

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени М. В. ЛОМОНОСОВА

На правах рукописи

Колегов Павел Петрович

**Строение и динамика обвально-осыпных форм рельефа
Северного Приохотья**

1.6.14. Геоморфология и палеогеография

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание учёной степени
кандидата географических наук

Москва — 2026

Диссертация подготовлена в лаборатории геологии кайнозоя и палеомагнетизма Северо-Восточного комплексного научно-исследовательского института им. Н. А. Шило Дальневосточного отделения Российской академии наук.

Научный руководитель: *Глушкова Ольга Юрьевна,*
кандидат географических наук

Официальные оппоненты: *Болысов Сергей Иванович,*
доктор географических наук, профессор, профессор кафедры геоморфологии и палеогеографии географического факультета Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова

Субетто Дмитрий Александрович,
доктор географических наук, доцент, декан факультета географии Российского государственного педагогического университета им. А. И. Герцена

Лебедева Екатерина Владимировна,
кандидат географических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории геоморфологии Института географии Российской академии наук

Защита диссертации состоится «21» мая 2026 г. в 15 часов 00 минут на заседании диссертационного совета МГУ.016.4 Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова по адресу: г. Москва, ГСП-1, Ленинские горы, д. 1, Географический факультет, 18 этаж, ауд. 1807.

E-mail: dissovet.geogr.msu@gmail.com

С диссертацией можно ознакомиться в отделе диссертаций научной библиотеки МГУ имени М. В. Ломоносова (Ломоносовский просп., д. 27) и на портале: <https://dissovet.msu.ru/dissertation/3820>

Автореферат разослан «23» марта 2026 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
кандидат географических наук

Е. Ю. Матлахова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. В условиях современных климатических трендов, характеризующихся повышением температуры и изменением характера осадков [Груза, Ранькова, 2004; Vincent et al., 2018], изучение гравитационных процессов становится ключевым элементом в предотвращении природных катастроф и адаптации к изменяющимся условиям окружающей среды [Голицын, Васильев, 2019]. Полученные данные необходимы для разработки эффективных стратегий по минимизации рисков и смягчению негативных последствий для окружающей среды.

В этом ключе изучение обвально-осыпных форм рельефа в горах Северного Приохотья приобретает особое значение, поскольку позволяет более детально понять геологические и геоморфологические закономерности развития рельефа и формирования ландшафтов в горных районах, а также в районах распространения многолетнемерзлых пород. Что, в свою очередь, дает возможность реконструировать палеогеографические обстановки новейшего времени, в частности условия осадконакопления и формирования аккумулятивных форм, а также связанные с этим климатические тренды. До настоящего времени геоморфологические исследования проводились преимущественно в рамках региональных работ, направленных на определение распространённости и выявление общих характеристик склоновых процессов и обусловленных ими форм рельефа [Каплина, 1965; Титов, 1970; Суходровский, 1979; Богачев и др., 1994; Галанин, Смирнов, 2004; Галанин, 2009, и др.]. Однако полученные результаты не дают полного ответа на фундаментальные вопросы о возникновении, развитии и взаимосвязи обвально-осыпных форм с географическими, геоморфологическими и геологическими факторами.

Цель исследования — выявить свойства и условия образования коллювиальных конусов выноса в среднегорных обстановках Северного Приохотья на примере центральных частей гор Дел-Урэкчэн и Туманского хребта.

Задачи исследования:

1. Проанализировать историю исследований и ключевые проблемы коллювиального морфолитогенеза;
2. Описать физико-географические, геоморфологические и геологические условия Северного Приохотья;
3. Выявить пространственное распределение обвально-осыпных форм Северного Приохотья в обстановках среднегорья с крутыми и средней крутизны склонами в общем, и альпинотипного среднегорья в частности;
4. Определить связи между морфометрическими параметрами осыпных форм и типом материнских пород территории исследования;
5. Установить морфологию, минимальный возраст и динамику развития коллювиальных конусов выноса горных регионов за последние 1000 лет.

Объект исследования — обвально-осыпные формы рельефа, развитые в Северном Приохотье. **Предметом** исследования является морфология, динамика и время экспонирования поверхности (минимальный возраст) обвально-осыпных форм.

Фактический материал и личный вклад автора. В основу диссертации положены материалы, собранные автором во время работы в лаборатории геологии кайнозоя и палеомагнетизма СВКНИИ ДВО РАН, а также на материалах полевых работ, выполненных в период 2010–2020 гг. на 9 ключевых участках (120 т. н.), представленных обвально-осыпными склонами и сопутствующими формами рельефа. Лихенометрическое датирование экспонированных поверхностей осыпей проведено на 110 площадках, на которых выполнено 10 383 замера талломов *Rhizocarpon* sp. Исследования выполнялись в рамках Госзаданий по программе НИР СВКНИИ ДВО РАН «Эволюция природной среды Арктики и Северной Пацифики в кайнозое» (номера гос. рег. 01200953808, 01201350147, АААА-А17-117022850034-3, 121031700311-4), а также по Проекту РФФИ № 15-05-05055 «Активные разломы и палеосейсмодислокации на юго-восточном фланге сейсмического пояса Черского».

Кроме того, на основе дешифрирования крупномасштабных космических снимков (до 2 м/пиксель) и анализа геологических карт масштаба 1 : 200 000, а также ЦМР Arctic DEM (2 м/пиксель) создана геоинформационная система «Коллювиальные конусы Северного Приохотья», которая содержит каталог осыпей с морфометрическими характеристиками (4400 объектов), геологические и топографические основы, схему распространения многолетнемерзлых пород, а также схемы активных разломов и эпицентров землетрясений.

Методология и методы исследования. Основа диссертационной работы выполнена с применением системного и ситуационного подходов. В работе применялись следующие методы: геологический, геоморфологический, дешифрирование аэрокосмических изображений, картографический, геопространственный, а также статистический.

Дешифрированию подверглись коллювиальные конусы выноса, а также другие формы рельефа, которые пространственно сопряжены с изучаемыми объектами. В качестве материалов для дешифрирования использовались спутниковые изображения, полученные с картографических сервисов компаний Google, Bing, ArcGIS World Imagery и Яндекс, а также спектрально-анализные изображения с аппарата Sentinel-2.

Полевые наблюдения проведены на ключевых участках, с геолого-геоморфологическое описание осыпей и лихенометрическим датированием их экспонированной поверхности.

Обработку полевых материалов и данных дешифрирования орбитальных снимков осуществляли с использованием геопространственного и статистического анализом в программных средах Qgis, R и Python.

Научная новизна. Впервые показано пространственное распределение обвально-осыпных форм в районах, имеющих разные орографические характеристики и сложенных различными по составу горными породами.

Составлены схемы распространения обвально-осыпной морфоскульптуры в горах Дел-Урэкчэн и в Туманском хребте.

Детально изучены морфометрические и литологические характеристики обвалов и осыпей, определены время экспонирования (интерпретируется как минимальный возраст формы рельефа) и скорости смещения обломочного материала в локализованных осыпных потоках.

Создана геоинформационная система «Коллювиальные конусы Северного Приохотья», содержащая информацию о географическом, геоморфологическом и геологическом строении региона, района и ключевых участков; данные о пространственном положении и морфологии выделенных обвально-осыпных форм в центральных частях гор Дел-Урэкчэн и Туманского хребта. Все данные имеют атрибутивные таблицы с различным наполнением.

