

На правах рукописи

ЗАХАРОВ Моисей Иванович

**ПРОСТРАНСТВЕННАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ
МЕРЗЛОТНЫХ ЛАНДШАФТОВ
ХРЕБТА ОРУЛГАН**

25.00.23 – физическая география и биогеография,
география почв и геохимия ландшафтов

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата географических наук

Иркутск – 2022

Работа выполнена в Федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова»

Научный руководитель: **Данилов Юрий Георгиевич**
кандидат географических наук, доцент

Официальные оппоненты: **Старожилов Валерий Титович**
доктор географических наук,
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Дальневосточный федеральный университет», директор Тихоокеанского международного ландшафтного центра Института Мирового океана

Иванов Егор Николаевич
кандидат географических наук,
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт географии имени В.Б. Сочавы Сибирского отделения Российской академии наук, научный сотрудник лаборатории геоморфологии

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова Сибирского отделения Российской академии наук

Защита состоится 30 августа 2022 г. в 10.00 часов на заседании диссертационного совета Д.003.010.01, созданного на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт географии им. В.Б. Сочавы Сибирского отделения Российской академии наук по адресу: 664033, г. Иркутск, ул. Улан-Баторская, 1, конференц-зал.
E-mail: atutova@mail.ru

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН и на сайте: <http://www.irigs.irk.ru>.

Автореферат разослан «__» _____ 2022 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета

Атутова Жанна Владимировна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность. Изучение пространственной организации ландшафтов имеет принципиальное значение для многих фундаментальных и прикладных задач географической науки. Сложность и разнообразие ландшафтных связей ярче всего проявляются в горах. Спецификой многих горных хребтов Сибири являются наличие многолетнемерзлых пород (ММП). Природная среда в них представлена мерзлотными ландшафтами, для которых криогенез является одним из ведущих факторов функционирования и пространственной дифференциации ландшафтной структуры. Мерзлотные ландшафты горных территорий северо-востока Сибири со сплошным распространением ММП практически не охвачены исследованиями пространственной организации, но их необходимость возрастает в связи с долгосрочными планами устойчивого развития арктических территорий России.

Региональный характер таких исследований позволяет внедрять ландшафтно-ориентированный подход в управлении территориями, планировании промышленного освоения и учета природных ресурсов. Принципы государственного управления территориями с ММП должны быть основаны на полноте и достоверности информации о разнообразии, функционировании, пространственной структуре и динамике мерзлотных ландшафтов. Исследования особенностей структуры и функциональной целостности в пространственной организации мерзлотных ландшафтов необходимы в широком спектре природоохранных мероприятий. В связи с этим весьма актуальны охват инвентаризационными мерзлотно-ландшафтными исследованиями обширных северных территорий и поиск эффективных механизмов внедрения результатов в современную практику природопользования. Особый научный интерес представляет изучение хребта Орулган – одной из самых труднодоступных и малоизученных частей Северо-Восточной Сибири.

Степень разработанности темы исследования. Теоретические и методологические аспекты исследования пространственной организации ландшафтов основаны на трудах Д.Л. Арманда, А.Г. Исаченко, А.А. Крауклиса, Ф.Н. Милькова, В.С. Михеева, В.А. Николаева, Ю.М. Семенова, Н.А. Солнцева, В.Б. Сочавы, В.С. Преображенского, Б.Б. Польшова и др. Мерзлотно-ландшафтными исследованиям посвящены работы И.Я. Баранова, Е.С. Мельникова, А.П. Тыртикова, В.А. Кудрявцева, Н.Г. Москаленко, Д.С. Дроздова, Г.Г. Осадчей, А.Н. Федорова, Л.И. Зотова, Н.В. Тумель и др.

На территории Якутии проводятся мерзлотно-ландшафтные исследования по таксономической классификационной системе мерзлотных ландшафтов А.Н. Федорова, которая разработана на принципах морфологической структуры ландшафтов Ф.Н. Милькова. Мерзлотные ландшафты и их пространственная организация в горах Северо-Востока Сибири изучены в недостаточной степени. Особенности пространственной организации

ландшафтов различных горных систем России и ближнего зарубежья рассматриваются в трудах Н.Л. Беручашвили, В.И. Булатова, Н.А. Гвоздецкого, Г.П. Миллера, Ю.М. Семенова, В.Т. Старожилова, Н.И. Михайлова, Т.И. Коноваловой, В.М. Плюснина, Ю.Г. Пузаченко, Д.В. Черных, В.Ю. Халатова и др.

Объект исследования – мерзлотные ландшафты хребта Орулган.

Предмет исследования – пространственная организация мерзлотных ландшафтов хребта Орулган.

Цель работы – выявить пространственную организацию мерзлотных ландшафтов хребта Орулган на разных таксономических уровнях.

Для достижения поставленной цели решались следующие **задачи**:

1) изучить теоретико-методические аспекты пространственной организации мерзлотных ландшафтов как структурной части ландшафтной сферы Земли;

2) выявить специфику и ведущие факторы формирования ландшафтной структуры хребта Орулган;

3) раскрыть основные свойства пространственной организации мерзлотных ландшафтов ключевых участков на восточном склоне хребта Орулган;

4) разработать методику геоинформационного моделирования для анализа типологической структуры мерзлотных ландшафтов разного таксономического уровня;

5) проанализировать региональные особенности ландшафтной структуры по главным бассейнам и парадинамическим бассейновым комплексам хребта Орулган.

Теоретической и методологической основой исследования являются труды отечественных и зарубежных ученых в области ландшафтоведения (Д.Л. Арманд, Н.Л. Беручашвили, В.И. Булатов, А.Г. Исаченко, Т.И. Коновалова, Э.Г. Коломыц, Л.М. Корытный, Ф.Н. Мильков, В.С. Михеев, Н.А. Солнцев, В.Б. Сочава, Ю.М. Семенов, Т.Т. Тайсаев, Д.В. Черных, А.Н. Федоров, А.К. Черкашин, В.Ю. Халатов и др.), геокриологии и мерзлотоведения (Е.С. Мельников, А.П. Тыртиков, Н.Г. Москаленко, Д.С. Дроздов, Г.Г. Осадчая, Л.И. Зотова, Н.В. Тумель, М.Т. Jorgenson, G. Grosse и др.). Некоторые методологические аспекты изучения мерзлотных ландшафтов Якутии определены в работах В.В. Самсоновой, Я.И. Торговкина, А.А. Шестаковой, С.П. Варламова, С.В. Калининцевой.

Кроме того, в работе использованы методические разработки отечественных и зарубежных ученых по геоинформационному моделированию и комплексной обработке спутниковых изображений и геопространственных данных для картографирования ландшафтов и отдельных ее компонентов И.Н. Владимирова, А.А. Глотова, В.С. Михеева, В.А. Николаева, Ю.Г. Пузаченко, А.Н. Кренке мл., Е.А. Стыщенко, A.D. Weiss, J. Jenness и др.

Методы исследования. Работа выполнена с использованием методов комплексных физико-географических исследований, сравнительно-географического, картографического, математико-статистического и дистанционного методов, географического районирования и моделирования с использованием геоинформационных систем (ГИС). При проведении вычислительных экспериментов в ГИС с материалами дистанционного зондирования Земли и геопространственными данными применялись инструменты и алгоритмы обработки в программно-аппаратных комплексах QGIS с модулями Semi-Automatic Classification и Clustering by attributes, SAGA GIS, ILWIS GIS, TerrSet, GRASS GIS и облачная платформа Google Earth Engine.

