

**Московский Государственный Университет
имени М.В. Ломоносова
Географический факультет**

На правах рукописи

Гаранкина Екатерина Вадимовна

ЭВОЛЮЦИЯ КРИОГЕННОГО МИКРОРЕЛЬЕФА ГОР СУБАРКТИКИ

25.00.25 – геоморфология и эволюционная география

**Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата географических наук**

Москва 2013

Работа выполнена на кафедре геоморфологии и палеогеографии географического факультета федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова

Научный руководитель

РОМАНЕНКО Федор Александрович

*кандидат географических наук,
ведущий научный сотрудник кафедры
геоморфологии и палеогеографии
географического факультета МГУ*

Официальные оппоненты

СОЛОМАТИН Владимир Иванович

*доктор географических наук, профессор,
заведующий лабораторией геоэкологии Севера
географического факультета МГУ*

ЧИГИР Владимир Григорьевич

*кандидат географических наук, доцент,
главный специалист отдела диагностики
газопромысловых объектов ООО
«Энергодиагностика» (г. Реутов)*

Ведущая организация

**Геологический институт Кольского
научного центра РАН (г. Апатиты)**

Защита состоится «24» октября 2013 г. в 15 часов на заседании диссертационного совета по геоморфологии и эволюционной географии, гляциологии и криологии Земли, картографии (Д-501.001.61) в Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова по адресу: 119992, Москва, ГСП-1, Ленинские горы, д.1, МГУ, Географический факультет, 21 этаж, ауд. 2109.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова по адресу: Ломоносовский проспект, д.27, А8. Автореферат размещен на сайте географического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова (<http://www.geogr.msu.ru/>) и на сайте ВАК.

Автореферат разослан «20» сентября 2013 г.

Отзывы на автореферат (в двух экземплярах, заверенные печатью учреждения) просим направлять по адресу: 119991, Москва, ГСП-1 Ленинские горы, д.1, МГУ, Географический факультет, ученому секретарю диссертационного совета Д 501.001.61. E-mail: science@geogr.msu.ru. Факс: (495) 932-88-36.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
кандидат географических наук

А.Л. Шныпарков

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы и степень ее разработанности

Повсеместно в северных районах распространены многообразные формы рельефа небольшого размера. Трещины, пятна обнажённого грунта, бордюры, валики, бугорки, полосы и уступы образуют ячейки, покрывающие тундру более или менее равномерной сетью. Мозаичность природных условий обуславливает большое разнообразие и неравномерное распределение этих форм в разных районах Земли. Горы Субарктики расположены в областях распространения островной многолетней и сезонной мерзлоты, сочетания различных по составу, строению и происхождению скальных пород и рыхлых отложений, неоднородных региональных и локальных климатических условий и чутко реагируют даже на незначительные изменения природной обстановки. Их фокусом становятся, в первую очередь, самые мелкие формы рельефа, среди которых здесь преобладают криогенные образования.

Объект исследования – криогенный микрорельеф (**КМ**) – это комплекс разнообразных форм, образующихся в криолитозоне в ходе попеременного промерзания-протаивания насыщенных водой грунтовых масс с различным содержанием тонкого и грубого обломочного материала, включающий неровности с плановыми размерами от дециметров до первых метров и высотами от нескольких сантиметров до 1-3 м (Тимофеев, Втюрина, 1983; Мудров, 2007).

Термин «**КМ**» употребляется как устоявшееся смысловое понятие и не соответствует по размерам классификациям рельефа (Щукин, 1980; Рычагов, 2006; Большов, 2006), т.к. охватывает формы размерности не только микро-, но и нанорельефа. Эпитеты «криогенный» и «мерзлотный» в данном случае – синонимы (Тимофеев, Втюрина, 1983). **КМ** – не только характерный признак субарктических гор, но и важный индикатор меняющихся в пространстве и времени природных условий. Его развитие и распространение воздействуют на формирование несомкнутого растительного покрова и жизнедеятельность обитателей тундры.

Поэтому **предметом нашего исследования** стали взаимоотношения **КМ** гор Субарктики с разными природными факторами, динамика и связи его форм между собой в пространстве и во времени.

По определению, **КМ** формируется преимущественно криогенными процессами (КП). Ряд процессов иной природы (биогенной, гравитационной, эоловой и т.д.) обуславливают конкретные особенности его облика, вызывая стабильное развитие или, напротив, деградацию форм. Традиционно считается, что на субгоризонтальных поверхностях **КМ** возникает благодаря полигональному растрескиванию и пучению, тогда как на склонах ведущую роль в рельефообразовании играют медленные (солифлюкционно-десерпционные) смещения грунта.

Морфология и строение, механизмы образования и развития **КМ** исследуются уже более ста лет. В ходе полевых и стационарных наблюдений, экспериментального моделирования КП

накоплен богатый фактический материал. Несмотря на это, многие детали жизни **КМ** до сих пор дискуссионны. Требуют решения вопросы его эволюции, закономерностей распространения и динамики, выделения основных факторов рельефообразования. Отсутствие единой морфолитогенетической классификации и множество схожих терминов затрудняют выявление особенностей развития **КМ** и использование его форм в качестве индикационного признака состояния ландшафтов. Необходимы создание сети стационаров для изучения **КМ** и выработка методических принципов документирования, описания и наблюдения его форм.

Особенно актуально сейчас определение возраста, стадий и тенденций развития **КМ**, методика чего ещё недостаточно разработана. Пространственно-временной анализ распространения **КМ** открывает физическую суть создающих его процессов, даёт ключ к оценке интенсивности его современного преобразования и прогнозированию его развития.

Цель работы - выявление пространственно-временных закономерностей формирования и развития **КМ** в разных сочетаниях природных условий гор Субарктики.

Для ее достижения были поставлены *следующие задачи*:

- оценка современной изученности **КМ**, выявление дискуссионных вопросов и проблем, анализ имеющихся классификаций и выбор системы терминов;
- характеристика природных условий (геологического и геоморфологического строения, климата, мерзлоты, растительности и животного мира) горных районов, выявление их типичных для формирования **КМ** сочетаний и сопоставление влияния региональных и локальных особенностей на его развитие;
- выявление ведущих механизмов формирования **КМ** и рельефообразующих процессов;
- характеристика вещественного состава слагающих **КМ** отложений, внешних параметров и внутреннего строения форм;
- анализ закономерностей географического распространения, динамики и возраста **КМ**;
- реконструкция основных этапов эволюции **КМ**.

Научная новизна работы

1. Установлено, что ведущую роль в дифференциации **КМ** играют сочетания локальных геоморфологических условий (уклона, экспозиции и высоты), состава субстрата, степени увлажнения и покрытия дерниной конкретного участка. Выделены наборы этих характеристик, благоприятные для возникновения разных типов форм;
2. Выявлены региональные закономерности распространения форм **КМ** на вершинных поверхностях, склонах и в днищах долин, обладающих типичными комбинациями природных условий;
3. На основе морфологической классификации А.Л. Уошберна (1988) проведена детальная морфолитогенетическая типизация форм **КМ**;

4. Выявлены стадии и морфогенетические ряды развития форм **КМ** в различных сочетаниях природных условий;

5. Установлено, что разнообразие облика **КМ** обусловлено большим количеством переходных форм от одного типа к другому, что свидетельствует об их общности и генетическом родстве;

6. Выявлена ведущая роль процессов саморазвития форм, которые в соответствии с начальными условиями их образования определяют стадийность и цикличность эволюции **КМ**.

Защищаемые положения

1. Разнообразные формы **КМ** гор Субарктики разделены на три основных типа по формам ячеек в плане и профиле: изометричный, ступенчатый и линейный, каждый из которых дифференцируется по морфологическим, структурным и вещественным параметрам (размеры в плане, форма поперечного профиля, сортировка и гранулометрический состав грунта).

2. Выделенные типы, подтипы и группы генетически едины и непрерывно трансформируются в пространстве и времени при изменении сочетаний локальных условий (геоморфологического строения, состава пород, степени увлажнения и покрытия дерниной), определяющих термический режим грунтов.

3. Каждый тип и подтип **КМ** проходит в своем развитии несколько стадий: роста, когда значительно меняются внешний облик и внутренняя структура грунта; стабильного функционирования, когда формы сохраняют облик и структуру, но увеличивают превышения и, реже, плановые размеры; деградации, когда формы разрушаются, вначале теряя морфологическую выраженность, а затем и внутреннюю структуру.

4. Длительность каждой стадии – несколько сотен лет. Они закономерно сменяют друг друга во времени, образуя генетические ряды эволюции. Направление развития **КМ** при его возникновении определяется сочетанием начальных условий, а затем – процессами саморазвития форм вследствие локального перераспределения тепла и влаги при появлении микроповышений и микропонижений. Вторичная дифференциация локальных условий обуславливает цикличность развития форм **КМ**.