Практическая значимость. Получена новая информация об особенностях динамики осыпных форм на территории Северного Приохотья, которая может быть использована при выполнении инженерно-изыскательских работ, при строительстве производственной и гражданской инфраструктуры, прокладке дорог в горных районах Магаданской области.

Защищаемые положения

1. Общая площадь поверхности с активно протекающими гравитационными процессами в Северном Приохотье — около 10 %. Образование обвально-осыпных форм происходит в двух геоморфологических обстановках: в эрозионно-денудационном среднегорье (широкий диапазон скорости транспортировки обломков 0,14–1,86 м/год и динамического возраста поверхности 264–858 лет); в карах и трогах гляциального среднегорья (узкий диапазон скорости транспортировки 0,33–0,79 м/год и динамического возраста 260–540 лет).
2. В Северном Приохотье выделяются два типа коллювиальных конусов по площади — малые (преимущественно до 5000 м²) и крупные, которые статистически различаются по морфометрическим показателям, внешнему облику и строению.
3. Морозное выветривание, обеспечивающее в регионе поступление основной массы обломков в коллювиальные конусы выноса, максимально активно в весенний период (апрель–май — 52 % от общего числа заморозков), в меньшей степени осенью (сентябрь–октябрь — 35 %).
4. Медианное значение площади осыпей одного типа на интрузивных массивах превышает аналогичные показатели для эффузивных

покровов в 3 раза, для терригенных пород — в 1,5 раза, что отражает градацию устойчивости литолого-петрографических комплексов к денудационным процессам.

Степень достоверности полученных результатов обеспечивается значительным объёмом собранного и проанализированного фактического материала лично автором, высокими требованиями к выбору и использованию исходных данных, а также совокупностью применённых в работе методов. Результаты неоднократно представлялись на всероссийских конференциях и в публикациях рецензируемых научных изданий, что подтверждает их достоверность.

Апробация работы. Результаты исследования докладывались и обсуждались на региональной научной конференции аспирантов, соискателей и молодых ученых «Идеи, гипотезы, поиск...» [2011; 2015, Магадан], межрегиональной молодежной конференции «Научная молодёжь — Северо-Востоку России» [2012; 2014а; 2016а; 2018; 2020, Магадан], Всероссийской научной конференции «Чтения памяти академика К. В. Симакова» [2013, Магадан], Всероссийской конференции «Диковские чтения» [2014б, Магадан], Всероссийской научной конференции «Геология, география, биологическое разнообразие и ресурсы Северо-Востока Азии» [2011; 2016, Магадан], Всероссийской конференции «Активные разломы и их значение для оценки сейсмической опасности: современное состояние проблемы» [2014, Воронеж], X Всероссийском совещании по изучению четвертичного периода «Фундаментальные проблемы квартера: итоги изучения и основные направления дальнейших исследований» [2017а, Москва], Всероссийской конференции с международным участием «Тектоника, глубинное строение и минерагения Востока Азии: XII Косыгинские чтения» [2024б, Хабаровск], форумах «Наука Северо-Востока России: фундаментальные и прикладные исследования в Северной Пацифике и Арктике» [2020, Магадан] и «Север и Арктика: геология, экономика, история» [2024а, Магадан], а также на заседаниях Ученого совета СВКНИИ ДВО РАН и кафедры Геоморфологии и палеогеографии МГУ.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 7 научных работ, в том числе 7 статей в рецензируемых научных изданиях, индексируемых в базе ядра Российского индекса научного цитирования «eLibrary Science Index». Во всех опубликованных работах вклад автора является определяющим.

При подготовке текста диссертации и автореферата использованы тексты статей, выполненных автором лично [Колегов, 2016б, 2019, 2021, 2023, 2025] и в соавторстве [Смирнов и др., 2017б; Колегов и др., 2025], в которых, согласно Положению о присуждении учёных степеней в МГУ, отражены основные результаты, положения и выводы исследования. В публикации [Смирнов и др., 2017б] личный вклад автора является определяющим, им подготовлено определение возраста экспонированных поверхностей посредством лихенометрического и дендрохронологического анализов.

Объём и структура работы. Диссертация общим объёмом 198 страниц состоит из введения, 5 глав, заключения; иллюстрирована 73 рисунками и 14 таблицами. Список литературы включает 134 наименования из них 30 на иностранном языке.

Благодарности. Автор выражает глубокую признательность научному руководителю к. г. н. О. Ю. Глушковой за постоянное сотрудничество, за проведение совместных полевых работ, а также д. г. н., проф. В. Н. Смирнову за советы, консультации и совместные экспедиции. Автор также благодарит своих коллег к. г.-м. н. М. Н. Кондратьева, С. Д. Шведова, к. г.-м. н. Г. О. Ползуненкова, к. г.-м. н. В. В. Прийменко за участие в проведении полевых работ и за обсуждение отдельных аспектов диссертационного исследования. Автор считает необходимым отметить большую роль ныне покойного д. г. н. А. А. Галанина в руководстве работой на начальном этапе исследования и поблагодарить за рекомендации, оставленные им в рецензиях на подготовленные автором статьи. На финальном этапе работы хотелось бы выразить благодарность сотрудникам кафедры Геоморфологии и палеогеографии МГУ. Отдельная благодарность коллективу СВКНИИ ДВО РАН за помощь в организации и проведении полевых работ.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Введение

Введение содержит обоснование актуальности темы, формулировку цели и задач диссертационного исследования. Определены научная новизна и практическая значимость полученных результатов, а также изложены основные положения, выносимые на защиту.

Глава 1. Склоновые процессы: история изученности и формулировка проблемы

С развитием геоморфологической теории проблема формирования склонов всегда притягивала внимание исследователей, таких как В. Пенк, В. Дэвис, Л. Кинг, С. Воскресенский, И. Щукин и многих других. Дискуссионными остаются вопросы о степени влияния климатических условий на развитие склонов, их роли при совместном проявлении с тектоническим фактором; в каких обстановках происходит выполаживание склонов, а в каких их отступление параллельно самим себе [Симонов, 1972]. Эти и другие вопросы вызывают оживлённые споры, основной причиной которых можно назвать дискретность (локальность) исследований на фоне непрерывной поверхности рельефа Земли, с её разнообразием географических, геологических и других условий протекания этих процессов.

Проведенные ранее исследования на Северо-Востоке Азии в период 1930–1990 гг. носили в основном описательный характер и посвящены были десерпционным и солифлюкционным склонам подверженных многолетнему

промерзанию [Каплина, 1965; Титов, 1970; Суходровский, 1979; Говорушко, 1986, и др.]. В 1990–2020 гг. фокус исследований сместился на специфические формы рельефа (палеосейсмодислокации, каменные глетчеры и др.) или ареалы распространения последних оледенений [Богачев и др., 1994; Смирнов, 1995; Смирнов и др., 2001, 2018; Пахомов, Смирнов, 2002; Галанин, 2009; Глушкова и др., 2015; Глушкова, Смирнов, 2018]. Проблемы определения времени экспонирования и скорости смещения обломочного чехла горных склонов до сих пор ещё мало изучены, так как их методы исследования являются трудозатратными (траншеи-ловушки и др.), либо дорогостоящими (космоизотопные).

В диссертации исследуется проблема развития горных склонов в условиях широкого разнообразия геоморфологических условий и сложного геологического строения территории. Из этой проблемы выделен один аспект, который отражает наиболее динамичную часть склонового морфолитогенеза — изучение обвально-осыпной форм рельефа, а в качестве метода датирования применен лихенометрический анализ.