Информационная база исследования. Основной базой и материалами исследования послужили результаты комплексных физико-географических описаний, выполненных в ходе маршрутных полевых исследований на ключевых участках, Мерзлотно-ландшафтная карта Республики Саха (Якутия) в масштабе 1:1 500 000 и тематические карты разного содержания (геологические, топографические, геоботанические, почвенные и т.п.), данные дистанционного зондирования Земли искусственных спутников Landsat 8 OLI/TIRS, Sentinel 2 и цифровые модели рельефа ASTER GDEM, геопространственные климатические данные WorldClim версии 3 и гидрологические данные по речным бассейнам HydroSHEDS, данные Copernicus Global Land Cover, статистические метеорологические справочники и сведения Государственного водного реестра.

При выполнении работы автор опирался на основные труды исследователей Северной Якутии и хребта Орулган: В.Н. Андреева, И.П. Атласова, Г.Д. Белякова, Ю.С. Бушканца, М.К. Гавриловой, А.А. Григорьева, Л.Г. Еловской, В.Н. Сакса, Р.Р. Софронова, Ю.Б. Скачкова, С.А. Стрелкова, Е.Г. Николина, Д.М. Колосова, В.Б. Куваева, Л.В. Тетериной, Б.А. Тихомирова, А.В. Шелудяковой, Б.А. Юрцева и др.

Научная новизна:

1) впервые выявлены ведущие факторы формирования современной ландшафтной структуры хребта Орулган. Установлено, что специфика пространственной организации мерзлотных ландшафтов хребта обусловлена неоднородностью геолого-геоморфологического строения и развитием криогенного микрорельефа;

2) разработана методика геоинформационного моделирования для диагностики критериев выделения мерзлотных типологических комплексов: типов ландшафтов, местностей и урочищ;

3) составлены мерзлотно-ландшафтные карты на уровне типов подурочищ ключевых участков, типов урочищ и местностей района исследования на восточном склоне хребта и типов (подтипов) ландшафтов Орулганской среднегорной провинции;

4) на основе количественного и сравнительно-географического анализа ландшафтной структуры Орулганской среднегорной провинции проведено

районирование, обосновано выделение физико-географических подпровинций по главным бассейнам рек;

5) выделено 6 вариантов парадинамических бассейновых комплексов мерзлотных ландшафтов Орулганской среднегорной провинции, которые отражают хозяйственную значимость и функциональную целостность ландшафтов.

Практическая значимость. Данные о пространственной организации мерзлотных ландшафтов хребта Орулган и полученные картографические материалы применимы для планировочных и оптимизационных мероприятий на территории муниципальных районов (Эвено-Бытантайский национальный улус, Жиганский район) и ресурсного резервата «Орулган-Сис» для совершенствования системы природопользования, проектирования дорожной инфраструктуры, населенных пунктов и др.

Методика геоинформационного моделирования может быть использована для улучшения результатов мерзлотно-ландшафтных исследований. Результаты исследования и методические разработки могут быть применены в преподавании учебных дисциплин «Аэрокосмические методы исследования», «Ландшафтоведение», «ГИС в природопользовании», «Дистанционное зондирование и обработка изображения» для студентов бакалавриата и магистратуры ФГАОУ ВО «Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова».

На защиту выносятся следующие основные положения:

1. Специфика пространственной организации мерзлотных ландшафтов хребта Орулган обусловлена особенностями ландшафтообразования, где ведущим фактором является неравномерность интенсивности неотектонических движений. Сложность и разнообразие интразональных долинных ландшафтов определяются развитием криогенных процессов.

2. Геоинформационное моделирование разновременных спутниковых оптических изображений и цифровой модели рельефа является рациональной методикой для выделения типологических комплексов мерзлотных ландшафтов и позволяет детализировать ландшафтную структуру.

3. Контрастность ландшафтной структуры, обусловленная геоморфологическими и климатическими особенностями хребта, позволяет в пределах Орулганской среднегорной провинции выделить 3 подпровинции и 6 вариантов парадинамических бассейновых комплексов.

Апробация. По теме диссертации опубликовано 11 научных работ, в том числе 2 статьи в журналах из перечня ВАК и 1 статья в издании, индексируемом в Scopus и Web of Science. Основные научные результаты диссертационной работы докладывались на следующих всероссийских и международных конференциях и симпозиумах: Международной научной конференции «ГИС для цифрового развития. Применение ГИС и ДЗЗ в науке и управлении» (Якутск, 2019, 2021); Международном симпозиуме по землепользованию ILUS (Париж, 2019), VI и VII международных

конференциях Geographic Information System Theory, Application and Management (GISTAM) (Ппара, 2020; 2021), Международном симпозиуме International Geoscience and Remote Sensing Symposium - IGARSS (Гонолулу, 2020), XI Всероссийской научно-практической конференции «Геоинформационное картографирование в регионах» (Воронеж, 2020). Отдельные аспекты работы обсуждались на научных семинарах лаборатории UMR 7300 ESPACE (Университет Экс-Марсель, Франция) в январе 2020 г. и мае 2021 г. Методика геоинформационного моделирования растительного покрова обсуждалась на заседании Якутского отделения Русского ботанического общества в декабре 2020 г. Основные положения и результаты кандидатской диссертации рассматривались на заседании географического направления Института естественных наук Северо-Восточного федерального университета имени М.К. Аммосова.

Личный вклад автора. В работе использованы материалы описаний фаций полевых маршрутных наблюдений, собранные в ходе экспедиционных работ в период с 2017-го по 2019 г., разработана методика геоинформационного моделирования типов ландшафтов, местности и урочищ, созданы мерзлотно-ландшафтные карты района исследования в масштабе 1: 200 000 и предложено мерзлотно-ландшафтное районирование Орулганской среднегорной провинции. Автором произведены экспериментальные работы по обработке и классификации данных дистанционного зондирования и по кластерному анализу ландшафтно-морфологических показателей. Подготовка к печати научных работ, отражающих результаты исследований с соавторами.

Достоверность результатов исследования подтверждается использованием научной литературы отечественных и зарубежных авторов; геопространственных данных опубликованных в научной литературе и в официальных источниках; большого объема разновременных данных дистанционного зондирования и цифровых моделей рельефа; тематических карт, а также репрезентативным выбором ключевых участков для проведения полевых маршрутных исследований.

Структура и объем. Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения, списка литературы и списка иллюстрированных материалов. Общий объем – 147 страниц. Текстовая часть рукописи включает 37 рисунков, 13 таблиц, список литературы, состоящий из 187 наименований.

Благодарности. Автор диссертации выражает благодарность за неоценимую помощь руководителю Юрию Георгиевичу Данилову и со-руководителю профессору Себастьяну Гадалю. За ценные замечания и рекомендации всему коллективу географического направления Института естественных наук СВФУ, лаборатории UMR ESPACE CNRS и группы геоботаники ИБПК СО РАН. За возможность обучения в рамках двойного научного со-руководства выражаю благодарность стипендиальной программе им. В.И. Вернадского Посольства Франции в России.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы, сформулированы цели и задачи работы, научная новизна, основные защищаемые положения, практическая значимость и приведены сведения об информационной базе и методах исследования.

В первой главе «**Теоретические и методологические основы изучения мерзлотных ландшафтов**» рассматриваются особенности мерзлотных ландшафтов как структурных элементов ландшафтной сферы Земли, теоретические и методологические аспекты изучения пространственной организации и проведен обзор применения методик геоинформационного моделирования в ландшафтных исследованиях.

Природно-территориальные комплексы, функционирующие под воздействием криогенеза, составляют специфическую часть наземного отдела ландшафтов и определены как *мерзлотные* [Федоров, 1991; Булатов, 2015]. Современная классификация мерзлотных ландшафтов концептуально базируется на таксономической системе типологических и региональных комплексов [Мильков, 1973]. Установление мерзлотных характеристик производится на основе сочетаний критериев выделения (растительность, рельеф и генетический тип отложений) смежных типологических уровней [Шестакова, 2011]. Тип местности в сочетании с картируемыми геоботаническими единицами позволяет дифференцировать смежные уровни типов ландшафтов и типов урочищ с мерзлотными характеристиками. Поэтому для мерзлотно-ландшафтных исследований целесообразно выявить пространственную структуру по типам урочищ, местности и ландшафта.