Районы исследований

Субарктический пояс обрамляет северную и северо-восточную окраины материков северного полушария (от Мурманска до Камчатки в Евразии), располагаясь между 67-73⁰ и 60-65⁰ с.ш. (Григорьев, 1956). В зарубежной литературе ему соответствует субполярная (перигляциальная) зона, характеризующаяся отрицательными среднегодовыми температурами (Уошберн, 1988). В Субарктике преобладают низко- (до 1000 м) и средневысотные (до 2500 м) горы с платообразными вершинными поверхностями различных уровней. Их **КМ** существенно отличается от распространенного на обширных низменных равнинах Севера и в высокогорьях

умеренного и тропического поясов. В качестве опорных участков автор выбрал расположенные в различных районах Евразии горные территории с суровым климатом, островным или прерывистым развитием многолетней мерзлоты, глубоким сезонным промерзанием-протаиванием пород и несомкнутым растительным покровом.

Первый участок на Кольском п-ове включает низкогорные массивы Хибинских и Ловозерских тундр, Монче- и Чуна-тундр, а также участок низменного (<200 м) Баренцевоморского побережья, по особенностям климата, растительности и субстрата сходный с субарктическими низкогорьями. *Второй* – низкогорья и среднегорья Приполярного (район г. Народной, хр. Малдынырд) и Полярного (массив Рай-Из) Урала. *Третий* – среднегорья Срединного хр. Камчатки (массив Уксичан) – расположен далеко к югу от Северного полярного круга, но сочетание климата, высот и растительности позволяет относить его к субарктическим районам (Григорьев, 1956).

Фактический материал и методы исследования

Основу работы составили полевые материалы, полученные автором в ходе 17 летних, осенних и зимних экспедиций 2006-2012 гг.. Анализ литературных источников, содержащих богатый фактический материал, дал дополнительную информацию об особенностях развития **КМ** в конкретных районах и природных обстановках.

На полевом этапе (>1000 км пеших маршрутов, ~500 точек наблюдения) описаны сотни форм **КМ**; задокументированы их морфометрические, морфографические и вещественные параметры; особенности увлажнения, задернованности, положения в мезорельефе. Проведены площадная крупномасштабная съемка **КМ** на характерных участках и описание по профилям на склонах, вершинных поверхностях плато и в днищах долин (15 профилей длиной от 1 до 6 км) для выявления различий **КМ** в разных высотных уровнях и грунтах, термических условиях, увлажнении, экспозиции. Для изучения скоростей перемещения материала в толще натечных террасок организован стационар в долине Юкспоррйока в Хибинах. На ключевых участках типичные формы вскрыты шурфами (>50 выработок), сфотографированы и зарисованы плановые очертания и строение разрезов, отобраны пробы грунта на разные виды анализов.

Автором проведен гранулометрический анализ (90 образцов) в лаборатории кафедры геоморфологии и палеогеографии географического факультета МГУ. Валовый химический анализ водной вытяжки выполнен грунтовой лабораторией ОАО «Фундаментпроект», радиоуглеродное датирование органического материала – лабораторией геохимии изотопов и геохронологии Геологического института (ГИН) РАН.

Составлены сводные таблицы параметров форм для основных типов **КМ**. Проведено их сравнение по районам, а в их пределах – по особенностям мезорельефа и грунтов. Построены диаграммы распределения параметров форм и условий их развития, выделены типичные для

них интервалы. На их основе построен ряд крупномасштабных карт (1:25000), отражающих мозаичность распространения форм **КМ** в пределах выделенных интервалов высот и уклонов. Распределение групп **КМ** внутри геоморфологических комплексов отражено на геолого-геоморфологических профилях.

Личный вклад автора

Автор выполнял все виды полевых работ: маршрутные наблюдения, геоморфологическую съёмку, описания разрезов, отбор образцов грунта, лично провел гранулометрический анализ и интерпретировал его результаты. Автор обобщил фактический материал многочисленных литературных и фондовых источников по морфологии, строению и распространению **КМ**, составил все текстовые и графические материалы, включающие оригинальные схемы, карты, профили, фотографии, таблицы и диаграммы.

Теоретическая и практическая значимость

Основные закономерности мерзлотного преобразования тундровых и горно-пустынных ландшафтов невозможно понять без знаний о факторах, механизмах и создающих **КМ** процессах, без выделения ведущих и менее значимых в каждом конкретном случае агентов рельефообразования. Чувствительные к изменениям локальных и региональных природных условий формы **КМ** отражают состояние тундровых ландшафтов в целом и выявляют наиболее подверженные современным процессам участки. Анализ их распространения обогащает представления о закономерностях функционирования тундровых сообществ - среды обитания многих видов растений и животных. Определение современной активности и возраста криогенных микроформ повышает точность палеогеографических реконструкций, т.к. способствует выявлению этапов активного воздействия и затухания криогенных факторов. Подробная морфогенетическая типизация **КМ** позволяет выявлять взаимосвязи криогенных форм в пространстве и времени, подчеркивает различия в происхождении форм и важна как основа в проведении дальнейших более детальных исследований **КМ**.

Знания о природе и динамике **КМ** весьма важны как при проведении природоохранных мероприятий, что особенно актуально при усиливающемся освоении Севера, так и при выборе площадок при проектировании и строительстве хозяйственных объектов. Недостаточный учёт особенностей **КМ** не только приводит к ухудшению экологических условий обитания птиц, грызунов и почвенной фауны, но увеличивает затраты на возведение и эксплуатацию инженерных сооружений за счёт удорожания рекультивационных мероприятий. Изучение **КМ** как существенной характеристики биотопов – важная составляющая проектно-изыскательских и мониторинговых работ при проектировании и функционировании особо охраняемых природных территорий в Субарктике, а также при подготовке сельскохозяйственных

мероприятий (например, подборе площадок под зимние и летние олени пастбища, сенокосы, участки выпаса лошадей и/или крупного рогатого скота).

Результаты исследований широко используются при проведении учебной практики студентов 2-го курса кафедры геоморфологии и палеогеографии на Кольском п-ове, а также отражены в производственных отчётах, подготовленных при проектировании подводного перехода магистрального газопровода северные районы Тюменской области (СРТО) – Торжок через Байдарацкую губу и его строительном мониторинге в Ленинградской области, а также используются национальным парком «Югыд-Ва» при проектировании экологических троп и в научно-просветительской деятельности.

Степень достоверности и апробация результатов исследования

Достоверность проведённого исследования подтверждается содержащимся в работе обширным фактическим материалом, собранным лично автором в ходе семилетних полевых работ в разных районах Субарктики. Впервые широко использованы гранулометрический и химический анализы состава субстрата, организован стационар для измерения скорости склоновых процессов в Хибинских горах. Обработан и проанализирован большой массив морфометрических данных о формах и условиях формирования **КМ**, выделены наиболее типичные интервалы значений для разных типов и групп **КМ**.

По результатам работы был подготовлен ряд выступлений на международных научных конференциях «Ломоносов» (МГУ, 2007-2009 гг.), Всероссийской конференции «VI Щукинские чтения» (Москва, 2010), Международной конференции «Polar Worlds» (Париж, Франция, 2011), Международном полевом симпозиуме «Late Pleistocene Glacigenic Deposits from the Central Part of the Scandinavian Ice Sheet to Younger Dryas End Moraine Zone» (Рованиеми, Финляндия, 2011), Всероссийской научной конференции с международным участием «Рельеф и экзогенные процессы гор» (Иркутск, 2011) и научном семинаре кафедры гляциологии и криолитологии географического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова (Москва, 2012). Также материалы исследований изложены в устных и стендовых докладах на международных конференциях «Криогенные ресурсы полярных и горных регионов» (Тюмень, 2008), VIII Всероссийской конференции «Природа шельфа и островов Российской Арктики» (Мурманск, 2008), XLII Тектоническом совещании (Москва, 2009), «International Polar Year Oslo Science Conference» (Осло, Норвегия, 2010), IV конференции геокриологов России (Москва, 2011), VII Всероссийском совещании по изучению четвертичного периода (Апатиты, 2011).

По теме диссертации 2 статьи опубликованы в журнале из списка ВАК (Криосфера земли), а также опубликованы 4 статьи и 8 тезисов докладов в материалах конференций.

Структура и объем

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы и

приложения. Общий объем работы 168 страниц текста, включающего 105 рисунков, 16 таблиц и 6 приложений. Список использованной литературы насчитывает 141 публикаций, в том числе 14 – на иностранных языках.