Глава 2. Терминология и методы исследования

Объекты исследования и классификации. Коллювиальные конусы выноса представляют собой уникальный и сложный объект исследования в контексте обвально-осыпных форм, поскольку они наглядно отражают процессы массопереноса, комплексное воздействие физико-географических, геоморфологических и геологических факторов в районах, главным образом, среднегорий и высокогорий.

*Коллювиальный конус** — это выпуклое в поперечном и прямое или вогнутое в продольном профиле веероподобное образование, наклонённое и прислонённое узким верхним концом к склону. Он состоит из продуктов выветривания материнских пород, перемещённых вниз по склону, и образует тело коллювиальных отложений. Являясь частью осыпного склона средней крутизны, коллювиальные конусы формируются в местах выполаживания склона в небольших поперечных понижениях, которые образованы в результате трансформации плоскостного смыва в локальный линейный сток, способствующий выносу песчаного материала. Ниже по склону преобладает концентрированное движение обломочного материала вдоль этих понижений. По мере развития формы происходит денудация ложа склона в области питания и транзитной зоны, что увеличивает скорость поступления и транзита обломков в тело коллювиального конуса. Область питания представлена литосборной воронкой или отдельными выходами коренных горных пород. Обломочный материал смещается вниз к подножью склона в область разгрузки, где аккумулируется и формирует тело

*В рамках настоящего диссертационного исследования термин «коллювиальный конус» понимается в расширенном значении: не только как аккумулятивная форма рельефа, образованная процессом осыпания, но и как вся обвально-осыпная система, включающая область денудации (питания и транзита материала).

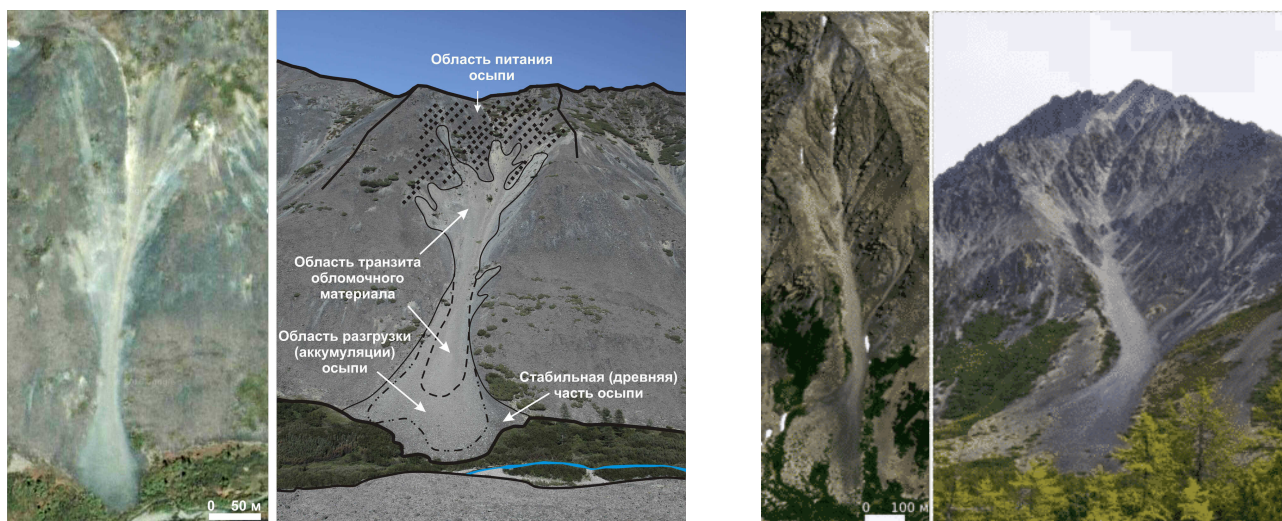


Рисунок 1 — Виды коллювиальных конусов: малые (слева) и крупные формы (справа) коллювиального конуса. В рамках диссертационной работы выделены два вида осыпей — малый и крупный коллювиальный конус (рисунок 1).

Малый коллювиальный конус (рисунок 1, слева) — формируется на ровных или слабо расчленённых склонах средней длины (до 1 км) и высоты (до 1 км). Осыпи имеют следующую морфометрию: осреднённая крутизна поверхности — 25–30°, относительная высота — до 200 м, длина формы — до 500 м, ширина основания — от 5 до 150 м, площадь формы — от 2500 до 10 000 м². Область питания представлена единичными коренными выходами или литосборной воронкой.

Крупный коллювиальный конус (рисунок 1, справа) приурочен главным образом к длинным (до 2,5 км) и высоким (до 1,5 км) осыпным склонам, уже имеющим расчленённое строение (в верхней части склона), и обладающим многочисленными каналами сноса (стока) обломочного материала, которые в свою очередь объединяются потоками, формируя крупный и глубокий кулуар (лоток), в основании которого сформирован веер коллювиальных отложений. Материал в области питания поступает с крутых бортов, скалистых стенок, а также вливающихся мелких коллювиальных конусов. Морфометрические характеристики крупных форм: осредненная крутизна поверхности — 25–27°, относительная высота — 200–500 м, длина формы — от 500 до 1500 м, ширина основания — от 150 до 300 м, площадь формы — от 5000 до 100 000 м².

Методы исследования определены согласно поставленным задачам, а именно: для описания физико-географических, геоморфологических и геологических условий Северного Приохотья использованы описательный, обобщающий, геоморфологический и геологический методы; для выявления пространственного распределения обвально-осыпных форм было проведено дешифрирование обвально-осыпных форм на территории и геопространственный анализ выделенных форм; для выявления закономерности между морфометрическими параметрами осыпных форм, их крупностью, геоморфологическими обстановками и типом материнских

пород применены статистические методы проверки нулевых гипотез; морфологию, минимальный возраст поверхности и динамику смещения обломочного чехла коллювиальных конусов выноса описывали и определяли непосредственными полевыми наблюдениями и лихенометрическим методом датирования.

Определение времени экспонирования поверхности лихенометрическим методом проведено по формуле $t = 1000 \cdot \ln\left(-\frac{1}{d-230}\right) + 5438,02$, где t — возраст таллома, d — максимальный диаметр лишайника. Формула пересчитана из функции роста таллома [Галанин, 2001, 2002]: $d = a_0 f(1 - e^{-\frac{t}{f}})$, где a_0 — коэффициент скорости роста лишайника, равный $0,23 \pm 0,03$ мм/год, на высоте 400–800 м н. у. м.; f — коэффициент замедления роста таллома, равный 1000 ± 184 лет.