Отмечено, что пространственная организация определяется ее свойствами, в которых выражаются общие, характерные и специфические черты. Проанализировав работы авторов [Мильков, 1977; Преображенский, 1986; Семенов, 1990; Плюснин, 2000; Черных, 2001 и др.], можно выделить такие свойства как целостность, направленность, упорядоченность и контрастность. Данные свойства раскрывают особенности функционирования и пространственной дифференциации ландшафтной структуры.

Исследования пространственной дифференциации ландшафтной структуры горных территорий являются довольно сложной и актуальной задачей. Отмечено, что комплексное геоинформационное моделирование является одним из эффективных методических решений и широко применяется в современных ландшафтных исследованиях, как в зарубежной [Paudel et al., 2012; Lary et al., 2009 и др.], так и в отечественной науке [Владимиров, 2004; Истомина, 2006; Глотов, 2016 и др.]. Исходными материалами моделирования являются данные разновременных многозональных спутниковых снимков и цифровая модель рельефа, синтез и обработка которых дают возможность проведения ландшафтной индикации и картографирования.

Вторая глава «Физико-географическая характеристика хребта Орулган» посвящена анализу природных условий формирования мерзлотных ландшафтов хребта Орулган и исследованию особенностей ландшафтной структуры ключевых участков в районе исследования.

Хребет Орулган, протянувшийся в субмеридиональном направлении, занимает наиболее возвышенную северо-западную часть Верхоянской горной системы. Изучение физико-географической характеристики позволяет нам проследить эволюционные свойства ландшафтной структуры. В табл. 1 на основании имеющихся научных работ нами отмечены переломные моменты и основные рубежи ландшафтообразования. Анализ показал пространственную неоднородность формирования ландшафтной структуры, что является результатом неравномерности неотектонических движений, мощных плейстоценовых оледенений и криогенного рельефообразования в голоцене.

Таблица 1
Основные рубежи ландшафтообразования хребта Орулган*

Периоды и эпохи формирования современных ландшафтов	Ландшафтообразующие процессы			Особенности ландшафтообразования хребта Орулган
	Эндогенные процессы (тектонические движения)	Экзогенные процессы (колебания климатических условий)	Экзогенные процессы (морфодинамические процессы)	
Позднемеловая эпоха (100-66 млн. лет)	Заключительная фаза мезозойского орогенеза	В ландшафтообразовании значения не имели	В ландшафтообразовании значения не имели	Формирование горноскладчатого сооружения
Палеогеновый период (66-23 млн. лет)	Ослабления проявления тектонических движений	В ландшафтообразовании значения не имели	Денудационно-аккумулятивное выравнивание	Пенепленизация рельефа, накопление отложений и формирование поверхностей выравнивания
Миоценовая эпоха (23-5 млн. лет)	Оживления неотектонических движений	В ландшафтообразовании значения не имели	Флювиальные процессы (речная эрозия)	Начало возрождения горного рельефа хребта, формирование продольных долин
Плиоценовая эпоха (5-2,5 млн. лет)	Продолжение неотектонических движений	Похолодания климата	Флювиальные процессы (речная эрозия)	Начало развития тундровых (кустарничково-моховых) ландшафтов
Ранняя и средняя плейстоценовые эпохи (2,5-0,12 млн. лет)	Продолжение неотектонических движений	Оледенения (древнего и самаровского)	Ледниковая обработка и экзарация	Формирование МПП. Распространение разнотравно-злаковых тундр и редкостойных лесов
Позднеплейстоценовая эпоха (120 тыс.-12 тыс. лет)	Увеличение неравномерности неотектонических движений западного и восточного крыла	Оледенения (зырянское и сартанское). Мощное горнодолинное оледенение западного склона хребта	Интенсивная экзарация, углубление ледниковых долин, аккумуляция моренных и водноледниковых отложений	Окончательное становление альпийнотипного рельефа хребта. Формирование моренных и зандровых типов местности

Голоценовая эпоха четвертичного периода (12 тыс. лет-по наст. время)	Современные тектонические движения	Постепенное потепление и увлажнение климата. Климатический оптимум	Развитие склоновых (денудационных) и криогенных процессов. Речная эрозия	Формирование современных мерзлотных форм рельефа, вызванное деградацией мерзлоты в климатическом оптимуме
--	------------------------------------	--	--	---

*Составлено автором по данным: [Атласов, 1938; Колосов, 1947; Сакс, 1953; Стрелков, 1965; Гитерман, 1985; Андреев, 1987; Velichko et al., 1997; Федоров, 2020].

Исследования закономерности пространственной неоднородности мерзлотных ландшафтов проведены нами на основании комплексного физико-географического описания ключевых участков района исследования, который был определен на восточном склоне хребта в окрестностях села Батагай-Алыта, где проведены полевые работы в осенние периоды 2017-2018 гг. (сентябрь) и в летний период 2019 г. (июль-август). Ключевые участки расположены в устье р. Оспех, оз. Булгунняхтах, в низовьях р. Бынтай (рис. 1), и позволяют учесть региональные особенности и разнообразие мерзлотных ландшафтов хребта.

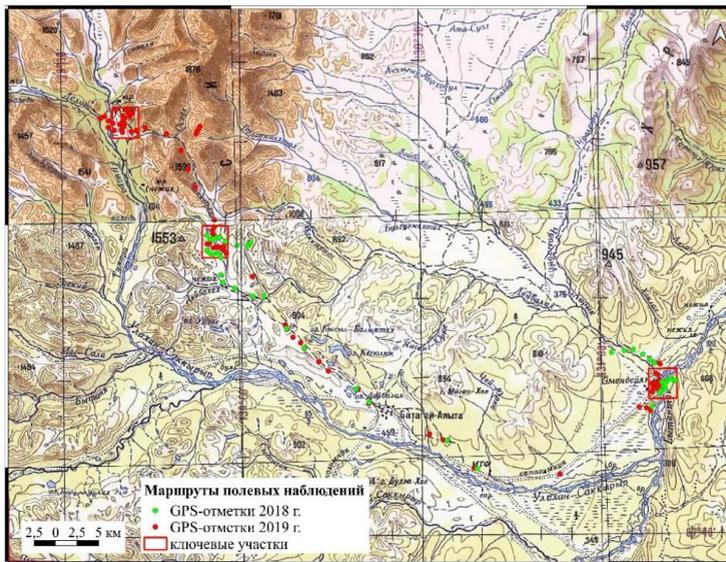


Рис.1. Карта-схема района исследования и размещения ключевых участков (составлено автором)

На ключевых участках нами описаны фации по методике В.К. Жучковой и Э.М. Раковской (2004). На их основе выделены такие типологические комплексы на уровне подурочищ, как объединения фаций (растительных ассоциаций и типа почв по Л.Г. Еловской и др. (1979)) в рамках одной формы