Диссертационная работа выполнена на кафедре геоморфологии и палеогеографии географического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова.

Благодарности

Автор выражает искреннюю благодарность научному руководителю в.н.с. кафедры геоморфологии и палеогеографии, к.г.н. Ф.А. Романенко за его внимание, помощь в проведении полевых работ и рекомендации при подготовке настоящей работы. Автор признательна профессорам кафедры геоморфологии и палеогеографии А.А. Лукашову, С.И. Болысову, А.В. Бредихину за ценные советы в работе над диссертацией; начальнику Хибинской учебно-научной станции (ХУНС) С.К. Коняеву и всем ее сотрудникам; в.н.с. ГИН РАН, д.г-м.н. М.М. Певзнер за организацию полевых работ на плато Уксичан (п-ов Камчатка) и радиоуглеродное датирование образцов. Автор благодарит Е.Д. Шеремецкую за обучение и помощь в проведении лабораторных гранулометрических исследований, к.г.н. Л.Е. Ефимову за помощь в обработке результатов химического анализа, к.г.н. Ю.Р. Беляева, А.С. Булочникову, О.В. Кокина, Е.А. Константинова, Ю.С. Кузнецову, А.М. Тарбееву, О.С. Шилову, аспирантов кафедры геоморфологии и палеогеографии А.Л. Гуринова, Н.И. Косевич, Е.С. Курбатову, Н.Г. Новикову, Е.А. Токареву и А.В. Баранскую (СПбГУ), выпускников кафедры А.А. Чеснокову, В.В. Филиппова, О.М. Фомкину, О.Л. Петрова, географического факультета Е.А. Буторину, И. Тимофеева и исторического факультета МГУ Р.И. Нечушкина, сотрудников НИЛ Геоэкологии Севера МГУ Д.Е. Кузнецова и В.В. Архипова, ИВиС ДВО РАН **Е.А. Кравчуновскую** за дружескую и профессиональную поддержку и участие в разных полевых этапах, а также за предоставление фото- и картографических материалов.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Глава 1. Современные проблемы изучения криогенного микрорельефа

Первые зачастую фрагментарные описания **КМ** приводятся в работах первой половины прошлого века отечественных (Григорьев, 1925; Гладцин, 1928, 1936; Говорухин, 1936; Полинцева, Иванова, 1936) и зарубежных (Sernander; Andersson; Meinardus; Högbom; Troll) авторов. Во второй половине XX века были тщательно рассмотрены КП, участвующие в развитии микроформ: солифлюкция (Каплина, 1965; Борсук, Симонов, 1965; Жигарев, 1967; Втюрина, 1966; Розенбаум, Мудров, Тумель, 1969); медальонообразование (Константинова, 1956; Мудров, 1958; Артюшков, 1964; Шарапова, 1983); растрескивание и пучение (Романовский, 1977; Сайпл, 1955; Попов, Розенбаум, Тумель, 1985), их комплекс (Боч, 1955; Качурин, 1959; Достовалов, Кудрявцев, 1967; Суходровский, 1979, Гречищев и др., 1980;

Уошберн, 1988), а также методики их изучения (Жигарев, 1975; Втюрина, 1984; Жигарев, Суходровский, 1986) и факторы развития **КМ** (Сайпл, 1955; Крючков, 1958; Кудрявцев, 1958; Луговой, 1966; Гравис, 1966). Появились региональные обобщения по Кольскому п-ову (Баранов, 1958; Константинова, 1958; Тютюнов, 1958; Карпов, 1959; Перов, 1968), Восточной Сибири (Романовский и др., 1966; Мудров, Тумель, 1966), южным регионам (Маруашвили, 1960; Горбунов, 1964; Селиверстов, 1966), большей части СССР (Региональная криолитология, 1989) и Сев. Америки (Уошберн, 1958; Washburn, 1969). В последние 20-30 лет интенсивность изучения **КМ** горных областей снизилась. Большая часть работ, посвященных стационарным и экспериментальным исследованиям, издана за рубежом (Maskay, 2000; Christiansen, 2005; Dabski, 2005; Harris et al., 2007), а из отечественных работ необходимо отметить монографии К.С. Воскресенского (2001) и Ю.В. Мудрова (2007), статью Ф.А. Романенко с соавт. (1998). Взаимодействие **КМ** и природных факторов рассмотрено в нескольких работах (Ершов, Гирина, 1997; Абрамов, Гиличинский, 2008; Болысов, 2006, 2007). К началу XXI века собран обширный материал об условиях формирования **КМ** и механизмах КП, анализ которого выявил нерешенные вопросы и основные методические принципы исследования. Сравнение понятийного аппарата, разработанного в регионах, способствовало выбору системы терминов.

Первые попытки создания классификации криогенного рельефа предпринимались еще в начале XX века (Григорьев, 1925; Сумгин и др., 1940; Попов, 1960), но рассматривали лишь самые крупные категории. Частные схемы подразделения **КМ** (Гладцин, 1936; Говорухин, 1936; Боч, 1955; Константинова, 1956; Тютюнов, 1958; Мудров, 1958; Каплина, 1965; Втюрина, 1966; Чигир, 1979; Шарапова, 1983; Романенко и др., 1998) не дают целостной картины. Широко известная морфологическая классификация А.Л. Уошберна (1988) удобна в практическом применении, отличается методичностью и последовательностью, но не учитывает внутренней структуры форм. По геометрии ячеек выделены три типа форм: изометричные (круги, сети и полигоны), ступенчатые (терраски и ступени) и линейные (полосы), каждому из которых соотнесено наличие сортированных и несортированных разновидностей. Для выявления происхождения микрорельефа необходим учет всего комплекса признаков (внешнего и внутреннего строения, положения в ландшафте, возраста), т.е. применение хрономорфогенетического подхода. Поэтому автор в данной работе придерживается выделенных типов **КМ**, но дальнейшую типизацию проводит по совокупности различий их размеров, внутренней структуры, грунтов, задернованности и т.д.

Несмотря на суровые климатические условия, современная активность образования **КМ** часто ставится под сомнение (Говорухин, 1936; Перов, 1968), а возможность длительного сохранения реликтовых криогенных форм отвергается (Попов, 1960; Втюрина, 1984). Проблема возраста форм **КМ** до сих пор не решена. Органический материал, вовлеченный в пучение

(Иванов, Романенко, 2010; Короткий и др., 2010) и солифлюкционное течение (Розенбаум и др., 1989), иногда может быть датирован радиоуглеродным методом. Актуальна дальнейшая разработка способов установления относительного возраста (лихенометрический, тефрохронологический) и стадийности развития **КМ** (Втюрина, 1966; Шарапова, 1983).

Глава 2. Природные условия и факторы формирования криогенного микрорельефа

Основные условия образования **КМ** – геоморфологическое, геологическое и геокриологическое строение, климат, распределение растительности и деятельность живых организмов. Их набор обуславливает различное проявление КП и создание своеобразного **КМ**. В главе приведена сравнительная характеристика природных условий горных районов Субарктики с запада на восток, рассмотрена роль их локальных особенностей в создании **КМ** и их сочетаний в качестве основного фактора его развития.

Геологическое строение. В массивах Кольского п-ова и Урала преобладают скальный субстрат и грубообломочные продукты выветривания с низким содержанием тонких частиц, обуславливая доминирование структурных форм **КМ** и локальное развитие натечных и пучинистых грунтов. Обилие тонкого пирокластического материала на Камчатке способствует солифлюкционному течению и пучению, однако ограничивает криогенную сортировку. На ледниковом этапе в Хибинских и Ловозерских тундрах и в районе хр. Малдынырд накопились мощные моренные толщи с обилием мелкозема, а в массиве Рай-Из – преимущественно грубообломочные морены. В первом случае преобладают мелкие несортированные формы **КМ**, во втором – одни из наиболее крупных сортированных образований. В Срединном хребте ледниковые отложения редки и почти не подвергаются сортировке. Накопление озерных осадков, насыщенных алевритом, вызывает появление четких хорошо сортированных форм.

Геоморфологическое строение. Сочетание основных геоморфологических характеристик (высоты и уклонов) определяет три наиболее типичные обстановки формирования **КМ**. Это вершинные поверхности плато и их выположенные склоны (0-10°), участки склонов средней крутизны (10-18°) и субгоризонтальные и полого наклонные днища долин. Крутые склоны (>35°) неблагоприятны для развития **КМ**. Экспозиция предопределяет распределение типов **КМ**, в особенности ступенчатых форм, тяготеющих к подветренным южным (лучше увлажненным и прогреваемым) склонам.