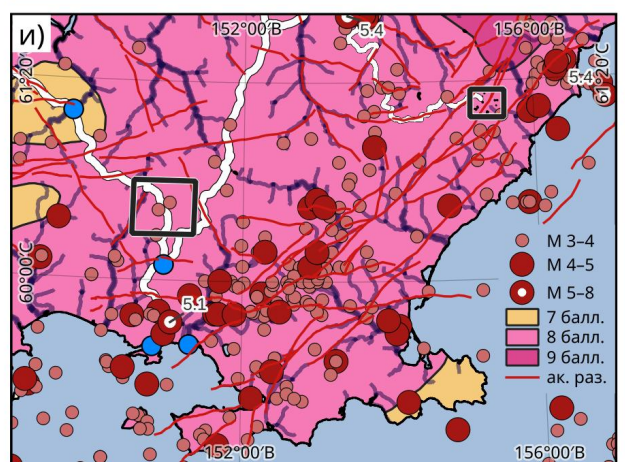
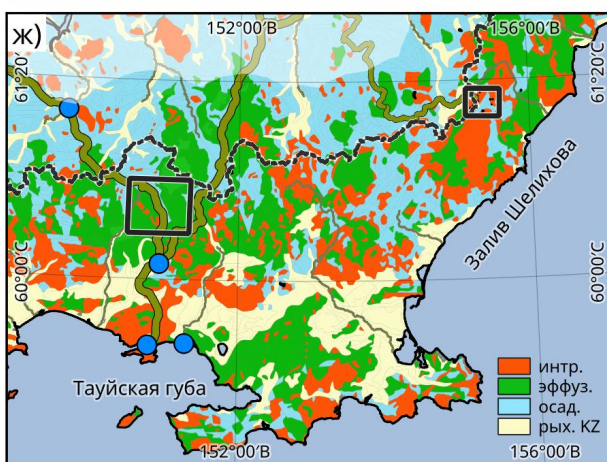
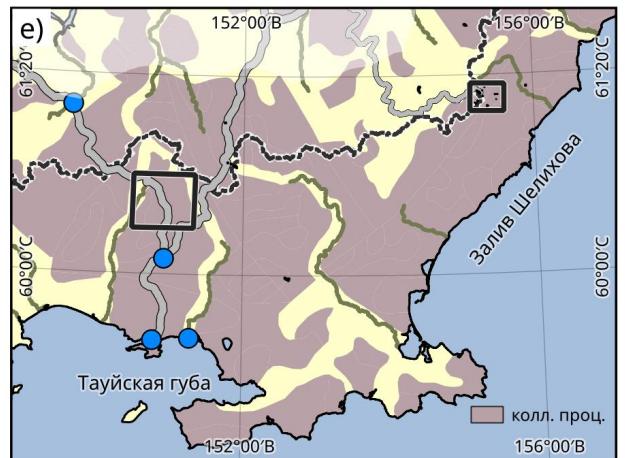
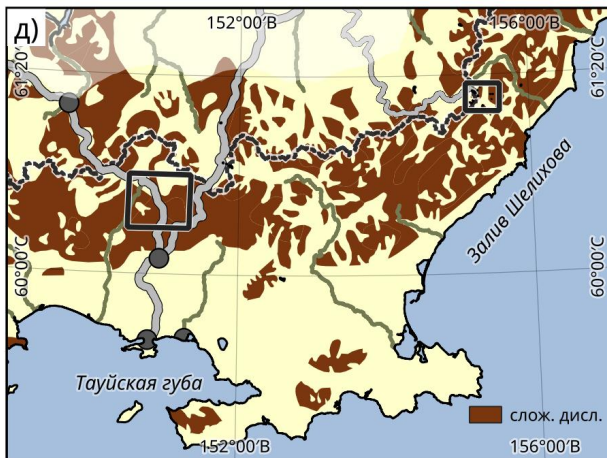
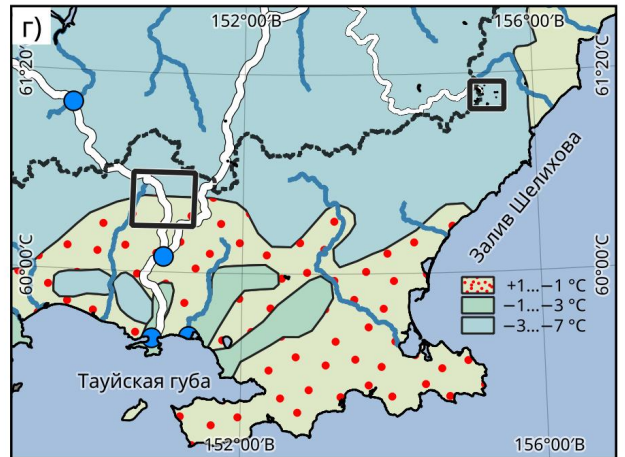
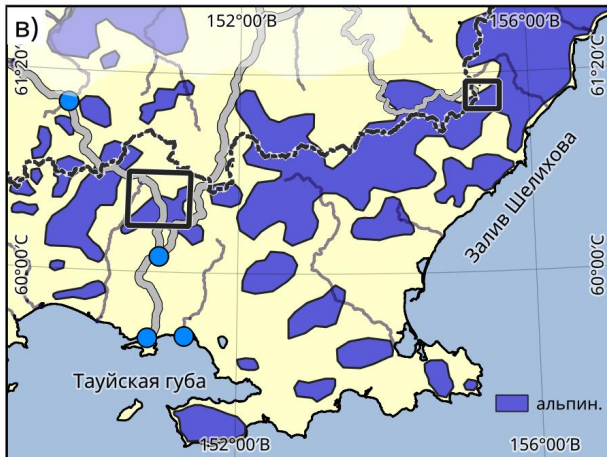
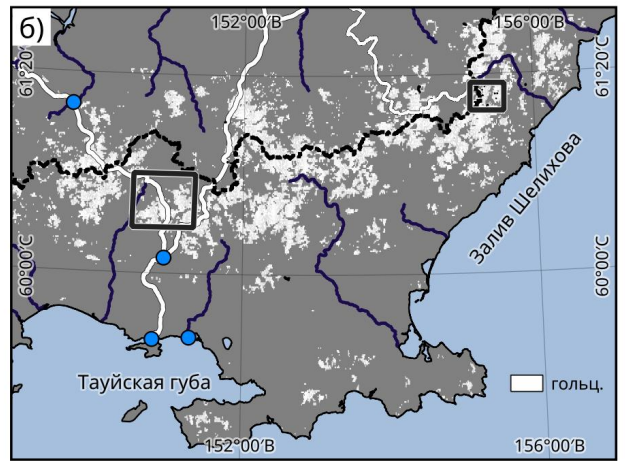
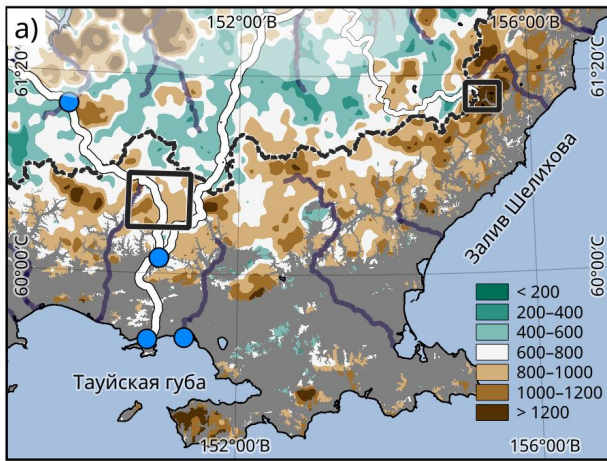
Геопространственный анализ выполнен в программной среде Qgis, на основе базы данных оконтуренных объектов исследования. Морфометрические параметры объектов и склонов рассчитаны из ЦМР ArcticDEM. В качестве источника литолого-петрографического состава использовались геологические карты масштаба 1 : 200 000 (1 и 2 поколение). Всего выделено по космоснимкам 4379 форм, из них по районам, шт.: горы Дел-Урэкчэн — 3024, Туманский хребет — 1355; по подтипам осыпей: малые коллювиальные конусы — 3788, крупные коллювиальные конусы — 451, другие — 140. Статистическая обработка собранных материалов выполнялась в специализированной программной среде R.