Окончание таблицы 2

6	Лиственничные кустарничково-зеленомошные редколесья коллювиальных слабодыстых склонов (преимущественно западной экспозиции) с мерзлотными подбурами
7	Лиственничные зеленомошные и кустарничково-зеленомошные редколесья делювиально-коллювиальных среднелыстных склонов средней крутизны с мерзлотными подбурами
8	Лиственничные кустарничково-лишайниковые и зеленомошные редколесья с участием разнотравно-злаковых лугов пологих делювиальных сильнолыстных склонов с мерзлотной северотаежной оподзоленной глееватой почвой
9	Лиственничные лишайниковые редколесья и кустарничково-зеленомошные редины в сочетании с ерниками пологих делювиальных сильнолыстных склонов с мерзлотной северотаежно-глеевой почвой
10	Лиственничные зеленомошно-лишайниковые редколесья и редины задровых среднелыстных равнин с мерзлотной северотаежной типичной (тиксотропной) почвой
11	Лиственничные кустарничково-лишайниковые и зеленомошные редколесья в сочетании с кедровым стлаником задровых среднелыстных равнин с мерзлотной северотаежной типичной(тиксотропной) почвой
12	Азональные эпилитно-лишайниковые сообщества в комплексе с кустарничково-лишайниковой тундрой в слабодыстных курумах
13	Лиственничные травяные редколесья в сочетании с ивовыми сообществами на увалистой слабодыстной высокой пойме с мерзлотной северотаежной дерновой почвой
14	Осоково-пушицевые болота на слабодренированных среднелыстных участках с мерзлотными торфянисто-болотными почвами
15	Злаково-осоковые болота ледниковых среднелыстных горных долин с мерзлотной торфянисто-болотной почвой
16	Осоково-пушицевые болота и кустарничково-лишайниковые редины бугристо-полигональных ледниковых среднелыстных горных долин с мерзлотной торфянисто-болотной почвой
17	Злаково-осоковые бугристые болота сильнолыстных низких террас с мерзлотной торфянисто-болотной почвой
18	Кустарничково-моховые и сфагновые болота бугристых участков ледниковых среднелыстных горных долин с мерзлотной торфяной болотной почвой и мерзлотными сапропелями
19	Злаково-разнотравный луг с участием дриадово-мохово-лишайниковой тундрой слабодыстных днищ троговых долин с мерзлотной горно-тундровой глееватой почвой
20	Лиственничные кустарничково-лишайниковые редколесья в сочетании с ерниками слабодыстной бугристо-западной средневысотной террасы с мерзлотной северотаежной оподзоленной почвой
21	Лиственничные кустарничково-лишайниковые леса сильнолыстных увалисто-бугристых низких террас с мерзлотной северотаежной дерново-лесной почвой
22	Злаково-осоковые заболоченные луга в сочетании с ерниками и ивняками бугристо-западных сильнолыстных низких террас с мерзлотной торфянисто-болотной почвой
23	Осоково-пушицевые и сфагновые болота полигонально-бугристо-западных сильнолыстных низких террас с мерзлотной торфяно-болотной почвой
24	Лиственничные леса в комплексе с разнотравными лугами увалистой слабодыстной поймы с мерзлотной дерново-глееватой почвой
25	Тополево-чозениево-лиственничные леса в комплексе с ивовыми сообществами и хвощово-вейниковыми лугами увалисто-лощинной слабодыстной поймы с мерзлотной пойменной дерновой и аллювиальной почвами
26	Эпилитно-лишайниковые сообщества в комплексе с лиственничными лишайниковыми редколесьями в сочетании с кедровым стлаником обрывистых склонов крупных рек с мерзлотными подбурами

Развитием полигонально-валиковых и бугристо-западинных криогенных форм микрорельефа в долинах и на слабодренированных участках низкой террасы характеризуется своеобразие упорядоченности пространственной организации в рамках поперечного ландшафтного профиля речных бассейнов. На склонах со значительным уклоном криогенные процессы проявляются слабо, но на пологих склонах с рединами морозобойное растрескивание приводит к образованию полигонально-трещиноватого микрорельефа, где листовенничные редколесья и редины сочетаются с разнотравными лугами.

В третьей главе «Анализ ландшафтной структуры хребта Орулган» выполнены работы по мерзлотно-ландшафтному картографированию района исследования и Орулганской среднегорной провинции с разработкой методики геоинформационного моделирования (рис. 3), на основе которой проанализирована ландшафтная структура хребта.

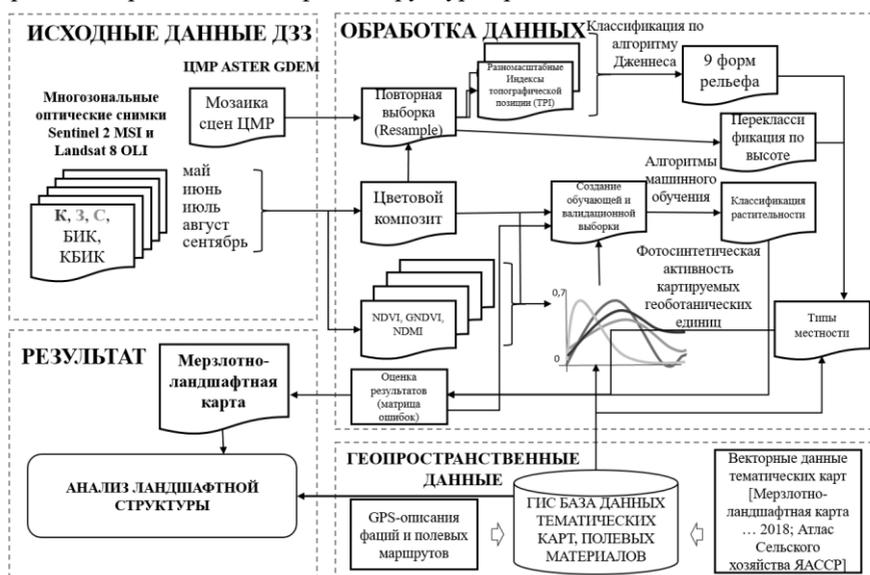


Рис. 3. Общая схема геоинформационного моделирования горных мерзлотных ландшафтов (составлено автором)

Разработанная нами методика геоинформационного моделирования состоит из двух практически обособленных технологических циклов обработки данных дистанционного зондирования и цифровой модели рельефа. Для определения картируемых геоботанических единиц наиболее эффективным является создание набора спектральных индексов NDVI, GNDVI и NDMI за вегетационный период для получения информации по ходу фотосинтетической активности, что существенно улучшает выделение комплексов долинной растительности и увеличивает точность дифференциации листовенничных редколесий. Использование индексов

топографической позиции для классификации форм рельефа, согласно алгоритму Дженнеса (2005), позволило определить, после уточнения распространения четвертичных отложений, 8 типов местности и отразить их на мерзлотно-ландшафтной карте района исследования.

Алгоритм Random Forest оказался наиболее эффективным в определении 8 объединений групп растительных ассоциаций, показав общую точность 79,7% по матрице ошибок. Оверлейное объединение слоя типов местности и объединений групп растительных ассоциаций позволило в пределах района исследования выделить 22 типа урочищ (рис. 4).

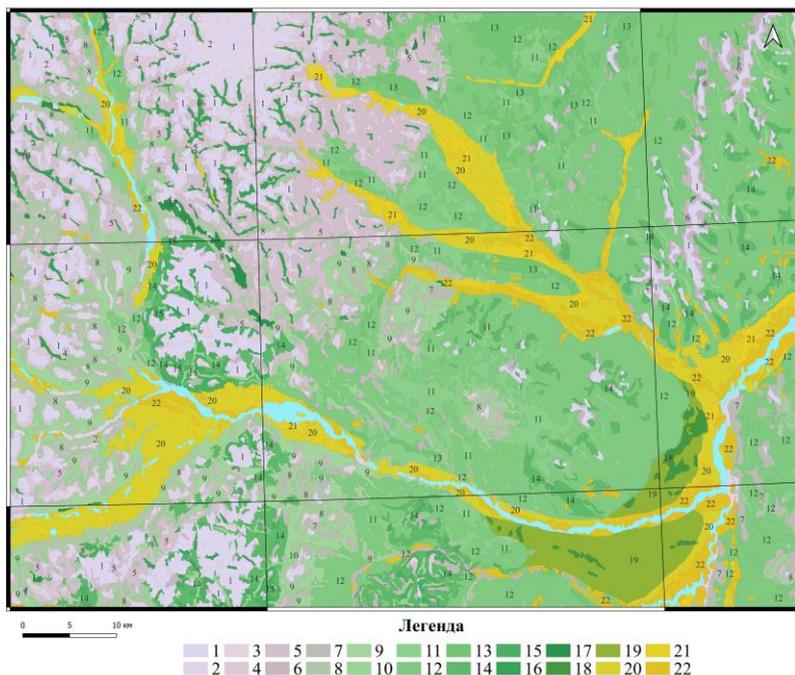


Рис. 4. Типы урочищ района исследования в восточном склоне хребта Орулган (составлено автором)

Условные обозначения

горные пустыни: 1. Скальные вершины с эпилитно-лишайниковой каменной пустыней (с температурой пород $-11 \dots -13 \text{ }^\circ\text{C}$, мощностью СТС $0,5-1,0 \text{ м}$); 2. Крутые склоны коллювиальные с эпилитно-лишайниковой каменной пустыней (с температурой пород $-11 \dots -13 \text{ }^\circ\text{C}$, мощностью СТС $1,0-1,5 \text{ м}$).