Климатические условия. Климат Хибин наиболее мягок (относительно небольшие амплитуды температур, длительные переходные периоды, обильные осадки), что способствует пучению и солифлюкционному течению грунтов. Частые переходы температуры грунта через ноль градусов в вершинном ярусе обуславливают растрескивание и активную сортировку обломков стебельковым льдом. Климат Полярного и Приполярного Урала очень суров, контрастен за счёт сильных зимних морозов, что наряду с обильными осадками провоцирует

растрескивание и пучение. Климат Срединного хребта самый контрастный: значительные амплитуды температуры грунта приводят к его интенсивному растрескиванию, а сравнительно небольшое количество осадков лимитирует солифлюкционные движения в тонких грунтах.

Геокриологическое строение. Многолетнемерзлые породы (законсервированные и реликтовые) распространены прерывисто или островами. Они пассивно воздействуют на формирование **КМ**, поставляя при деградации дополнительную влагу, повышая подвижность грунта, выступая в роли водоупора. Локальные торфяные массивы испытывают их активное влияние. По-видимому, роль вечномерзлых пород на Урале и Срединном хр. существеннее, нежели спорадически распространенных и глубоко залегающих на Кольском п-ове.

Для формирования **КМ** Субарктики особенно важно сезонное промерзание, повсеместно проникающее в грунт на глубины до 0,5-2,5 м, обуславливая интенсивные растрескивание, пучение и сортировку, а при протаивании – течение. Миграция влаги к фронту промерзания определяет высокую льдистость верхних горизонтов и их мерзлотное преобразование. В переходные периоды сезонно-мерзлые породы выполняют функции водоупора, вызывая промерзание и пучение грунтов в закрытых системах.

Дерново-растительный покров, в целом, тормозит КП, препятствуя течению грунтов. Однако иногда именно благодаря ему (из-за дифференциации теплового режима) образуется специфический **КМ** (задернованные терраски, медальонно-валиковые формы). Реже биогенные процессы выступают в качестве главного фактора рельефообразования (кочкарные тундры).

Животный мир значительно воздействует на рельеф горных тундр Субарктики. Роющие млекопитающие не только создают надземные или подземные постройки, но и меняют свойства рыхлых толщ. Системы ходов и нор улучшают дренаж, меняют условия промерзания и распределение температурного поля в грунте.

Таким образом, развитие КП обусловлено характером распределения увлажнения, солнечной радиации, дренажа и растительности, что вызвано различиями в рельефе. Сочетания физико-географических условий создают предпосылки для более или менее глубокого и быстрого промерзания пород, что объясняет неравномерность латерального и высотного распределения форм **КМ**. Для вершинного яруса гор свойственны нормальное и недостаточное увлажнение, как правило, хороший дренаж, очень суровые климатические условия и малая сомкнутость растительного покрова, что благоприятно для развития изометричных форм. На склонах средней крутизны (особенно, у подножия гор) значительно возрастает увлажнение, сохраняется хороший дренаж, а поступление тепла и распределение растительности контролируются экспозицией. В зависимости от их сочетаний развиваются линейные и ступенчатые формы. В комплексе днищ преобладают нормальное до избыточного увлажнение, плохой дренаж, слабые температурные контрасты и высокая сомкнутость растительности.

Именно дифференциация локальных условий зачастую вызывает появление многообразных форм **КМ**. Влияние каждого из элементов географической среды на развитие КП различно: они могут как способствовать, так и препятствовать их проявлению. Совокупное воздействие набора природных условий на конкретном участке, подвергающемся промерзанию-протаиванию, выступает в роли основного фактора развития **КМ**. Он обуславливает направленность и интенсивность КП и особенности их механизмов, т.е. непосредственно физических процессов, протекающих в грунтах.

Глава 3. Процессы развития криогенного микрорельефа

Основной причиной и необходимым условием развития криогенеза является попеременное промерзание и протаивание пород (Романовский, 1993). Будучи сопряжены во времени, они составляют циклы режеляции, т.е. циклы изменения структуры и свойств пород в результате фазовых переходов содержащейся в них влаги. Ряд физических явлений, или механизмов, в грунтах: промерзание-протаивание, охлаждение-нагревание, усыхание-намокание и гравитационное смещение, – изменяет их объем, структуру и форму. Вызывая первичную дифференциацию материала и его промерзания-протаивания, они создают предпосылки для неоднородного протекания криогенных физико-геологических процессов (Достовалов, Кудрявцев, 1967). Комплекс КП от выветривания и последующего растрескивания до пучения и смещения грунта солифлюкцией и десерпцией способствует формированию **КМ**.

На поверхности и в толще отложений растрескивание создает полигоны различного происхождения, облика и размера, то есть фрагменты, ограниченные трещинами разного рода. Морозобойные трещины обычно ограничивают крупные полигоны (как правило, тетрагональной формы), диаметры которых колеблются от 6-8 до 20-25 м (Романовский, 1993). Они глубоко проникают в грунт и часто содержат ледяные клинья. Трещины, обособливающие полигональные ячейки (пяти-шестиугольники) диаметром 0,5-2 м, возникают при осеннем промерзании пород. Летнее (сезонное) или диагенетическое усыхание грунта создает неглубокие менее выдержанные по форме трещины на расстоянии 0,05-0,5 м, изредка до 1,5 м.

Появление системы трещин предопределяет дальнейшее формирование **КМ**, обуславливая перераспределение тепла и влаги в грунте и дальнейшую перестройку его структуры в соответствии с новыми термодинамическими условиями. Полигональные ячейки развиваются как обособленные системы и в зависимости от сочетаний природных условий преобразуются в конкретные формы **КМ**. В результате этого меняются локальные условия развития участка, вызывая повторную активизацию КП и эволюцию **КМ**.

Солифлюкция и десерпция накладывают отпечаток на развитие форм как на склонах, так и на субгоризонтальных поверхностях. В первом случае, они активно трансформируют внешнее

и внутреннее строение, преобразуя изометричные ячейки в ступенчатые или линейные. Во втором, они лишь моделируют их облик, принимая участие в сортировке материала.

Глава 4. Формы криогенного микрорельефа

На основе морфологической классификации структурных микроформ А.Л. Уошберна (1958, 1988) составлена морфолитогенетическая типизация **КМ**. Она учитывает как внешние признаки (форму ячеек, поверхностную сортировку грунта, степень задернованности), так и различия внутреннего строения, состава и происхождения трещин. Все многообразие форм **КМ** рассмотрено в рамках трёх типов, каждому из которых соответствуют мелкий, средний и крупный подтипы, а каждая конкретная форма отнесена к определённой группе, подчеркивающей особенности ее облика. Каждый из подтипов разделен на несортированные и сортированные виды и выпуклые, плоские и вогнутые подвиды. Анализ структур и грунтов конкретных разновидностей, их механизмов образования, распространения и динамике выявляет генетические и возрастные связи между ними. По результатам статистического анализа выделены интервалы значений морфологических параметров мезорельефа, характерные для разных районов, подтипов и групп форм (типичные и наиболее характерные).

Три типа **КМ** выделены по комплексному морфологическому признаку – различию плановой формы и продольного профиля ячеек. Изометричные формы имеют округлые и полигональные ячейки, линейные – сильно удлиненные вдоль склона очертания, а ступенчатые – полукруглые или вытянутые. Продольный профиль изометричных и линейных форм, в целом, прямой и совпадает с уклоном склона (субгоризонтальный или наклонный), ступенчатых – выпуклый, образованный площадкой и более крутым уступом во фронтальной части.

Размеры форм предопределены системой трещин в их основании. Самые мелкие из них соответствуют трещинам летнего или диагенетического усыхания (шириной <0,5 м с перепадом высот 1-10 см). Средние по размеру формы (0,5-1-2 м шириной, 0,2-0,5 м высотой) наследуют трещины, образующиеся осенью из-за усыхания и усадки грунта при подтягивании влаги к фронту промерзания. Самые крупные формы (шириной >2-3 м, превышения >0,5-1 м) обычно объединяют общим бордюром несколько слившихся ячеек, но иногда ограничены и морозобойными трещинами. Таким образом, типизация форм по размеру имеет генетический смысл, разделяя возникшие благодаря разным физическим процессам конвергентные формы.

Сортировка **КМ** – перераспределение обломков и тонких частиц внутри форм в ходе мерзлотной переработки – подчеркивает разнородность гранулометрического состава центров и бордюров ячеек. Хотя ее степень различна, условно можно расчленить все формы на сортированные и несортированные виды. Поперечный профиль центров ячеек бывает выпуклым, плоским и вогнутым, что зависит от слагающего их грунта и степени увлажнения и характеризует активность КП. Группы форм **КМ** объединяют ячейки, схожие по особенностям

зарастания элементов, но практически не дают представления об их структуре и при анализе использованы лишь для дополнительной характеристики внешнего вида форм.