Геоморфологические обстановки развития обвального-осыпных форм и районы их изучения. Северное Приохотье характеризуется разнообразным рельефом, включая горные и равнинные территории. Ключевым аспектом геоморфологических исследований обвального-осыпных форм является анализ условий их залегания, определяемых элементами геоморфологических обстановок. В рамках диссертационной работы для детального изучения были выделены следующие обстановки (рисунок 2):

эрозионно-денудационное среднегорье — склоны гор, представленные абсолютными высотами от 500 до 1400 м и вертикальным расчленением

а) расчленённого низко- и среднегорья с абсолютными высотами от 500 до 2000 м. Вертикальная расчленённость, м; б) свободные от растительности верхние ступени среднегорий (гольцовые ландшафты) [eVIIRS Global NDVI, 2023]; в) альпийского среднегорья сформированного последним (сартанским, Q_{III}^1) оледенением [Глушкова, Смирнов, 2021]; г) распространения многолетнемерзлых пород [Национальный..., 2004]; д) выработанного рельефа на субстрате сложно дислоцированных пород [Государственная..., 1992; 1999, с упрощениями]; е) преобладания процессов крипа, обваливания, осыпания и солифлюкции [Карта современной..., 2003, с упрощениями]; ж) распространения магматических (интрузивных и эффузивных) пород [Геологическая..., 1980, с упрощениями]; и) сейсмоактивных зон [Каталог..., 2020; Сейсмологические..., 2022; ОСР-2016-В; Бачманов и др., 2015]; кружки — населенные пункты, линии с обводкой — дороги, прямоугольники — районы работ

Рисунок 2 — Элементы геоморфологических обстановок развития обвального-осыпных форм



от 200 до 1000 м и крутизной склонов от 10 до 30°, свободные от растительности или с частично сомкнутой стланиково-тундровой растительностью. Рельеф склонов выработан на субстрате сложно дислоцированных магматических пород, на которых протекают процессы крипа, осыпания и солифлюкции;

гляциальное среднегорье — склоны гор, представленные абсолютными высотами от 900 до 1800 м, с вертикальным расчленением от 500 до 1500 м и крутизной склонов от 25° и более, свободные от растительности. Рельеф склонов выработан на субстрате сложно дислоцированных магматических пород, подвергшихся процессам экзарации последнего (сарганского, Q_{III}⁴) оледенения. Доминирующие склономоделирующие процессы представлены крипом, осыпанием, обваливанием.

Выделенных два района — горы Дел-Урэкчэн и Туманский хребет — это репрезентативные геолого-геоморфологические обстановки проявления коллювиального морфолитогенеза на Северо-Востоке Азии (эрозионно-денудационное и гляциальное среднегорья).

Глава 3. Физико-географические условия современного рельефообразования

Орогидрография. Рельеф Северного Приохотья в основном низкогорный, вдоль Охотско-Колымского водораздела преобладает среднегорный с максимальными абсолютными отметками 1700–1900 м и представлен различными горно-холмистыми ландшафтами. Главными элементами рельефа являются горные массивы и хребты (горы Дел-Урэкчэн, Туманский хр. и др.), разделённые узкими долинами рек (Армань, Ола, Яна, Яма и др.), а в прибрежной части — низменностями (Ольская, Ямская и др.). Вертикальная расчленённость рельефа в среднем составляет 400–600 м (рисунок 2,а). Распределение крутизны склонов Северного Приохотья (высоты от 500 м) определяется долинами (< 5°) — 17,20 %, нижними частями склонов речных долин (5–15°) — 47,74 %, верхними частями склонов речных долин и межводораздельными пространствами (15–25°) — 29,78 % склонами троговых долин и ледниковыми цирками (> 25°) — 2,28 %.

Ландшафты. Северное Приохотье представлено тремя ботанико-географическими зонами — тундрой, лесотундрой и тайгой. В большинстве случаев низко- и среднегорья покрыты кустарниковыми зарослями либо каменисто-лишайниковыми тундрами, на площади которых формируются делювиально-солифлюкционные отложения. Свободные от растительности склоны характеризуются гольцовыми и стланиково-тундровыми среднегорьями (рисунок 2,б), на которых, кроме указанных отложений, формируются обвальными-осыпными.

Многолетнемёрзлые горные породы в Северное Приохотье представлены тремя типами (рисунок 2,г): островным (с температурой грунтов от плюс 1 до минус 1 °С), прерывистым (от минус 1 до минус 3 °С) и сплошным (от минус 3 °С).

Геологическое строение. В Северном Приохотье выделяются четыре геолого-структурных элемента: 1) триас-раннемеловые орогенные складчатые структуры Яно-Колымской и Кони-Тайгоносской систем; 2) окраинно-континентальные юрско-раннемеловые вулканогенно-осадочные структуры Удско-Мургальской дуги; 3) позднемеловые вулканотектонические структуры Охотско-Чукотского вулканогенного пояса; 4) кайнозойские межгорные впадины [Геологическая..., 1980; Государственная..., 2008; Котляр, Русакова, 2004].

Петрографический анализ материнских пород исследуемой территории (рисунок 2, *жс*) позволил сделать допущение для гравитационных образований о связи крупности формируемого обломочного материала, вовлеченного в транспортировку на склоне, и петрографии материнских пород. Высокая доля вулканических (39,5 %) и интрузивных (22,4 %) пород закономерно приводит к формированию глыб и крупного щебня, а осадочных пород (29,0 % от площади; литифицированные) — мелкоразмерного щебня и дресвы.

Сейсмичность и неотектоническая структура территории определяется активными разломами субширотного, северо-восточного и северо-западного простираний (рисунок 2, *и*), которые расположены в зоне влияния Евразийской, Северо-Американской и Охотской тектонических плит [Имаев и др., 2000; Imaeva et al., 2016; Hindle et al., 2019].

Геоморфологическое строение. Северное Приохотье характеризуется выработанным рельефом, который приурочен к горным сооружениям. В долинах крупных рек и на прибрежных низменностях сформирован аккумулятивный рельеф [Государственная..., 1992; 1999; 2008].

Выработанный рельеф характерен для крутых склонов, формирующих облик альпинотипного среднегорья (рисунок 2, *в, д*). Дифференцированные движения в неогеновый период инициировали склономоделирующие процессы по преобразованию первичных форм рельефа, которые развивались в условиях холодного и достаточно влажного климата. Что способствовало возникновению ледниковых процессов, оказавших существенную роль в преобразовании горных сооружений, сформировав экзарационный тип рельефа, который представлен цирками, карами и троговыми долинами [Глушкова, Смирнов, 2018, 2022; Мавлюдов, Ананичева, 2016, и др.]. В геоморфологическом облике территории хорошо выделяются формы последних трёх оледенений: средне-неоплейстоценовое (Q_{II}^2), поздне-неоплейстоценовые оледенения — зырянское (Q_{III}^2) и сартанское (Q_{III}^4).

Аккумулятивный тип рельефа представлен в основном поймами и надпойменными террасами крупных рек, шлейфами и конусами выноса временных водотоков, холмисто-западинным рельефом морен разных эпох оледенения, низменности представлены пологоволнистыми озёрно-болотными равнинами неогенового и четвертичного возрастов; вдоль прибрежных зон имеются пляжи, береговые валы и террасы, сформированные под воздействием морской абразии и аккумуляции.