горные тундры: 3. Плоские вершины и высокие склоны коллювиально-элювиальные с мохово-лишайниковой тундрой (с температурой пород $-8 \dots -11 \text{ }^\circ\text{C}$, мощностью СТС $0,7-2,0 \text{ м}$); 4. Склоны средней крутизны коллювиальные с кустарничково-лишайниково-моховой тундрой (с температурой пород $-8 \dots -11 \text{ }^\circ\text{C}$, мощностью СТС $0,7-2,0 \text{ м}$); 5. Пологие склоны делювиально-коллювиальные с разнотравно-дриадовой тундрой в сочетании с кустарничково-мохово-лишайниковой тундрой с ерниками (с температурой пород $-8 \dots -11 \text{ }^\circ\text{C}$, мощностью СТС $0,5-1,5 \text{ м}$); 6. Пологие и средней

крутизны моренные гряды с разнотравно-дриадовой тундрой в сочетании с кустарничково-мохово-лишайниковой тундрой с ерниками (с температурой пород -8...-11 °С, мощностью СТС 0,7-2,0 м).

горные редколесья: 7. Пологие склоны делювиально-коллювиальные с листовничным зеленомошно-лишайниковым редколесьем (с температурой пород -2...-6 °С, мощностью СТС 1,5-2,5 м); 8. Пологие делювиально-коллювиальные склоны с листовничным кустарничково-зеленомошно-лишайниковым и зеленомошным редколесьем с ерниками (с температурой пород -2...-6 °С, мощностью СТС 1,5-2,5 м); 9. Склоны средней крутизны делювиально-коллювиальные с листовничным кустарничково-зеленомошным редколесьем (с температурой пород -2...-6 °С, мощностью СТС 2,0-3,0 м); 10. Крутые коллювиальные склоны с листовничным кустарничково-лишайниковым редколесьем (с температурой пород -2...-6 °С, мощностью СТС 2,0-3,0 м); 11. Пологие зандровые флювиогляциальные террасы с листовничным кустарничково-зеленомошно-лишайниковым и зеленомошным редколесьем с ерниками (с температурой пород -4...-8 °С, мощностью СТС 0,8-1,4 м); 12. Пологие зандровые флювиогляциальные террасы с листовничным лишайниковым и зеленомошно-лишайниковым редколесьем (с температурой пород -4...-8 °С, мощностью СТС 0,8-1,4 м); 13. Пологие зандровые флювиогляциальные террасы с марьями и листовничными зеленомошными рединами (с температурой пород -4...-8 °С, мощностью СТС 0,8-1,4 м); 14. Пологие и средней крутизны моренные гряды с листовничным лишайниковым и зеленомошно-лишайниковым редколесьем и рединой (с температурой пород -0,5...-1,5 °С, мощностью СТС 1,5-2,5 м); 15. Пологие и средней крутизны моренные гряды листовничным кустарничково-зеленомошным-лишайниковым редколесьем (с температурой пород -4...-8 °С, мощностью СТС 0,8-1,4 м).

интразональные горные и северотаежные ландшафты: 16. Днища троговых долин и ледниково-аккумулятивных горных долин гляциальные со злаково-разнотравный лугом с участием дриадово-мохово-лишайниковой тундры; 17. Ледниково-аккумулятивные горные долины гляциальные и аллювиальные с кустарничково-мохово-разнотравными болотами и разнотравно-злаковых заболоченными дугами (с температурой пород -2...-5 °С, мощностью СТС 0,6-1,4 м); 18. Средневысотные эрозионно-аккумулятивные террасы аллювиальные с листовничным лишайниковым редколесьем с участием разнотравно-злаковых лугов (с температурой пород -3...-5 °С, мощностью СТС 0,8-1,2 м); 19. Средневысотные эрозионно-аккумулятивные террасы аллювиальных с разнотравно-злаковыми заболоченными дугами и ерниками (с температурой пород -3...-5 °С, мощностью СТС 0,8-1,2 м); 20. Низкие аккумулятивные аллювиальные террасы с листовничным кустарничково-зеленомошным и травяным редколесьем (с температурой пород -2...-6 °С, мощностью СТС 0,7-1,2 м); 21. Низкие аккумулятивные террасы аллювиальные с разнотравно-злаковыми заболоченными дугами и ерниками (с температурой пород -1...-4 °С, мощностью СТС 0,7-1,2 м); 22. Низкие аккумулятивные террасы аллювиальные с комплексом ольховниково-ивовых сообществ с участием листовничных, чозениевых и тополевых лесов (с температурой пород -2...-6 °С, мощностью СТС 0,7-1,2 м).

Составленная мерзлотно-ландшафтная карта района исследования отражает сложную пространственную структуру хребта, отличающуюся сильной расчлененностью и хорошо выраженной вертикальной поясностью. В целом наиболее распространенным высотным типом мерзлотных ландшафтов

является горное редколесье (57% территории), что объясняется предгорным расположением района исследования и значительными площадями ледниково-аккумулятивных равнин. Горная тундра занимает 16% площади и охватывает различные высоты на склонах и плоских вершинах, начиная с примерно 900 м абсолютной высоты. Интразональные горные и северотаежные ландшафты занимают 15% района исследования.

Ведущую роль в ландшафтном разнообразии восточного склона хребта Орулган играет сочетание различных геолого-геоморфологических структур, обусловлено верхнечетвертичными тектоническими поднятиями (горно-склоновые и скальные типы местности), стадиями оледенения (моренные, зандровые и ледниково-долинные типы местности) и современными долинами рек (средневысотные террасовые и низкотеррасовые типы местности).

Современные тенденции развития технологий дистанционного зондирования Земли связаны с накоплением огромного массива архивных и оперативных данных мониторинга земной поверхности, ведут к применению мощных суперкомпьютеров и облачных платформ обработки больших данных. Их использование позволяет проводить комплексную обработку петабайтов спутниковых данных на значительных площадях, например, для региональных комплексов (провинций, стран).

Нами разработана вариация геоинформационного моделирования с применением облачной платформы Google Earth Engine (GEE) для изучения ландшафтной структуры Орулганской среднегорной провинции. Из всего набора снимков в базе данных GEE нами отобраны малооблачные 550 снимков Sentinel 2 и 223 снимка Landsat 8 за летний период. В набор включены все снимки с 2013 г. для Landsat 8 и с 2015 г. для Sentinel 2, что позволяет значительно расширить набор спектральной информации. Мы создали несколько площадок, где нанесены обучающие образцы классифицируемых единиц растительности. Среди интегрированных в GEE алгоритмов машинного обучения наиболее точный результат был достигнут с помощью «метода опорных векторов» (общая точность – 82 %). Результирующие классы отражают сочетания групп растительных ассоциаций по их спектрально-отражательной характеристике и фотосинтетической активности. При этом данный способ приводит к объединению разнородных типов растительности, как интразональные долинные комплексы, где, по сути, мы видим сочетание речного галечника и воды, которые имеют схожие характеристики с эпилитно-лишайниковыми каменистыми пустынями, и ольховниково-ивовых сообществ с участками лиственных тополевых и чозениевых лесов для северотаежных и горноредколесных ландшафтов. Для выделения долинных комплексов нами использована мозаика ЦМР ASTER GDEM. Применяя инструмент расчета склона, мы классифицировали ЦМР на территорию провинции на два класса: 1 – класс типов местности речных долин, низких террас и эрозионно-аккумулятивных равнин; 2 – типы местности горных склонов и водоразделов.