Изометричные формы – структуры с одинаковыми плановыми размерами по нескольким направлениям – «правильную» форму круга или многоугольника принимают редко, чаще их очертания сложны. Ячейки состоят из пятна в центре, опоясывающего его бордюра и ограничивающих трещин. Хотя полигональная сеть лежит в основе практически всех форм, в зависимости от задернованности элементов принято выделять полигоны (незадернованные формы с четко читающимися трещинами), кольца (формы с задернованными центрами), медальоны (формы с задернованными бордюрами) и бугорки (целиком задернованные формы). Механизм их образования заключается в дифференцированном пучении грунтов при миграции воды к фронту промерзания в пределах обособленных ячеек. Охлаждение происходит сверху и сбоку (от трещин), поэтому сортировка обломков идет как по вертикали, так и по латерали. Они вымораживаются из рыхлого материала в ходе многочисленных циклов режеляции, а у поверхности смещаются десерпцией (стебельковым льдом).

Распространение связано с характером отложений (элювиальные, моренные, морские, пирокластические и т.д.). В западных районах преобладают сортированные виды полигонов и колец, в центральных – кольца и медальоны, а на востоке – медальоны и бугорки. Изометричные формы характерны в широком диапазоне высот (200-1400 м) и уклонов (0-10°), чаще встречаясь в вершинном комплексе плато (900-1200 м) на полого наклонных поверхностях (2-4°), а с увеличением уклона сменяются полосами и террасками. Если на Кольском п-ове они развиваются уже на 200 м над у.м., сосредоточиваясь на субгоризонтальных участках, то на Приполярном Урале и Камчатке поднимаются до 1500 м, преобладая на склонах 2-6° и 10-16°. Их приуроченность к экспозиции выражена лучше в пределах конкретных массивов – в Хибинах они тяготеют к южным склонам, в Ловозерах и на Урале – к западным, а на Камчатке – к северным

Строение. Мелкие формы доминируют в Хибинах, тогда как на Урале широко развиты средние и крупные подтипы с наибольшими перепадами высот. В гранулометрическом составе выделенных подтипов и видов форм отмечены схожие закономерности латерального и вертикального распределения частиц, что подтверждает их генетическое родство. Типично преобладание фракций крупного алеврита (в обилии поступает при химическом и физическом выветривании слабо устойчивых минералов и пород: нефелина в щелочных массивах Кольского п-ова и сланцев на Урале, из пирокластического материала на Камчатке) и мелкой дресвы (продукт фракталитизации скального субстрата, особенно крупнокристаллических хибинитов).

Современная динамика. Активными можно считать мелкие и средние полигоны, демонстрирующие непосредственную связь трещинами усыхания и промерзания. Так, уже за

50-60 лет после отложения пирокластического материала в нем формируются средние полигоны, а мелкие сети покрывают и совсем молодые (вероятно, не более 1-2 лет) ледниковые отложения (ледник Козельский). Выпуклые медальоны и сортированные полигоны в днищах котловин, недавно или периодически освобождающихся от воды несут признаки современного функционирования: «вскипание» мелкозема, вымораживание обломков, сортировка стебельковым льдом, оголенность элементов. Заращение форм не всегда ведет к их деградации, а может лишь подчеркивать уже созданные структуры. На Приполярном Урале нами выявлен довольно молодой возраст торфяных валиков медальонов – 400-500 р.л. (450±40, ГИН-14726).

Ступенчатые формы – структуры в виде ступеней с внешним бордюром из растительности или камней – чаще возникают на склонах, трансформируясь из полигонов, колец и медальонов. Реже натечные терраски осложняют задернованные подножия гор. Их ячейки состоят из слабо наклонной площадки и уступа; бывают прямоугольной, полукруглой или иной в плане формы в зависимости от соотношения длины (по падению склона) и ширины. Сортировка материала выражается в латеральных различиях состава грунта в тыловой и фронтальной частях. Торфяной валик у фронта (бордюра) форм свидетельствует о соотношении скоростей течения грунта и роста дернины, поэтому выделены подвиды, центры ячеек которых обладают выпуклым (при отсутствии валика) и вогнутым (площадка понижена относительно валика) поперечным профилем. По задернованности элементов выделяют гирлянды (целиком оголенные), ступени с задернованными уступами и целиком задернованные ступени.

Механизм образования совмещает типичные для всего **КМ** процессы (растрескивание, пучение, вымораживание, сортировка) и десерпционно-солифлюкционные, ярко развитые лишь на склонах. Вязкопластическое течение по склонам обусловлено нарушением структуры и прочности грунта вследствие оттаивания удерживаемой в твердом состоянии воды и его переувлажнения (Жигарев, 1967). Облик форм зависит от уклона участка, состава грунта (размеры обломков, соотношение их фракций), увлажнения и задернованности.

Распространение. Ступенчатые формы почти не встречены на Приполярном Урале, а в массивах Кольского п-ова шире представлены разными группами средних и реже крупных форм. Они наиболее характерны в высотных интервалах 500-700 (хорошо увлажненные подножия склонов Хибин с мощным рыхлым чехлом) и 1100-1200 м (привязанные к верховьям долин склоны Срединного хр.). Ступени занимают склоны от 2 до 36°, но сосредоточены на пологих (6-10°) и средней крутизны (14-16°), преимущественно южных и западных экспозиций.

Строение. Размеры ступеней меняются от нескольких дециметров до десяти метров, в Кольском районе характеризуются средними длиной 0,4-3 и 4-5,6 м, шириной 0,4-1,2 и 2-2,4 м, субгоризонтальной или слабо наклонной (до 5-6°) площадкой и крутым (20-35°) уступом высотой 0,1-0,6 м, редко до 1,8 м. В Срединном хр.: длина – 0,8-3,2 м, ширина – 0,4-0,8 м,

площадки более наклонны, уступы высотой 0,2-0,4 м выположены (10-14°). В разрезах террасок кровли полого падающих по уклону слоев обычно повторяют уступ их поверхности. Лишь нижний подстилающий горизонт падает параллельно общему уклону. В средней части разреза формируется плотная кладка щебня с валунами почти без заполнителя. Тыловая часть ступеней сложена преимущественно алеврито-песчаным материалом. Напорные валики хорошо увлажнены и покрыты мощной дерниной, материал во фронтальной зоне сильно оторфован на глубину до 0,5 м. Отложения террасок минерализованы сильнее, чем изометричных форм, в особенности оторфованные горизонты. Распределение анионно-катионного состава слабо дифференцировано, верхние слои обеднены ионами Na+K.

Современная динамика ступеней дискуссионна. Радиоуглеродное датирование погребенных прослоев дернины определяет возраст большей части террасок в 2,5-3 тыс. лет и дает скорости перемещения их уступа 0,6-3,5 мм/год (Розенбаум и др., 1989). С его помощью мы установили возраст торфяного прослоя в основании терраски в долине Юкспоррйока у юго-западного подножья Расвумчорра (400 м над у.м.) (рисунок 1) в 3420 ± 40 и 3370 ± 30 р.л. (ГИН-14953, ГИН-14954), и возраст подвернутой дернины под разновозрастными валиками 1600 ± 30 и 980 ± 40 р.л. (ГИН-14952 и ГИН-14939). Таким образом, можно предполагать современную скорость солифлюкционного течения в 2-4 мм/год. Так, в долине руч. Медвежьего (Зап. Хибинь, 900 м над у.м.) возраст оторфованного прослоя в основании терраски всего 800-900