Современные геоморфологические процессы представлены различными типами, активно влияющими на формирование основных черт современного рельефа Северного Приохотья. Выделяются следующие основные типы процессов [Карта современной..., 2003]: 1) склоновые (оползни, осыпи, крип и др.), интенсивно формирующие крутые склоны среднегорий (рисунок 2, е); 2) коллювиально-криогенные (солифлюкция, криодесерпция), широко распространённые на склонах гор малой и средней крутизны; 3) флювиальные (русловая эрозия и аккумуляция), определяющие современный рельеф днищ долин; 4) морские (абразия и аккумуляция), разрушение морских берегов и аккумуляция осадков вдоль берегов и на морском дне.

Глава 4. Обвальнo-осыпные формы в различных геоморфологических обстановках Северного Приохотья

Горы Дел-Урэкчэн и Туманский хребет характеризуются среднегорным расчленённым рельефом. В первом районе высоты водораздельных пространств составляют 1200–1700 м, с относительными превышениями 300–600 м, во втором районе — 1550–1850 м, превышения от 500 (СЗ склон) до 1500 м (ЮВ склон). Горные склоны крутые, более 30°, скалистые, большей частью покрыты маломощным обломочным чехлом, представленным коллювиальными и коллювиально-криогенными отложениями. Водотоки имеют крутой невыработанный продольный профиль. Геоморфологическое строение районов приведено на рисунках 3 и 4.

На основании собранного фактического материала и лихенометрических данных проведён сравнительный анализ развития обвальнo-осыпных форм рельефа в геоморфологических обстановках среднегорья (таблица 1).

В эрозионно-денудационном среднегорье на крутых и средней крутизны склонах изучены осыпи с длиной каналов транзита коллювия (300–700 м) и широкими аккумулятивными зонам (до 100 м). При этом осыпи опираются главным образом на поймы и надпойменные террасы. При таких условия их развитие проходит все стадии эволюции и стремится к профилю равновесия, что находит отражение в скорости транспортировки обломочного чехла (от 0,14 до 1,09 м/год, рр. Дуга, Булум). Осыпи, которые опираются на русла постоянных водотоков, характеризуются выносом обломочного материала, в связи с чем наблюдаются повышенные значения скорости смещения чехла осыпи (1,75 м/год и более, руч. Шток). При этом на склонах узких долин I порядка (распадков), в которых расположены временные водотоки, развитие осыпи происходит равномерно со средними показателями скорости смещения (0,3–0,5 м/год). Возраст поверхности осыпей варьирует от 264 до 858 лет. При этом экспозиция осыпей вносит малое влияние в их динамику.

В гляциальном среднегорье (в стенках ледниковых каров или на склонах троговых долин с наличием в основании каменных глетчеров) изученные обвальнo-осыпные формы имеют длину 150–400 м при ширине

основания 15–50 м, скорость смещения обломочного чехла в них составляет 0,33–0,79 м/год. Они приурочены к северным экспозициям.

Тело осыпи в таких обстановках формируется, главным образом, за счет процессов обваливания и находится в начальной стадии развития (возраст поверхности 261–541 год). С учетом того, что вынос коллювиального материала мало возможен по причине стабильных поверхностей морен и каменных глетчеров, то будет происходить дальнейшее развитие осыпи в сторону достижения ими профиля равновесия.

Глава 5. Геопространственный анализ склонов и склоновых процессов в обстановках Северного Приохотья

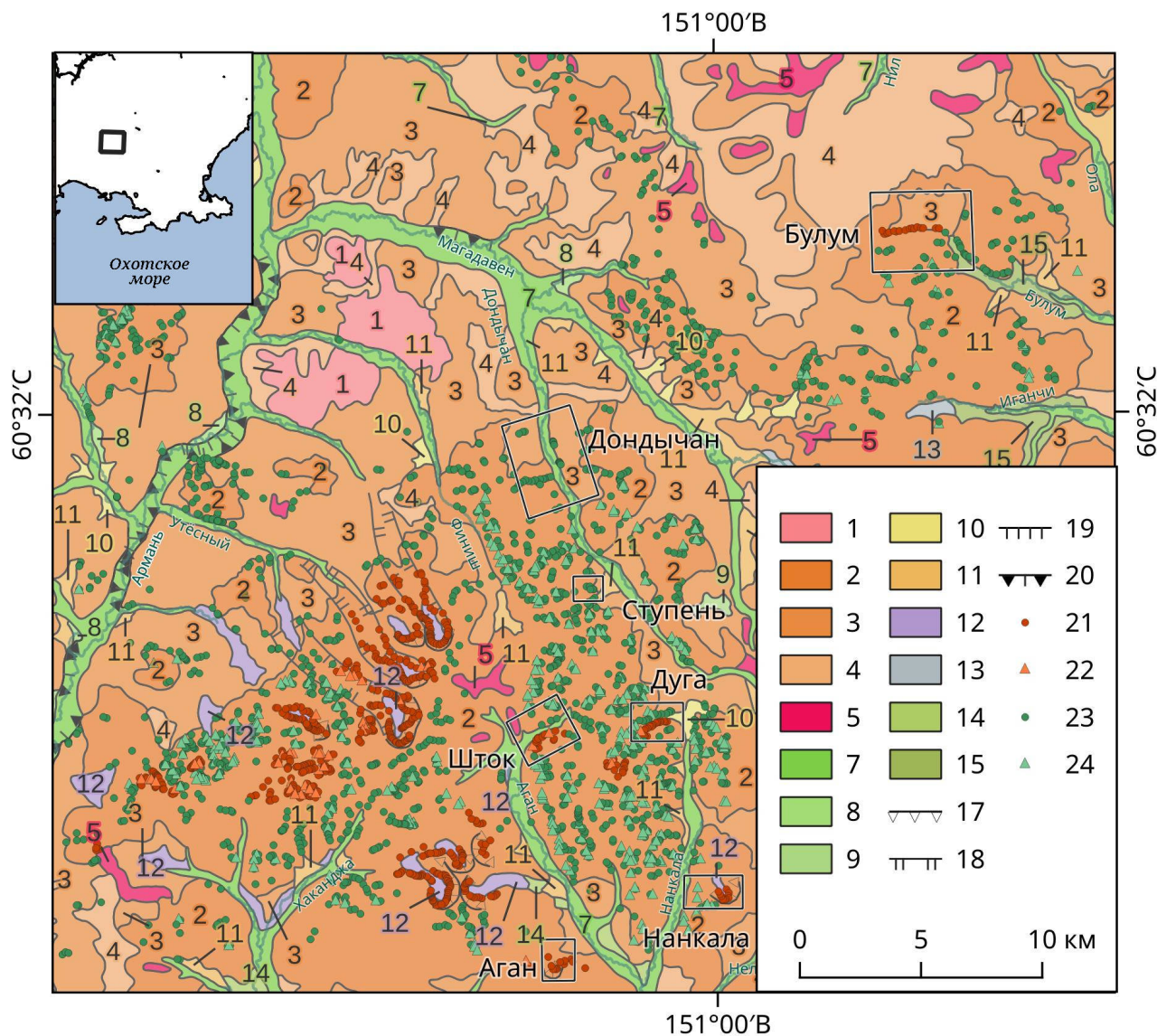
Морозное выветривание. Немаловажным фактором в поступлении нового обломочного материала является термическое выветривание коренных склонов в общем, и морозное выветривание в частности. Суточные колебания температуры через 0 °С ведёт к значительным изменениям в верхнем слое почвы. Особенно это заметно весной и осенью, когда происходит множественные переходы за короткий период.