Результат геоинформационного моделирования отображает детально пространственную дифференциацию ландшафтной структуры провинции (рис. 6). Пространственная неоднородность и разнообразие на уровне типов(подтипов) ландшафтов объясняется геологическим строением и альпинотипным характером рельефа. Подгольцово-кустарниковые заросли, представленные кедровым стлаником характерны только для западного склона. Широтная закономерность также хорошо выдерживается, при этом долины рек создают значительные площади интразональных комплексов, доходящих близко к главному водоразделу хребта.

Условные обозначения: I – Горная пустыня: 1. Эпилитные лишайники; II – Горная тундра: 2. Тундры кустарничково-лишайниковые и моховые;

III – Горное редколесье: 3. Лиственничные редколесья кустарничково-лишайниковые и моховые, 4. Лиственничные редколесья и редины кустарничково-лишайниковые и моховые; IV – Подгольцовые кустарниковые заросли: 5. Кедровый стланик кустарничково-лишайниковый в сочетании с ольховником и ерниками;

V – Интразональные горные: 6. Комплекс горнотундровой долинной растительности, 7. Комплекс горноредколесной долинной растительности, 8. Мари и лиственничные редины моховые; VI – Интразональные северотаежные: 9. Комплекс северотаежной долинной растительности

Созданная карта показывает высотные типы ландшафтов хребта Орулган, их зависимость от глобального распределения тепла и роль различий геологического и тектонического развития западного и восточного склонов хребта. Полученные статистические данные о структуре ландшафта согласуются с данными мерзлотно-ландшафтной карты.

Анализ ландшафтной структуры показал преобладание горнотундровых и горнопустынных типов ландшафтов в Орулганской среднегорной провинции 43%. При этом доля северных горных лиственничных редколесий и подгольцово-кустарниковых зарослей с лиственничным редколесьем

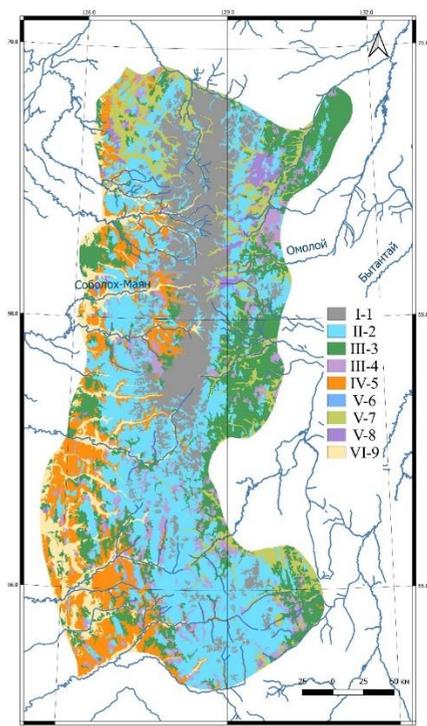


Рис. 5. Типы мерзлотных ландшафтов Орулганской среднегорной провинции (составлено автором)

составляет 42%. Таким образом, соотношение между горнопустынно-горнотундровыми и горноредколесными типами ландшафтов практически 1:1. В процентном отношении тундра и горная пустыня занимают 27% и 16% площади провинции. Лиственничные горные редколесья кустарничково-лишайниковые и моховые занимают до 18% территории. Эти показатели подтверждают целесообразность выделения мерзлотно-ландшафтной провинции, как группы горно-тундровых и горно-редколесных ландшафтов со сплошным распространением ММП при мерзлотно-ландшафтном районировании [Федоров, 1989]. Нами выявлены значительные лесных ландшафтов (42%). По долинам рек западного склона хребта преобладают севернотаежные долинные комплексы, занимающие до 7% площади провинции.

Четвертая глава «Региональные особенности пространственной организации мерзлотных ландшафтов Орулганской среднегорной провинции» посвящена сравнительно-географическому анализу ландшафтной структуры провинции по речным бассейнам.

Функционально-структурные связи типологических комплексов в горных условиях наиболее сильно проявляются в рамках водосборных бассейнов, где многие исследователи выделяют формирование бассейновой организации ландшафтов, под которой подразумеваются определенная упорядоченность и целостность ландшафтной структуры в пределах бассейнов [Корытный, 1991; Халатов, 2004; Черных, 2012 и др.]. Проявление региональных особенностей ландшафтной типологической структуры рассмотрено по бассейнам р. Лена, Омолой и Яна, территории которых определены с помощью 4-го уровня данных HydroSHEDS. Региональные особенности соотношений типов ландшафтов (рис. 6) и типов местности (рис. 7) хребта ярко прослеживаются по главным бассейнам рек: Лена, Омолой и Яна. Установленная контрастность позволяет нам предложить выделение факультативных региональных комплексов – подпровинций. На основе подпровинций выделены 23 регионально-типологические единицы.

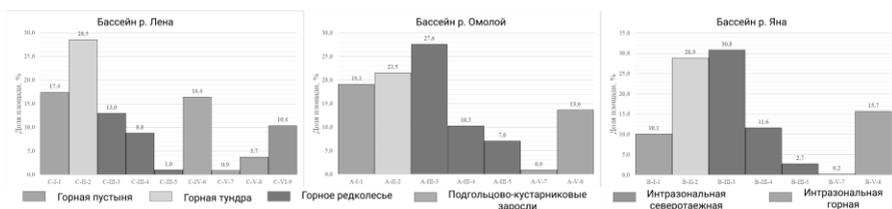


Рис. 6. Соотношения типов ландшафтов Орулганской среднегорной провинции (составлено автором)

Западная подпровинция (бассейн р. Лена). Доминирующими типами ландшафтов являются горная тундра и горное редколесье. По глубоким поперечным речным долинам широко распространены интразональные

северотаежные долинные ландшафты. Подгольцово-кустарниковый тип высотного ландшафта занимает примерно 16,4% территории бассейна. Наиболее распространенными являются типы местности эрозионно-тектонического происхождения: склоновый коллювиальный и склоновый делювиально-коллювиальный. Среднегодовая температура воздуха высотно варьирует от -13,9 °С в горных пустынях до -12,2 °С в интразональных северотаежных ландшафтах днищ долин.

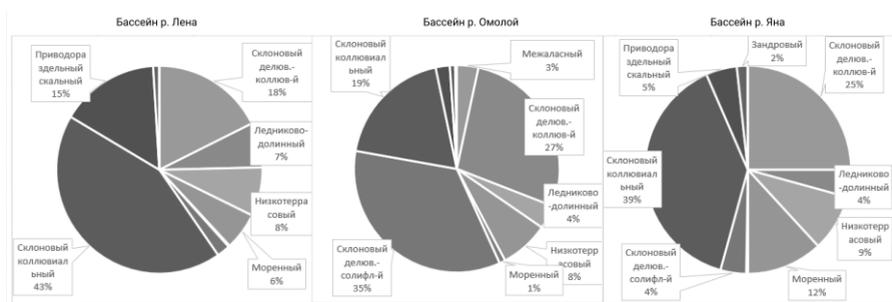


Рис. 7. Соотношения типов местности Орулганской среднегорной провинции (составлено автором по данным [Федоров и др., 2018])

Северо-Восточная подпровинция (бассейн р. Омолой). Доминирующим типом ландшафтов является горное редколесье, которое отличается относительно высокой долей лиственничных редин и марей. Северным расположением и большими площадями лиственничных редин обусловлено широкое распространение делювиально-солифлюкционного типа местности. Среднегодовая температура воздуха варьирует от -15,2 °С в горных пустынях и до -14,8°С в интразональных горноредколесных ландшафтах.

