фрагментарного прослоя из микритовых и микроспаритовых кристаллов. В наиболее часто встречающейся последовательности слоёв отсутствует прилегающий к породе спаритовый слой. В нижней части профиля в двух разрезах отсутствуют гумусовые кутаны.

5.5. Возраст кутан. Для среднего члена ряда (разрез Ак-8) установлен возраст карбонатных и гумусовых кутан. Наиболее древние даты получены для карбонатных кутан (смешанные образцы) с глубины 55–155 см: 7208 и 8165 кал. лет назад (медианы), а для нижнего горизонта 140–170 см получена самая молодая дата 6916 кал. лет назад. Полагаясь на результаты радиоуглеродного датирования и особенности датированного материала (многослойных карбонатах кутан), можно заключить, что аккумуляция карбонатов в почвах началась в котловине заметно раньше 8000 лет назад, а на промежутке 8000–7000 лет приходится максимальная интенсивность этого процесса. С уменьшением возраста карбонатных кутан несколько облегчается изотопный состав углерода карбонатов. Можно предположить, что в накоплении карбонатов в почвах, во всяком случае, на ранних этапах, существенную роль играла аккумуляция их из грунтовых вод, связанных с озером. Дата, полученная по гумусовой кутане (3711 кал. лет назад) соответствует гумидной фазе развития, в которую в формирование профиля включается альфегумусовый процесс, и поверх карбонатных кутан отлагались гумусовые кутаны.

Глава 6. Морфогенез криоаридных почв

Современным условиям в профиле криоаридных почв соответствуют признаки, образованные в результате процесса криогенной перегруппировки материала: криогенные ооидные микроагрегаты (0,2–1 мм), глинисто-пылевато-песчаные кутаны на обломках пород, локальные скопления карбонатной пропитки. Многослойные кутаны образованы в результате реликтовых, по большей части уже не действующих процессов миграции и отложения карбонатов и гумуса на обломках пород (рисунок 6), однако в современных условиях возможны локально действующие процессы растворения, растрескивания, перекристаллизации, внутригоризонтного перемещения материала кутан.

На основе анализа строения последовательности слоев различной морфологии в многослойных кутанах на щебне по имеющимся в литературе представлениям о связи морфологии с условиями аккумуляции реконструированы следующие этапы, через которые прошли криоаридные почвы:

- I) аридно-семиаридный полугидроморфный, 7000–8000 л.н. (спаритовые плотные слои, микроспаритово-микритовые плотные слои с прослоями опала)
- II) аридно-семиаридный автоморфный (микритовые рыхлые слои)
- III) гумидный автоморфный, 3800 л.н. (Fe-гумусовые кутаны);
- IV) современный аридно-семиаридный автоморфный (микритовые рыхлые и силикатные кутаны).



Рисунок 6 – Характерное строение многослойных кутан криоаридных почв Юго-Восточного Алтая с интерпретацией процессов и условий их формирования

Таким образом, установлено, что криоаридные почвы являются полигенетическими. Щебнистые карбонатные горизонты данных почв содержат как признаки, обусловленные действием реликтовых процессов (карбонатные и гумусовые кутаны на щебне), так и современные признаки (силикатные кутаны, ооидные агрегаты, зоны увеличения карбонатной пропитки, образование фрагментарного тонкого верхнего слоя карбонатных кутан), а криогумусовый и палево-метаморфический горизонты содержат признаки, преимущественно соответствующие текущей факторной обстановке аридно-семиаридного климата с соответствующими современными почвенными процессами.

Сравнение криоаридных почв с другими родственными типами приведено в таблице 1 (индексация горизонтов дана по Полевому определителю почв России (2008)). Сочетание ряда признаков определяет специфику типа криоаридных почв: в криогумусовом горизонте это накопление мелкого (0,1–0,5 мм) слаборазложившегося корневого детрита (3–5 % от массы горизонта); сочетание хорошо выраженной зоогенной микроструктуры с менее выраженной криогенной, пылевато-глинисто-гумусовые и гумусовые кутаны на минеральных зернах, в палево-метаморфическом горизонте это глинисто-пылеватые кутаны на зернах песчаной и гравелистой размерностей с небольшим количеством несиликатного железа, не превышающим содержание железа в плазме, в аккумулятивно-карбонатных горизонтах криоаридные почвы отличает натечная форма новообразований карбонатов.