Таблица 1 — Сравнительный анализ обвальнo-осыпных форм

Участок	Обстановка среднегорий	Петрография обломков	Гранулометрия обломков	Длина, м	Ширина, м	Крутизна поверхности, °	Возраст поверхности, лет*	Скорость транспортировки, м/год
	Крутых склонов	Андезиты	Крупный щебень	200–600	55	21–22	462–858	0,39–1,09
руч. Дуга	Крутых склонов с каменными глетчерами	Андезиты	Средние глыбы	100–180	30	28–30	261–379	0,33–0,79
	Средней крутизны склонов	Граниты	Средний щебень	350–700	100	20–23	248–264	1,75–1,86
руч. Шток	Крутых склонов с каменными глетчерами	Андезиты	Средние глыбы	200–300	45	30	549	0,25
	Альпийского типа руч. Аган облака в стенках каров	Риолиты	Крупные глыбы	220–320	30–60	34–36	258	0,73
руч. Ступень	Средней крутизны склонов в долинах I порядка	Андезиты	Крупный щебень	300–350	50	22–27	213–287	0,14–0,54
	Стенок каров	Гранодиориты	Средний щебень	160–400	16–74	23–27	283	0,51
р. Нанкала	Средней крутизны с каменными глетчерами	Гранодиориты	Средние глыбы	500	50	23–27	467	0,18
р. Дондычан	Крутых стенок ниш скальных оползней	Андезиты	Средние глыбы	50–80	15–30	20–27	314–533	0,08–0,27
р. Булум	Средней крутизны	Риолиты	Крупный щебень	260–410	65–110	22–30	264–496	0,44–2,15
оз. Мельдек	Средней крутизны	Дацинты	Мелкие глыбы	275	80	23–27	475	0,35
пер. Мельдек	Крутых склонов альпийского типа облака	Граниты	Крупные глыбы	150–520	50–120	20–25	489–642	0,17

* Осреднённая погрешность определения времени экспонирования площадок лихенометрической съёмки составляет 23 %

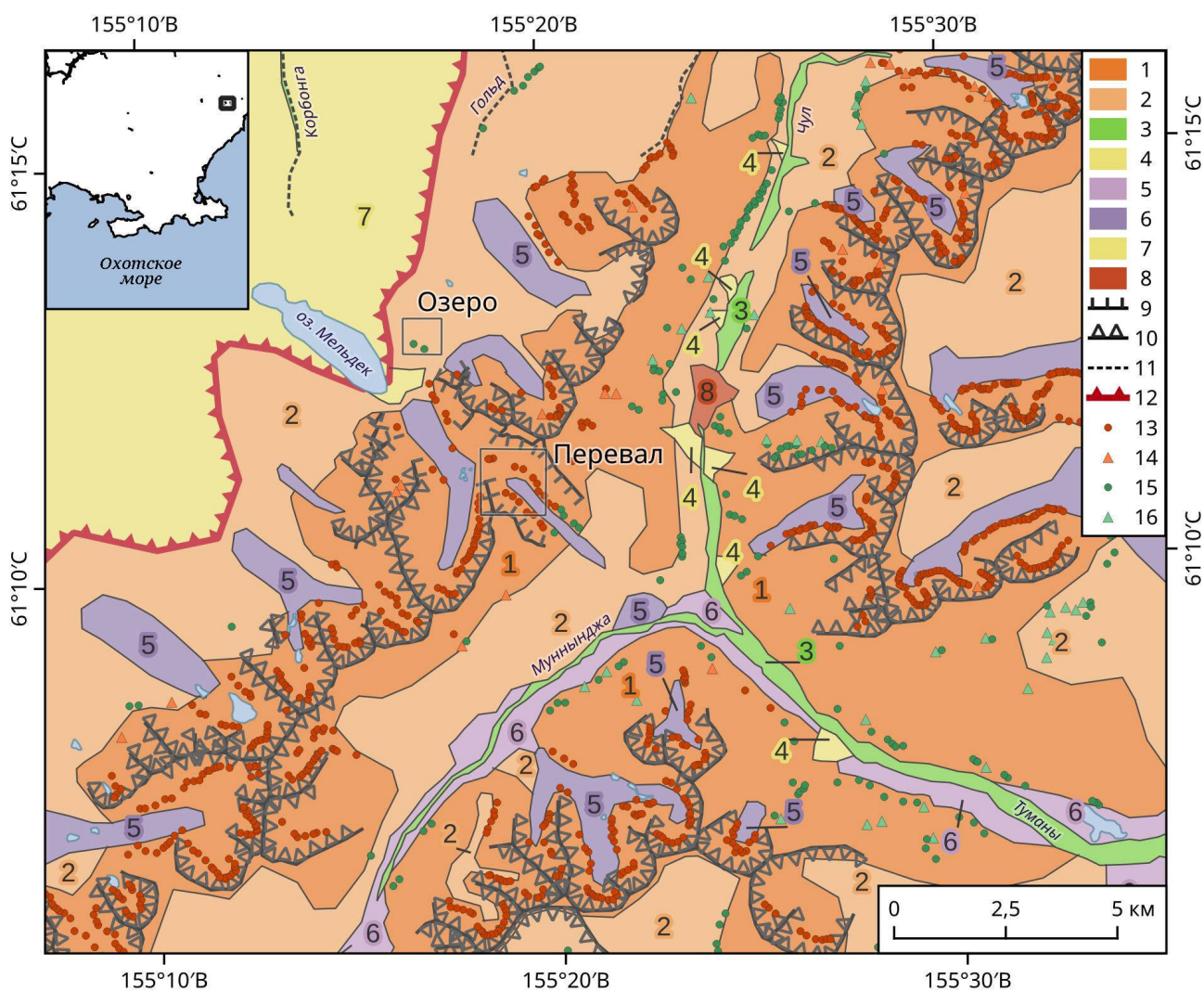
Также стоит учитывать случаи, которые способствуют образованию стебелькового льда — температура меньше 0°C и влажность больше 90%. Для оценки этого фактора было рассчитано количество переходов по 51 метеостанции (Магаданская область и сопряженные регионы, 3-часовые



Условные обозначения (нумерация 1–20 по [Государственная..., 2001]). Структурно-денудационный рельеф: 1 — склоны среднегорья средней крутизны, выработанные на субстрате сложно дислоцированных вулканогенно-осадочных пород (N_2-Q_H). Денудационный рельеф: 2 — склоны среднегорья крутые (Q_{III-H}); 3 — склоны среднегорья, редко — низкогорья средней крутизны (Q_{III-H}); 4 — склоны низкогорья пологие (Q_{III-H}); 5 — поверхности выравнивания (N_2). Аккумулятивный рельеф: 7 — поверхность пойм и первой надпойменной террасы (Q_H); 8 — поверхность аллювиальной террасы высотой 8–15 м (Q_{III-H}); 9 — реликты поверхности террасы высотой до 200 м (Q_{III}^3); 10 — поверхность аллювиально-пролювиальных шлейфов и конусов выноса (Q_H); 11 — поверхность делювиально-пролювиальных шлейфов и конусов выноса (Q_{III-H}); 12 — холмистый рельеф каровых, конечных, боковых и донных морен сартанского возраста (Q_{III}^4); 13 — холмисто-западинный рельеф основной морены зырянского возраста (Q_{III}^2); 14 — флювиогляциальные равнины сартанского возраста (Q_{III}^4); 15 — флювиогляциальные равнины зырянского возраста (Q_{III}^2). Формы и элементы рельефа: 17 — цирки; 18 — троговые долины; 19 — уступы речных террас; 20 — участки интенсивной боковой эрозии. Коллювиальные конусы гляциального среднегорья: 21 — малые, 22 — крупные; эрозионно-денудационного среднегорья: 23 — малые, 24 — крупные. Чёрный прямоугольник — участки исследования. На врезке — положение района исследования в регионе