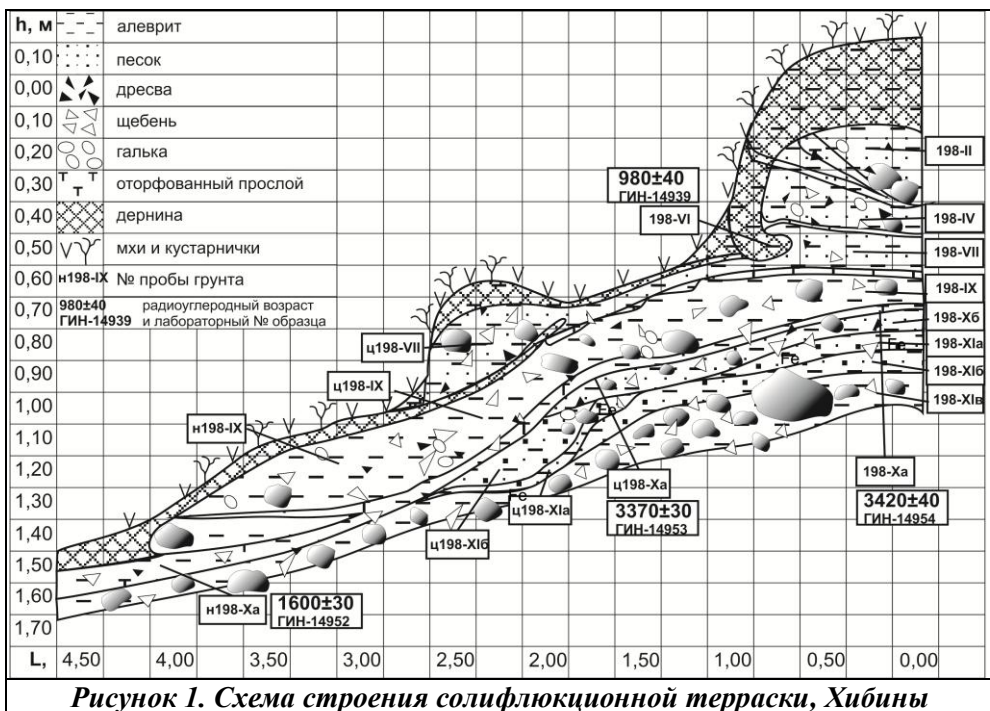


Рисунок 1. Схема строения солифлюкционной терраски, Хибинь

лет (880 ± 30 , ГИН-14937; 810 ± 50 , ГИН-14938), а современной подвернутой дернины 290 ± 40 р.л. (ГИН-14936). Чем меньше мощность рыхлого чехла и чем выше он расположен, тем он моложе. Подвернутая дернина в уступе натечной терраски на склоне г. Баркова (Приполярный Урал, 1 км над у.м.), оказалась еще моложе – 150 ± 70 р.л. (ГИН-14725). Судя по всему, большая часть рассмотренных ступеней сейчас развивается, т.е. грунт продолжает смещаться. Сомкнутая дернина на их поверхности подчеркивает их жизнеспособность, а частичное зарастание уступов гирлянд повышает устойчивость к разрушению. Оголенные

уступы задернованных форм редки, свидетельствуют об их деградации и существуют лишь непродолжительное время.

Линейные формы – структуры с полосчатым рисунком чередующихся лент тонкого и грубого материала или оголенного и задернованного грунта, ориентированных по падению склона (Washburn, 1969), – развиты на наклонных поверхностях крутизной от 2-7 до 25-30°. Их ячейки удлинены, параллельны падению склона и друг другу – ленты тонкого грунта ограничены трещинами, по которым развиваются бордюры. Ширина ячеек линейных форм – суммарная ширина двух смежных полос, отличающихся составом, выпуклостью или покрытием растительностью. Несортированные полосы редки и почти не выражены в рельефе; сортированные – разнообразны, различно задернованы, в рельефе дифференцированы за счет различий гранулометрического состава. Центры ячеек – ленты мелкозема – могут быть выпуклыми, плоскими и вогнутыми, что характеризует интенсивность пучения в них. По задернованности элементов ячейки отнесены к группам: оголенные полосы («пашни»); полосы с задернованными центрами («ручьи»); полосы с задернованными бордюрами и целиком задернованные линейные формы (полосчатые склоны).

Механизмы образования линейных и изометричных форм едины, т.е. в общем случае обусловлены растрескиванием и дифференцированным пучением в пределах обособленных ячеек. Для сортированных видов важно вымораживание обломков и десерпционное смещение материала, для несортированных – удаление или заселение растительностью элементов. На склонах на них накладываются склоновые движения, преобразующие саму форму **КМ** и его внутреннюю структуру. Солифлюкционное течение активизируется при увлажнении и достижении консистенции ниже предела текучести. Десерпция осуществляет преимущественно направленное смещение обломков вниз по склону, но и поперечную сортировку материала на бордюры и ленты. Под действием силы тяжести как криогенно обусловленные процессы, так и чисто гравитационные, способствуют сортировке по трещинам вдоль склона, тогда как поперечные постепенно заплывают, а бордюры вдоль них разрываются.

Распространение. В массивах Кольского п-ова линейные формы покрывают почти все плато, склоны, моренные гряды в днищах долин. В других районах они развиты хуже, но представлены очень крупными формами (на Приполярном Урале). На Кольском п-ове полосы тяготеют к среднему ярусу гор (600-900 м), на Приполярном Урале приурочены к нижним частям их склонов (600-700 м) и, как и в Среднем хр., выходят на пространства ступенчатых наклонных гребней (900-1300 м). Появляясь иногда уже на субгоризонтальных поверхностях, полосы встречаются даже на склонах, близких к углу естественного откоса (25-35°). Лучше они выражены в диапазонах 2-10° и 14-18° и тяготеют к склонам различных экспозиций, редко встречаясь лишь в восточном секторе, т.е. распространены на аналогичных для развития

ступеней склонах. Видимо, та или иная форма проявления склонового КП зависит от соотношения уклона с влажностью и составом грунта, а также особенностями задернения, т.е. объясняется сочетанием локальных условий.

Строение. Для Хибинских и Ловозерских тундр наиболее характерны мелкие формы с небольшими превышениями (0,02-0,1 м), хотя изредка встречаются и крупные полосы (шириной до 3 м, длиной >20 м с амплитудами высот до 0,8 м). На Приполярном Урале развиты лишь крупные полосы – «ручьи» обломков на задернованной поверхности без значительных перепадов высот (< 0,1-0,3 м). Срединному хребту более свойственны полосы средней ширины (1-1,2 м) и длины (2-10 м) с превышениями до 0,6 м. В составе полос массивов Кольского п-ова и Урала преобладает дресвяно-щебнистый и валунно-глыбовый материал, тогда как для Камчатки более типичны ленты, обогащенные супесью с гравием и валунами с галькой.

Современная динамика. В Хибинах наиболее активны мелкие и средние формы (ячейки до 0,5-1 м шириной), поверхность которых почти всегда лишена растительности. В осенний период происходит «кипение» грунтов, обусловленное не только пучением, но и ростом ледяных стебельков, создающих комковатую и пористую структуру субстрата. Более крупные заросшие полосы (шириной 0,5-3 м) без признаков современного движения сформировались, видимо, в более суровые климатические эпохи и имеют реликтовую природу (Перов, 1968). Их современное образование возможно на искусственно оголенных поверхностях (буровые площадки 1920-х гг.), где хорошо сортированные крупные незадернованные полосы возникают менее чем за столетие. В Срединном хр. на фоне локального распространения линейных форм их современная активность высока. Сейчас движения и сортировка продолжаются как в мелких полосах, так и в средних (до 1-1,5 м шириной), что обусловлено высоким содержанием тонкодисперсного вулканического материала. Сортировке подвергаются и очень «свежие» отложения тефры (возрастом всего 50-60 лет) в районах современного вулканизма.

Глава 5. Эволюция криогенного микрорельефа

Возникновение и неравномерное распределение микроформ вызывает вторичную дифференциацию локальных условий. Далекое разнообразие **КМ** может возникнуть изначально. Сначала формируются самые простые структуры (трещины, полигоны, бугорки). Лишь внутренние процессы саморазвития приводят к перераспределению тепла и влаги на поверхности и в толще грунта, в пределах форм и на прилегающих участках. Создавая новые условия, они вызывают эволюцию мерзлотных форм на одном месте.

Пространственное распределение КМ и преобладающих в его образовании процессов предопределено совокупностью природных характеристик, из которых наиболее важны рельеф и геологическое строение, увлажнение и задернованность. Их взаимовлияние определяет динамичный, постоянно меняющийся в пространстве и времени характер форм.

Геоморфологические и геологические условия: уклон, экспозиция и высота, состав грунтов, – наиболее инертны во времени и обуславливают первичную дифференциацию **КМ**. При его возникновении их можно считать статичными условиями, встречающимися в характерных для конкретной территории сочетаниях. Вершинным поверхностям плато, их склонам и днищам долин соответствуют грунты разного состава и генезиса, которые встречаются часто или редко, равномерно по площади или локально на небольших участках, что позволяет сводить к этим геоморфологическим комплексам все разнообразие геолого-геоморфологических условий. В их пределах дифференциация **КМ** вызвана различной *степенью увлажнения и задернованности*. Совокупное влияние этих более изменчивых в пространстве и времени параметров не стационарно и выступает как в качестве начальных условий образования форм, так и динамического фактора, определяющего направление их последующего саморазвития, т.е. эволюцию. В переувлажненных грунтах пучение протекает интенсивнее, вызывая значительную вертикальную дифференциацию поверхности, тогда как в условиях нормального и недостаточного увлажнения оно ослаблено и скорее осуществляет сортировку материала. Растительность может как вовсе препятствовать развитию **КМ**, так и вызывать само возникновение микроформ. Так, натечные терраски формируются лишь на сплошь заросших склонах, когда скорости роста дернины превышают скорости солифлюкционного течения. В противном случае, растительный покров разрывается, а грунт аморфно оплывает. Поэтому развитие **КМ** рассмотрено в условиях повышенного и нормального (недостаточного) увлажнения и на задернованных и незадернованных участках отдельно.