Таблица 1. Сравнение ключевых признаков криоаридных, палевых, каштановых, бурых почв

Ключевые признаки	Криоаридные	Палевые	Каштановые	Бурые
Гумусовый горизонт	АК	АУ	АЖ	АЖ
Биогенные микропризнаки	Средне	Мало	Много	Мало
Окраска горизонта А	Тёмно-бурая 10 YR3/3	Серовато-бурая 10YR3-6/2-3	Бурая 10YR4(5)/2-6	Светло-серая 10YR7/2
Поверхностная корка	Возможна в наиболее аридных вариантах	Нет	Нет	Возможна
Первый В горизонт	ВРL (или Врl)	ВРL	ВМК/ВМ	ВМ
Оструктуренность	Средняя/низкая	Низкая	Высокая	Высокая
Окраска горизонта В1	Палевая 10YR4(5)/3(4)	Палевая 10YR3-6/2-4	Каштановая 10YR4-6/3-6	Бурая 10YR4/6 (6/3)
Карбонатный горизонт	ВСАic	ВСА	САТ	ВСА
Формы карбонатов	Бородки (кутаны на щебне) + пропитки	Пропитки	Белоглазка+ пропитки	Пропитки

Таблица 1 (продолжение)

Ключевые признаки	Криоаридные	Палевые	Каштановые	Бурые
Криогенные признаки в профиле почв	Средневыражены: полигональное растрескивание поверхности, образование силикатных кутан на верхних гранях крупных обломков и вокруг мелких зерен, ооидные микроагрегаты, постшлировая текстура (криоплитчатость) при суглинистом гран.составе	Многочисленны: полигональность почвенной поверхности, клинья (языки), криотурбации, постшлировая текстура (криоплитчатость), на микроуровне хорошо выраженная ооидная ориентация тонкодисперсной массы	Мало/нет	Мало/нет
Исходные субстраты	Скелетные, супесчаные (реже легкосуглинистые)	Пылевато-суглинистые	Суглинистые/супесчаные	Суглинистые/супесчаные

Важную роль в формировании профиля криоаридных почв играют криогенные признаки: полигональное растрескивание поверхности, криогенная сортировка материала, криогенное дробление минеральных зерен, образование силикатных кутан на верхних гранях крупных обломков и вокруг мелких зерен, более-менее выраженные ооидные микроагрегаты, формирование постшлировой текстуры, не характерные для каштановых почв, но развитие которых в криоаридных почвах слабее, чем в палевых почвах.

Выводы

1) Проведенный иерархический морфогенетический анализ и сопутствующее химическое исследование подтвердили правильность выделения криоаридных почв в отдельный тип – криоаридные почвы занимают промежуточное генетическое положение между каштановыми и палевыми почвами: имеют специфический криогумусовый горизонт; по сравнению с каштановыми почвами в них лучше развиты криогенные признаки, биогенные признаки выражены меньше; по сравнению с палевыми почвами – криогенные признаки выражены слабее, но лучше выражены биогенные признаки.

2) Основная специфика криогумусового горизонта заключается в накоплении мелкого слаборазложившегося корневого детрита, в сочетании зоогенной микроструктуры с менее выраженной криогенной, в наличии гумусовых и пылевато-глинисто-гумусовых кутан на минеральных зернах.

3) Глинисто-пылеватые кутаны на зернах скелета, образованные в результате криогенной перегруппировки материала – характерный признак горизонта ВРL. Характерная окраска палево-метаморфического определяется небольшим количеством минералов (гидр)оксидов железа, пропитывающих тонкодисперсное вещество глинисто-пылеватых пленок на минеральных зернах скелета.

4) Криоаридные почвы характеризуются генетически единым кутанным комплексом, включающим силикатные, гумусовые, карбонатные: микритовые рыхлые, микритово-микроспаритовые плотные с участием опала, спаритовые–плотные морфотипы кутан. По последовательностям кутан реконструированы следующие этапы педогенеза: I) аридно-семиаридный полугидроморфный, 7000-8000 л.н. (спаритовые плотные слои, микроспаритово-микритовые плотные слои с прослоями опала) II) аридно-семиаридный автоморфный (микритовые рыхлые слои) III) гумидный автоморфный, 3800 л.н. (Fe-гумусовые кутаны); IV) современный аридно-семиаридный автоморфный (микритовые рыхлые и силикатные кутаны)

5) В формировании профиля криоаридных почв играют важную роль криогенные признаки: полигональное растрескивание поверхности, криогенная сортировка, криогенное дробление минеральных зерен, образование силикатных кутан на верхних гранях крупных обломков и вокруг мелких зерен, ооидные микроагрегаты, формирование постшлировой текстуры. Эти признаки отличают криоаридные почвы от каштановых, но выражены хуже по сравнению таковыми в палевых почвах.