Восточная подпровинция (бассейн р. Яна). Янский бассейн представлен бассейнами притоков р. Бытантай и р. Дулгалах. Бассейн включает области неотектонических поднятий со значительными площадями поверхностей выравнивания и надпойменных террас современных рек. Поэтому в типах местности значительные площади заняты моренами и зандровыми равнинами. В соотношении типов ландшафтов преобладает горное редколесье. Среднегодовая температура воздуха варьирует от -14,6 °С в горных пустынях и до -13,9°С в интразональных северотаежных ландшафтах.

По полученным данным составлена ГИС база данных по подбассейнам HydroSHEDS 12 уровня. С помощью кластерного анализа с использованием алгоритма К-средних [MacQueen, 1967] получены 6 кластеров парадинамических бассейновых комплексов, объединенных схожей типологической структурой мерзлотных ландшафтов и набором ландшафтно-морфологических характеристик (рис. 8).

1. Высокогорные горнопустынные водосборные бассейны с комплексом горнотундровой растительности в долинах рек (амплитуда высот: 600-

2000 м, индекс увлажнения: 0,9...2,4, температура пород: -13...-5 °С, индекс пересеченности местности: 20...30°, индекс лесистости: >0,03, мощность СТС в долине: 0,4...0,8).

Высокогорные участки хребта Орулган преимущественно приурочены к восточным склонам с чередованием широких ледниковых долин с дриадово-разнотравной тундрой и троговыми долинами. Древесный ярус отсутствует. Долины и прилегающие пологие склоны, покрытые дриадово-разнотравной тундрой, являются летними пастбищами оленей.

2. *Высокогорные горнопустынные водосборные бассейны с комплексом северотаежной растительности в долинах рек* (амплитуда высот: 300-2000 м, индекс увлажнения: 0,7...2,0, температура пород: -13...-2 °С, индекс пересеченности местности: 25...35°, индекс лесистости: 0,03-0,3, мощность СТС в долине: 0,5...1,0).

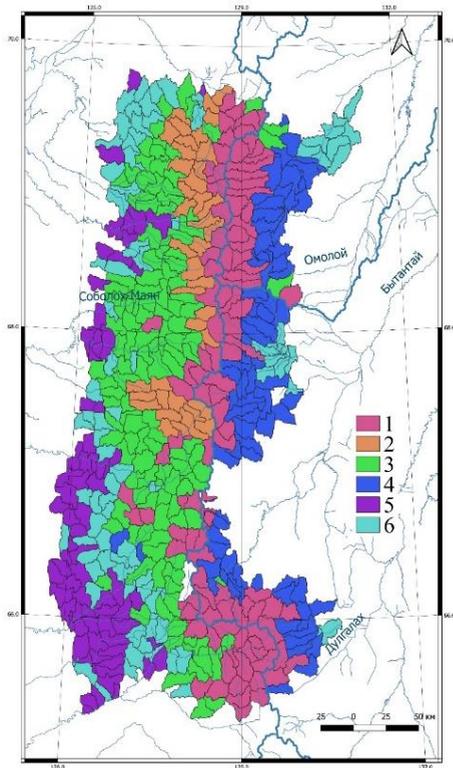


Рис. 8. Варианты парадинамических бассейновых комплексов мерзлотных ландшафтов хребта Орулган (легенда карты в тексте) (составлено автором)

Приурочены к главному водоразделу хребта и к западным склонам. Характерны перепады высот между водоразделом и дном долины. Склоны крутые коллювиальные, древесный ярус хорошо выражен на склонах восточной и западной экспозиции и в долинных комплексах, выделяются подгольцово-кустарниковые заросли кедрового стланика. В хозяйственном отношении северотаежные леса долин используются для лесозаготовки, в силу относительно высокого бонитета лесов. Значительная часть парадинамических комплексов расположена в ресурсном резервате «Орулган-Сис», где под охраной находятся снежные бараны и черношапочный сурок [Софронов, 2008].

3. *Среднегорные горнотундровые водосборные бассейны с комплексом северотаежной растительности в долинах рек* (амплитуда высот: 250-1450 м, индекс увлажнения: 0,6...1,1, температура пород: -11...-2 °С, индекс пересеченности местности: 20...30°, индекс лесистости: 0,25-

0,45, мощность СТС в долине: 0,5...1,0).

Ландшафтный профиль варианта парадинамического комплекса представлен полным спектром высотных ландшафтов. Долины рек практически полностью покрыты лиственничными лесами и комплексами ивовых и ольховниковых сообществ. Присутствуют редкие участки заболоченных лугов и болот. Данная часть западного склона хребта мало задействована в хозяйственной деятельности человека.

4. *Среднегорные горнотундровые водосборные бассейны с комплексом горноредколесной растительности в долинах рек* (амплитуда высот: 400-1700 м, индекс увлажнения: 0,8...1,5, температура пород: -11...-4 °С, индекс пересеченности местности: 20...30°, индекс лесистости: 0,05-0,2, мощность СТС в долине: 0,8...1,4).

Занимают горно-ледниковые долины и средневысотные, местами плоские вершины гор восточного склона хребта. Долины широкие с обширными слабонаклоненными участками задровых равнин и моренных гряд, занятых лиственничными рединами, марьями и заболоченными лугами. Используются в качестве оленьих пастбищ, в том числе зимних, реже для заготовки сена и выпаса лошадей и крупного рогатого скота на обширных заболоченных лугах в пологих склонах.

5. *Низкогорные подгольцово-кустарниковые заросли водосборные бассейны с комплексом северотаежной растительности в долинах рек* (амплитуда высот: 150-1200 м, индекс увлажнения: 0,5...0,9, температура пород: -8... -2 °С, индекс пересеченности местности: 10...25°, индекс лесистости: 0,4-0,7, мощность СТС в долине: 0,5...1,0).

Занимают западные предгорья хребта с высотой до 1200 м. Вершины часто заняты лесами или хорошо выраженными подгольцово-кустарниковыми зарослями. Высотные переходы ландшафтов слабо выражены. Долины рек становятся широкими, с большими площадями безлесных ландшафтов с активным развитием криогенного микрорельефа с болотными и заболоченными лугами.

6. *Низкогорные горнотундровые водосборные бассейны с комплексом горноредколесной растительности в долинах рек* (амплитуда высот: 300-1100 м, индекс увлажнения: 0,6...0,9, температура пород: -11...-4 °С, индекс пересеченности местности: 10...20°, индекс лесистости: 0,1-0,2, мощность СТС в долине: 0,8...1,4).

Данный вариант парадинамических комплексов распространен в северной части хребта. Лесистость бассейнов невысокая, склоны и днища долин чаще всего заняты тундрой, либо лиственничными рединами. В рельефе преобладают пологие склоны и слабонаклоненные участки задровых волнистых равнин со сфагновыми болотами и разнотравно-злаковыми заболоченными лугами. Хозяйственная значимость состоит в заготовке сена, выпасе лошадей. На восточном склоне по р. Тумара и Тара-Сала в последнее время начали осваивать туристско-рекреационный потенциал территории, связанный с рыболовством, этнотуризмом и сбором лекарственных растений.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

Для достижения намеченной цели диссертационной работы были выполнены все поставленные задачи, что позволило получить основные результаты и сделать следующие выводы:

1. В результате анализа мерзлотных ландшафтов репрезентативных ключевых участков исследования на восточном склоне хребта Орулган определены ведущие факторы формирования пространственной организации: неоднородность геолого-геоморфологического строения и развитие криогенного микрорельефа. Структурно-генетическая сложность и ландшафтное разнообразие хребта подтверждается выделением 26 подурочищ.