Стадийное развитие. Смена форм во времени подчиняется тем же закономерностям, что их дифференциация в пространстве, но происходит по внутренним причинам. Множество дивергентных, конвергентных и переходных форм свидетельствует об их генетическом родстве и постепенной трансформации. Таким образом, можно говорить о стадиях, которые проходит каждая криогенная структура при сохранении общих внешних условий.

Попытки выделения генетических рядов **КМ** ранее останавливались на эволюции изометричных форм (Гладцин, 1936; Полинцева, Иванова, 1936; Мудров, 1958; Чигир, 1979; Шарапова, 1983, Романенко и др., 1998). В результате обобщения фактического материала нами разработаны схемы эволюции изометричного, линейного и ступенчатого типов **КМ**.

Саморазвитие микроформ прослежено в четырех типичных комбинациях условий, определяющих направленность преобразования территории (первично заросшая или оголенная, недостаточно (нормально) или избыточно увлажненная поверхность). Для каждого из этих генетических рядов развития форм характерны три стадии (таблица 1):

- 1) активного роста, когда значительно меняются внешний облик поверхности, внутренняя структура грунта;

- 2) стабильного функционирования, когда формы сохраняют свой облик и структуру, но увеличивают превышения и, реже, плановые размеры;
- 3) деградации, когда формы разрушаются, вначале теряя морфологическую выраженность, а затем и внутреннюю структуру.

Первичная дифференциация поверхности происходит из-за растрескивания и заложения сети полигональных трещин, определяющих характер дренажа элементов **КМ** и их термический режим. В обособленных ячейках грунт испытывает дифференцированное пучение и активно перемещается по глубине и латерали, что в зависимости от внешних условий создает формы с выпуклыми или вогнутыми центрами. Таким образом, на *стадии роста* образуются ячейки криогенных форм, предопределяющие появление или деградацию растительности на отдельных элементах. В частично задернованных формах КП активнее протекают на оголенных элементах ячеек (в центрах или по периферии форм), а развитие задернованных контролируют почвообразовательный и фитогенный процессы. Поэтому на *стадии функционирования* эти противоположно направленные процессы уравнивают друг друга, поддерживая очертания и структуру форм и увеличивая высотные перепады между соседними элементами. По достижении критических размеров в формах резко меняются термические условия и особенности увлажнения, что приводит к затуханию или смене направленности КП. На *стадии деградации* локальные неоднородности в формах нивелируются, они целиком зарастают или, напротив, лишаются растительного покрова.

Выделенные стадии развития **КМ** не дискретны, а напротив, закономерно изменяя облик и перестраивая структуру, непрерывно сменяют друг друга, чем вызвано обилие переходных форм. Стадийный характер жизни **КМ** обусловлен саморазвитием форм. Однако их реально существующее многообразие достигается наложением на него меняющихся внешних условий.

Цикличность развития. КП на разных стадиях способны как создавать неровности, так и разрушать уже существующие, что позволяет рассматривать функционирование **КМ** как процесс циклический, то есть способный многократно возникать и угасать на одном и том же участке. Восходящее развитие одной структуры может явиться нисходящей ветвью функционирования другой (так, бугорки развиваются как перед появлением медальонных форм, так и при зарастании полигонов). Цикличность смены процессов формирования **КМ** во времени и пространстве – это результат динамического изменения обстановок регионального и локального масштаба. На любой стадии смена климата и/или дренажа может привести облик и структуру форм в противоречие с новыми температурным и влажностным режимами. Это влечет активизацию или затухание КП, деформацию и перестройку форм. Так, региональное смягчение климата Сев. Урала в послеледниковое время привело к зарастанию каменных полигонов по бордюрам, а затем и в центрах (Говорухин, 1936).

Эволюция изометричных форм криогенного микрорельефа

Поверхность	Увлажнение	Грунты	Процессы	А) Стадия роста	Процессы	Б) Стадия функционирования	Процессы	В) Стадия деградации
1. Незадернованная поверхность		1. Избыточное / достаточное	Однородные	Выпуклые трещинные полигоны	Увеличение контрастов температур с ростом высот центров, зарастание трещин	Выпуклые медальоны	Угасание КП в центрах с увеличением их высот, зарастание	Сглаживающиеся задернованные бугорки
				Выпуклые сортированные полигоны		Медальонно-валиковые формы		Структуры под задернованной поверхностью
		Смешанные	Плоские трещинные полигоны	Задернованные острова		Задернованная бугорковая поверхность		
			Плоские сортированные полигоны с выпуклыми бордюрами	Каменные кольца с задернованными центрами		+ Сортированные ячейки		
2. Задернованная поверхность		1. Избыточное / Достаточное	Однородные	Бугорково-кочковатые формы	Рост центров и деградация растительности на них	Медальоны, валики	Деградация растительности, уменьшение неоднородности условий	Сливающиеся медальоны
				Бугорки с обломочным ядром		Медальонно-валиковые формы		Сливающиеся медальоны с валиками
		Смешанные	Плоские полигоны с задернованным центром, медальоны	Плоские и вогнутые медальоны		Задернованная или оголенная плоская поверхность		
			Плоские полигоны с задернованным центром и полосами грунта	Сортированные плоские полигоны		+ плохо выраженные структуры в грунтах		
2. Нормальное / недостаточное		Однородные	Деградация дернины из-за недостатка влаги по повышенным краям трещин	Процессы	Дефляция в центрах пятен	Процессы	Ослабление криогенных процессов или дефляции	Процессы
				Процессы		Процессы		Процессы

Условные обозначения к таблице 1:

Отложения:		Растительность:		Прочее:	
	Валуны		Мохово-лишайниковая		Средний уровень поверхности
	Щебень и дрова		Травянистая		Поверхность полигонов
	Мелкозем (песчано-алеврито-глинистый материал)		Кустарничковая		Обводненные участки
	Отсорфованные прослои и дернина				Сезонные ледяные жилы (ЛЖ)

Локальные изменения стока или дренажа (разливы ручьев, блокировка стока) вызывают подтопление участков, покрытых **КМ**. Погружаясь в воду, формы приостанавливают развитие, а длительное затопление и вовсе их нивелирует (Карпов, 1959). Напротив, спуск озер перераспределяет влагу внутри полигонов и ужесточает условия промерзания, в связи с чем меняется направленность зарастания форм.

Изменения внешних условий, по сути, вновь переводят формы на начальную ступень развития (т.е. стадию роста, активного преобразования грунта и поверхности). Предыдущие этапы структурирования, однако, накладывают отпечаток на особенности протекания последующих циклов, усложняя эволюционный ряд форм. Рельефообразование начинается не с «чистого листа» – молодые формы наследуют положение старых (из-за заложения трещин по системе древних полигонов) и особенности их морфологии. Возникают сложно построенные ячейки с несколькими генерациями сортировки.

Возраст. Несмотря на суровые климатические условия, в литературе часто подвергается сомнению современная активность **КМ**. Косвенное датирование молодых криогенных образований в типичных тундрах п-ова Таймыр по диаметру накипных лишайников демонстрирует последовательность (от более древних к молодым формам): кочковатые – бугорковые – медальонные (Романенко и др., 1998). Эти данные согласуются с нашими выводами об эволюции изометричных форм **КМ** на задернованных переувлажненных участках, подтверждая смену бугорков при их разрушении пятнами-медальонами. Криогенные сети небольших ячеек, сортированных вглубь до 0,15 м, сформировались на свежих моренных отложениях в Исландии за последнее столетие (Dabski, 2005) и на свежей тefре влк. Козельского на Камчатке за 50-60 лет.

Первые попытки радиоуглеродного датирования биогенного микрорельефа на островах Охотского моря (Иванов, Романенко, 2010) дали возраст кочки в туфурах о. Талан (Ямские о-ва) 130 ± 30 лет (ГИН-14176). Современный кочкарный микрорельеф гор Приохотья (верховья р. Селиткан, хр. Ям-Алинь), обусловленный развитием в позднем голоцене островной мерзлоты, более древний – 660 ± 30 (КИ-2159) и 2460 ± 55 р.л. (СОАН-956) (Короткий и др., 2010). Датирование органического материала, отобранного автором на Приполярном Урале, установило возраст торфяного валика в медальонной форме около 450 р.л. и подвернутой дернины в уступе натечной терраски около 150 ± 70 р.л. В Хибинах возраст торфяных прослоев в основании террасок 3300-3400 р.л. (Юкспорройок) и 800-900 р.л. (руч. Медвежий). Подвернутая дернина под разновозрастными валиками моложе – от 1000-1600 до 300 р.л., соответственно.