6) К основным современным процессам в профиле криоаридных почв можно отнести: а) накопление мелкого корневого детрита в сочетании со слабой аккумуляцией гумуса; б) биогенное и криогенное микроструктурирование; в) криогенную перегруппировку пылевато-глинистого вещества; г) частичную перекристаллизацию карбонатных кутан и локальное перераспределение карбонатов; д) ожелезнение и окарбоначивание растительных остатков (выражены в наиболее аридных условиях).

7) Криоаридные почвы являются полигенетическими. Криогумусовый и палево-метаморфический горизонты содержат признаки, преимущественно соответствующие текущей факторной обстановке, а щебнистые карбонатные горизонты данных почв содержат как признаки, обусловленные действием реликтовых процессов (карбонатные и гумусовые кутаны на щебне), так и современные признаки (силикатные кутаны, ооидные

агрегаты, зоны увеличения карбонатной пропитки, образование фрагментарного тонкого верхнего слоя карбонатных кутан).

8) Вариативность строения криоаридных почв в ландшафтно-высотном ряду нарастающей аридности заключается в следующем: для центрального члена ряда характерны все вышеописанные типичные признаки, в наименее аридных условиях развита дернина, лучше выражена структура, биогенные и криогенные признаки; в наиболее аридном профиле присутствует пустынная мостовая с загаром на поверхности щебня, слоисто-пузырчатая корка, окраска всех горизонтов более светлая, карбонаты присутствуют с поверхности, процессы аккумуляции карбонатов проявляются наиболее ярко.

Статьи по теме диссертации, опубликованные в журналах из списков Scopus, Web of Science, RSCI

1) Bronnikova M. A., **Konopliyanikova Yu. V.**, Agatova A. R., Zazovskaya E. P., Lebedeva M. P., Turova I. V., Nepop R. K., Shorkunov I. G., Cherkinsky A. E. Coatings in cryoaridic soils and other records of landscape and climate changes in the Ak-Khol lake basin (Tyva) // *Eurasian Soil Science*. – 2017. – V. 50 – №2. – P. 142–157. – DOI: 10.1134/S1064229317020016 (Impact factor JCR 2020: 1,369)

2) Bronnikova M. A., Agatova A. R., Lebedeva M. P., Nepop R. K., **Konopliyanikova Yu. V.**, Turova I. V. Record of Holocene changes in high-mountain landscapes of southeastern Altai in the soil–sediment sequence of the Boguty river valley // *Eurasian Soil Science*. – 2018. – V. 51 – №12. – P. 1381–1396. – DOI: 10.1134/S1064229318120037 (Impact factor JCR 2020: 1,369)

3) Bronnikova M. A., **Konopliyanikova Yu. V.**, Agatova A. R., Nepop R. K., Lebedeva M. P. Holocene environmental change in south-east Altai evidenced by soil record // *GEOGRAPHY, ENVIRONMENT, SUSTAINABILITY*. – 2018. – V. 11 – №4. – P. 100–111. – DOI: 10.24057/2071-9388-2018-11-4-100-111 (Scopus impact score 2020: 1,2)

4) Гуркова Е. А., Бронникова М. А., Герасимова М. И., Сухачева Е. Ю., **Конопляникова Ю. В.** Светлогумусовые аккумулятивно-карбонатные и палео-метаморфические почвы коллекции центрального музея почвоведения: верификация типовой диагностики // *Бюллетень Почвенного института имени В.В.Докучаева*. – 2019. – Т. 98. – С. 37–56. – DOI: 10.19047/0136-1694-2019-98-37-56 (Импакт-фактор по РИНЦ 2018: 0,818)

Всего по теме диссертации опубликована 21 работа, полный список имеется на странице соискателя в ИАС «ИСТИНА»: <https://istina.msu.ru/profile/juliakon94/>.