2. Ландшафтная структура района исследования на восточном склоне хребта Орулган представлена 8 типами местности и 22 типами урочищ, которые были выделены в результате применения, разработанной нами методики геоинформационного моделирования. Геоинформационное моделирование позволяет выявить детальную пространственную структуру и проводить среднемасштабное мерзлотно-ландшафтное картографирование с использованием разновременных многозональных спутниковых оптических изображений, полуавтоматической классификации форм рельефа по индексам топографической позиции.

3. Проведенный анализ ландшафтной структуры позволяет рассматривать свойства пространственной организации. Упорядоченность прослеживается в геоморфологической поперечной структуре бассейнов, функциональные связи усиливаются по вектору склона к днищу долины. Сложность и разнообразие днищ долин и пологих склонов обусловлены развитием криогенных процессов, что отражается на пространственной дифференциации типов урочищ и подурочищ.

4. С использованием вычислительных мощностей облачной платформы Google Earth Engine разработана вариация методики геоинформационного моделирования высотно-поясных и интразональных типов мерзлотных ландшафтов. На ее основе получены новые сведения о ландшафтной структуре Орулганской среднегорной провинции. Преобладающим типом высотно-поясных мерзлотных ландшафтов является горная тундра (43%), установлена значительная доля интразональных горноредколесных (7,2%) и северотаежных (7%) ландшафтов. Подгольцово-кустарниковые заросли характерны только для южной части западного склона хребта. Северотаежные леса по долинам рек почти достигают главного водораздела хребта, чему способствуют углубленные, широкие долины рек.

5. Совокупность особенностей совместного проявления климатогенного и криолитогенного факторов хорошо дифференцируется по главному водоразделу хребта, что позволяет выделить три довольно контрастных склона, приуроченных к бассейнам р. Лена, Омолой и Яна. Анализ результатов вычисления ландшафтно-морфологических показателей по главным

бассейнам хребта позволил установить их различия и обосновать выделение в их пределах 3-х физико-географических подпровинций, которые различаются по составу доминантных и субдоминантных типов ландшафтов и местности. Нами составлены мерзлотно-ландшафтная карта хребта Орулган в масштабе 1:1 500 000 и легенда с выделением 23 регионально-типологических единиц мерзлотных ландшафтов.

б. Кластерный анализ ландшафтно-морфологических показателей по речным бассейнам позволил выделить 6 вариантов парадинамических бассейновых комплексов на территории хребта. Варианты отличаются по составу и пространственной организации высотно-поясных и долинных ландшафтов, что позволяет сделать выводы о хозяйственной значимости подбассейнов как функционально-целостных единиц. Выделенные нами варианты парадинамических бассейновых комплексов могут быть использованы при создании или пересмотре статусов территорий традиционного природопользования, особо охраняемых природных территорий и для, в целом, ведения рациональной политики природопользования в криолитозоне.

РАБОТЫ, ОПУБЛИКОВАННЫЕ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в рецензируемых научных изданиях

1. **Захаров, М.И.** Анализ ландшафтной структуры восточного склона хребта Орулган / **М.И. Захаров**, Ю.Г. Данилов, С. Гадаль [и др.] // Успехи современного естествознания. – 2022. – № 3. – С. 49-55.

2. **Захаров, М.И.** Мерзлотные ландшафты восточного склона хребта Орулган (на примере ключевого участка озера Булгунняхтах / **М.И. Захаров**, Ю.Г. Данилов, С. Гадаль [и др.] // Международный научно-исследовательский журнал. – 2022. – № 3 ч. 2. – С. 68-72.

3. Gadal, S. Alas Landscape Modeling by Remote Sensing Image Analysis and Geographic Ontology: Study Case of Central Yakutia (Russia) / S. Gadal, **M. Zakharov**, J. Kamičaitytė, Y. Danilov // In Proceedings of the 6th International Conference on Geographical Information Systems Theory, Applications and Management – 2020. – Volume 1 – p.112-118.

Публикации в других изданиях и материалы конференций:

4. **Zakharov, M.** Mapping Siberian Arctic Mountain Permafrost Landscapes by Machine Learning Multi-Sensors Remote Sensing: Example of Adycha River Valley / **M. Zakharov**, S. Gadal, Y. Danilov, J. Kamičaitytė // In Proceedings of the 7th International Conference on Geographical Information Systems Theory, Applications and Management – 2021. – Volume 1 – p. 125-133.

5. **Zakharov, M.** Vegetation cover analysis of the mountainous part of north-eastern Siberia by means of geoinformation modelling and machine learning (basic principles, approaches, technology and relation to geosystem science) / **M. Zakharov**, M. Cherosov, E. Troeva, S. Gadal // BIO Web of Conferences, Northern Asia Plant Diversity – 2021. – №38 – 5 p.

6. **Захаров, М.И.** Применение методов геоинформационного моделирования для изучения пространственной структуры растительного покрова Орулганской

среднегорной ландшафтной провинции (Северо-Восточная Якутия) / **М.И. Захаров**, М.М. Черосов, Е.И. Троева, С. Гадаль // Роль ботанических садов в сохранении и обогащении природной и культурной флоры: материалы Всеросс. конф. с международным участием. - Якутск: Издательский дом СВФУ – 2021. – С.122-128.

7. **Zakharov, M.** Remote Sensing of Mountain Permafrost Landscape by Multi-Fusion Data Modeling. Example of Verkhoyansk Ridge (Russia). / **M. Zakharov**, S. Gadal, Y. Danilov, J. Kamičaitytė // IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium – 2020. – P.3082-3085.

8. Иванов, А.В. Моделирование метеоусловий в районе порта и в прибрежной зоне залива Тикси / А.В. Иванов, С.В. Стрижак, **М.И. Захаров** // Труды ИСП РАН - 2019. - 31– P.163-176.

9. **Zakharov, M.** Environmental Vulnerability Modeling in the Extensively Urbanized Arctic Center Integrating Remote Sensing, Landscape Mapping, and Local Knowledge / **M. Zakharov**, S. Gadal, Y. Danilov, J. Kamičaitytė, A. Savvinova // EGU General Assembly – 2021. – 1 p.

10. **Захаров, М.И.** Изменение почвенно-растительного покрова и трансформация ландшафта (на примере долины Эркесни) / **М.И. Захаров**, С. Гадаль // Сборник материалов V республиканской научно-практической конференции, посвященной 105-летию со дня рождения А.И. Сивцевой. Якутск. - 2019. - С.163-166

11. **Zakharov, M.** Permafrost Landscape's Structure Categorisation Based on Land Cover, Digital Elevation Model and Land Surface Temperature on Verkhoyansk Mountain Range / **M. Zakharov**, S. Gadal, Y. Danilov // 3rd International Land Use Symposium on Land use changes: Trends and projections, Paris. – 2019. – 1 p.

ЗАХАРОВ Моисей Иванович

ПРОСТРАНСТВЕННАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ МЕРЗЛОТНЫХ ЛАНДШАФТОВ ХРЕБТА
ОРУЛГАН

Автореф. дис. на соискание ученой степени кандидата географических наук

Подписано к печати 17.05.2022 г. Формат 60×84 1/16. Объем 1,5 п.л. Тираж 130 экз. Заказ № 39.

Издательство ФГБУН Институт мерзлотоведения им. П. И. Мельникова СО РАН.

677010, г. Якутск, ул. Мерзлотная, 36, ИМЗ СО РАН.1.