Это говорит о том, что длительность отдельных стадий развития **КМ** может составлять десятки и первые сотни лет, тогда как возраст конкретной криогенной микроформы – исчисляться столетиями и первыми тысячелетиями. Причем чем меньше размер формы, тем

меньший отрезок времени ей необходим, чтобы пройти все стадии развития – от активного роста до деградации. Самые мелкие криогенные сети успевают возникнуть и целиком разрушиться на оголенной поверхности средних и крупных форм – сортированных полигонов, медальонов, террасок (т.е. пока те находятся в стадии устойчивого функционирования). Можно говорить о том, что формирование **КМ** происходит в горах Субарктики непрерывно на протяжении позднего голоцена, как во время временных потеплений, так и похолоданий, например, «малого ледникового периода». Его разный возраст на разных высотах отражает локальные и, возможно, региональные палеогеографические отличия между горными системами, так и внутри них, являясь одним из индикаторов изменений природных условий.

Наши наблюдения свидетельствуют, что мерзлотные структуры могут сохраняться в грунтах в погребенном состоянии, если снос материала и выветривание их не разрушают, для чего наиболее благоприятны субгоризонтальные и полого наклонные вершинные поверхности плато. Реликтовая ячеистая структура их грунтов говорит о возможности более или менее длительной консервации криогенных образований в неблагоприятных для их развития условиях. Это подтверждает и смена на соседних участках хорошо выраженных форм реликтовыми, не проявляющими себя в современном рельефе структурами. Чем больше уклон поверхности, где ранее формировался **КМ**, тем быстрее его уничтожают склоновые процессы после прекращения активной мерзлотной переработки.

Заключение

1. Формирование криогенного микрорельефа – процесс стадийный и направленный, что является результатом саморазвития форм и их взаимодействия с окружающей средой.

2. Основной причиной дифференциации грунта и возникновения всех типов криогенных форм являются растрескивание и пучение в пределах обособленных ячеек. Заложение системы трещин любой природы (диагенетического усыхания, усыхания при промерзании, морозобойных) предопределяет дальнейшую перестройку структуры грунта в новых термодинамических условиях. Выявлено, что наложенные процессы солифлюкционного и десерпционного смещения материала не только преобразуют строение форм на склонах, но даже на субгоризонтальных участках значительно моделируют их внешний облик.

3. Установлено, что сочетание региональных особенностей (рельефа и геологического строения, глубины промерзания и наличия многолетнемерзлых пород, климата) и локальных условий (характера увлажнения и задернованности) определяет многообразие микрорельефа субарктических низкогорий. Их взаимовлияние выступает в роли основного фактора развития микрорельефа, обуславливающего направленность и интенсивность криогенной переработки и особенности механизмов, т.е. непосредственно физических процессов в грунтах.

4. На основании анализа внешнего облика и внутренней структуры сотен криогенных форм выделены три стадии развития, которые проходит в своем развитии каждый тип микрорельефа. На стадии активного роста облик и внутренняя структура грунта значительно меняются за счет заложения системы трещин и перераспределения тепла и влаги в пределах обособленных ячеек. На стадии устойчивого функционирования формы сохраняют облик и структуру, но увеличивают превышения и, реже, плановые размеры. На стадии деградации они разрушаются, вначале теряя морфологическую выраженность, а затем внутреннюю структуру.

5. Выявлено, что стадии развития закономерно сменяют друг друга во времени, образуя генетические ряды эволюции. Большое разнообразие переходных и генетически родственных форм подтверждает вывод о непрерывной трансформации криогенных структур. Способность криогенных процессов многократно возникать и угасать на одном участке даже из-за небольших изменений природных обстановок позволяет считать функционирование криогенного микрорельефа циклическим.

6. Установлено, что пространственная дифференциация криогенных форм вызвана локальными различиями исходных условий, а смена одних форм другими во времени, т.е. их эволюция – внутренними процессами саморазвития.

7. Радиоуглеродное датирование органического материала из торфяных валиков, оторфованных прослоев и погребенной дернины в совокупности с данными других методов определения абсолютного и относительного возраста позволяет характеризовать длительность отдельных стадий развития криогенного микрорельефа в десятки и первые сотни лет. Возраст конкретной микроформы может быть значительно древнее и составлять от нескольких столетий до первых тысячелетий. Погребенные структуры в грунтах способны сохраняться длительное время при условии, что снос материала и выветривание их не разрушают.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в журналах из списка, рекомендованного ВАК:

1. Гаранкина Е.В. Эволюция криогенного микрорельефа низкогорий Субарктики / Криосфера земли. 2013, т. XVII, № 3, Новосибирск, изд-во «Гео». – с. 3-16.

2. Романенко Ф.А., Гаранкина Е.В. Формирование и строение многолетнемерзлых пород у южной границы криолитозоны на Кольском полуострове / Криосфера земли. 2012, т. XVI, № 3, Новосибирск, изд-во «Гео». – с. 72-80.

Прочие публикации:

3. Гаранкина Е.В. Тундровый микрорельеф низкогорий Камчатки / Материалы XVI Международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Ломоносов», М.: Макс Пресс, 2009. – с. 60-61.

4. Гаранкина Е.В. Особенности формирования тундрового микрорельефа низкогорий Субарктики / Материалы Всероссийской конференции «VI Щукинские чтения» «Геоморфологические процессы и их прикладные аспекты», 2010. – с. 85-88.
5. Романенко Ф.А., Гаранкина Е.В. Строение и формирование многолетнемерзлых пород у южной границы криолитозоны на Кольском полуострове / Материалы IV конференции геокриологов России, т. 2. Москва, 2011. – с. 148-154.
6. Гаранкина Е.В. Распространение криогенного микрорельефа в низкогорных массивах Кольского полуострова / Материалы VII Всероссийского совещания по изучению четвертичного периода «Квартер во всем его многообразии». СПб, Т. 1, 2011. – с. 122-125.
7. Гаранкина Е.В. Стадии развития криогенного микрорельефа / Материалы Всероссийской научной конференции «Рельеф и экзогенные процессы гор». Иркутск, изд-во Ин-та географии СО РАН, т. 1, 2011. – с. 84-87.
8. Романенко Ф.А., Баранская А.В., Гаранкина Е.В. Особенности палеогеографии северного побережья Кольского полуострова в позднем плейстоцене и голоцене / Природа шельфа и архипелагов Российской Арктики. Вып.8. М.: ГЕОС, 2008. – с. 319-323.
9. Романенко Ф.А., Гаранкина Е.В., Олюнина О.С.. Формирование рельефа Западного Ямала в позднем плейстоцене и голоцене / Материалы Международной конференции «Криогенные ресурсы полярных и горных регионов. Тюмень: Ин-т криосферы Земли, 2008. – с. 327-330.
10. Романенко Ф.А., Олюнина О.С., Гаранкина Е.В. Роль тектонических движений в формировании рельефа и рыхлых отложений юго-западного побережья полуострова Ямал / Материалы XLII Тектонического совещания, т. 2. М.: ГЕОС, 2009. – с. 160-164.
11. Романенко Ф.А., Гаранкина Е.В., Тарбеева А.М. Наследие учителя – в работах учеников / Сергей Сергеевич Воскресенский: Учёный, педагог, человек. М.: Географический факультет МГУ, 2013. – с. 146-159.
12. Романенко Ф.А., Гаранкина Е.В. Криогенный рельеф в Среднем хребте Центральной Камчатки / Материалы Всероссийской научной конференции «Рельеф и экзогенные процессы гор». Иркутск, изд-во Ин-та географии СО РАН, т. 1, 2011. – с. 160-163.
13. Garankina E.V. Erosion-Thermokarst Processes on Southwestern Coast of Yamal Peninsula, Kara Sea, Russia / Proceedings of International conference «Polar Worlds», Paris, France, 2010. – p. 60.
14. Garankina E.V. Cryogenic structuring of superficial moraine sediments in low mountains of Kola Peninsula, Northwestern Russia / Late Pleistocene Glacigenic Deposits from the Central Part of the Scandinavian Ice Sheet to Younger Dryas End Moraine Zone. Excursion guide and abstracts of the INQUA Peribaltic Working Group Meeting. Rovaniemi, Geological Survey of Finland, 2011. – p. 92-93.