Рисунок 3 — Геоморфологическая схема района исследований гор Дел-Урëкчën [Аноров и др., 2001ф, Государственная..., 2001, с изменениями]

наблюдения). Собранные данные были осреднены по годам, общий период наблюдения составил 13 лет (2011–2023 гг.). На основании полученных значений были отстроены: карта количества переходов (рисунок 5,а), суммарное количество переходов по метеостанции, осредненное за год (рисунок 5,б) и график распределения количества переходов температуры через 0 °С по месяцам (рисунок 5,в). Установлено, что морозное выветривание в регионе максимально активно в весенне-осенние месяцы (апрель–май — 52 % от общего числа заморозков и сентябрь–октябрь — 35 %).



Условные обозначения. *Денудационный рельеф*: 1 — склоны среднегорья крутые (Q_{III-H}); 2 — склоны среднегорья, редко — низкогорья средней крутизны (Q_{III-H}). *Аккумулятивный рельеф*: 3 — поверхность пойм и первой надпойменной террасы (Q_H); 4 — поверхность коллювиальных и коллювиально-пролювиальных конусов выноса и шлефов (Q_{III-H}); 5 — холмистый рельеф каровых, конечных, боковых и донных морен сарганского возраста (Q_{III}^4); 6 — холмисто-западинный рельеф основной морены зырянского возраста (Q_{III}^2); 7 — флювиогляциальные равнины зырянского возраста (Q_{III}^2), выполненные на отложениях неогенового возраста; 8 — западинно-бугристая поверхность сейсмообвальных накоплений Чульской дислокации. *Формы и элементы рельефа*: 9 — скалистые зубчатые склоны; 10 — цирки; 11 — участки интенсивной донной эрозии; 12 — граница Верхне-Купкинской межгорной впадины. Коллювиальные конусы гляциального среднегорья: 13 — малые, 14 — крупные; эрозионно-денудационного среднегорья: 15 — малые, 16 — крупные. Чёрный прямоугольник — участок исследования. На врезке — положение района исследования в регионе

Рисунок 4 — Геоморфологическая схема района исследования Туманского хребта (составлена автором)

Склоны и растительность дешифрованы на территории районов с использованием методов машинного обучения в программной среде Orfeo ToolBox. В работе применён метод k-ближайших соседей (KNN), в котором искомому объекту присваивались веса различных эталонных классов, наиболее близких к нему. Полученные схемы поверхности подверглись реклассификации по крутизне склонов и наличию растительного покрова. Установлено, что площадь поверхности с активно протекающими гравитационными процессами в рассматриваемых районах незначительна — 10% (горы Дел-Урэкчэн — 3,2% и Туманский хребет — 9,5%, таблица 2) и приурочены к основаниям склонов и тыловым частям долин.

Пространственное распределение обвальнo-осыпных форм. Статистический анализ морфометрических параметров коллювиальных конусов показал следующие особенности (рисунок 6).

На территории Северного Приохотья выделяются два типа коллювиальных конусов — малые и крупные, которые статистически различаются по морфометрическим показателям, внешнему облику и строению (H_{01} , $p < 0,001$).

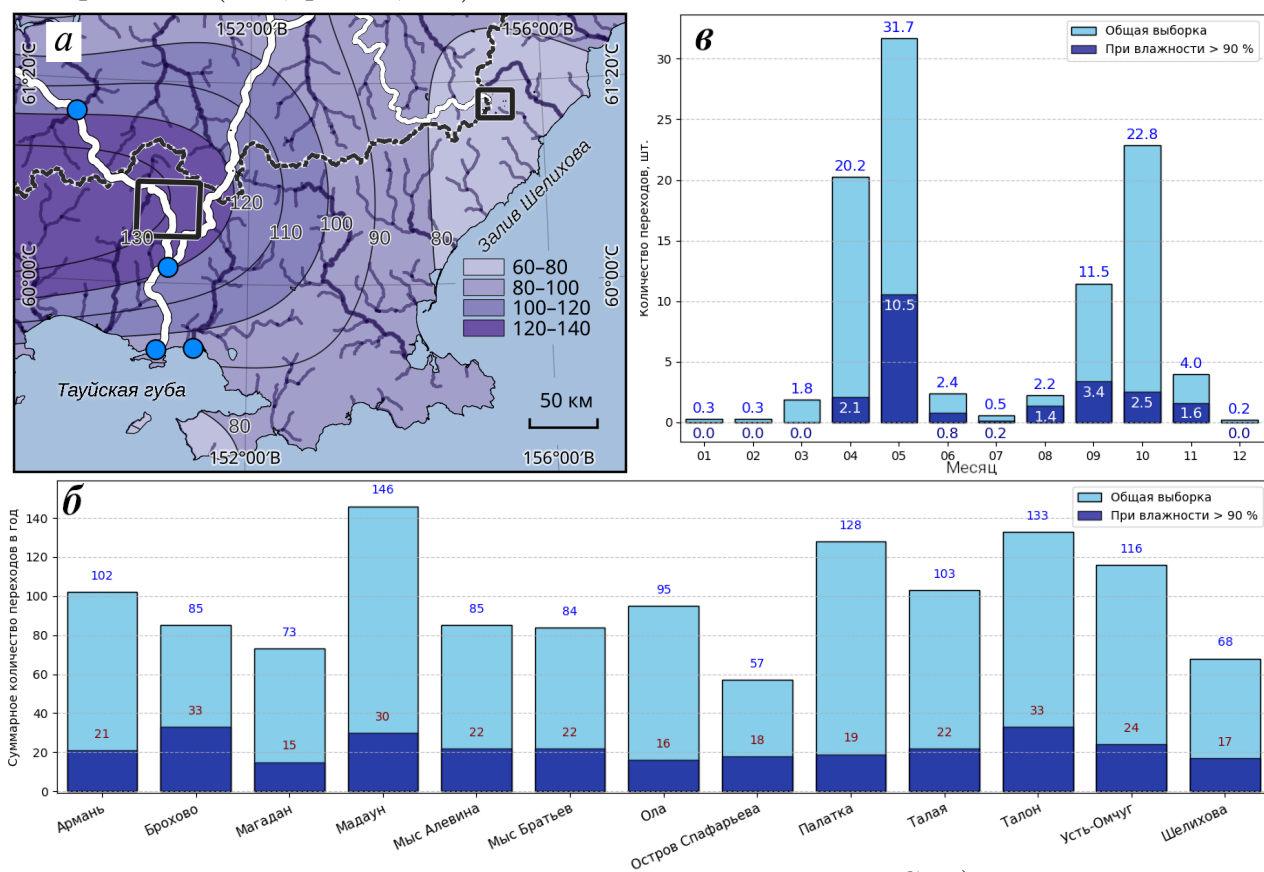
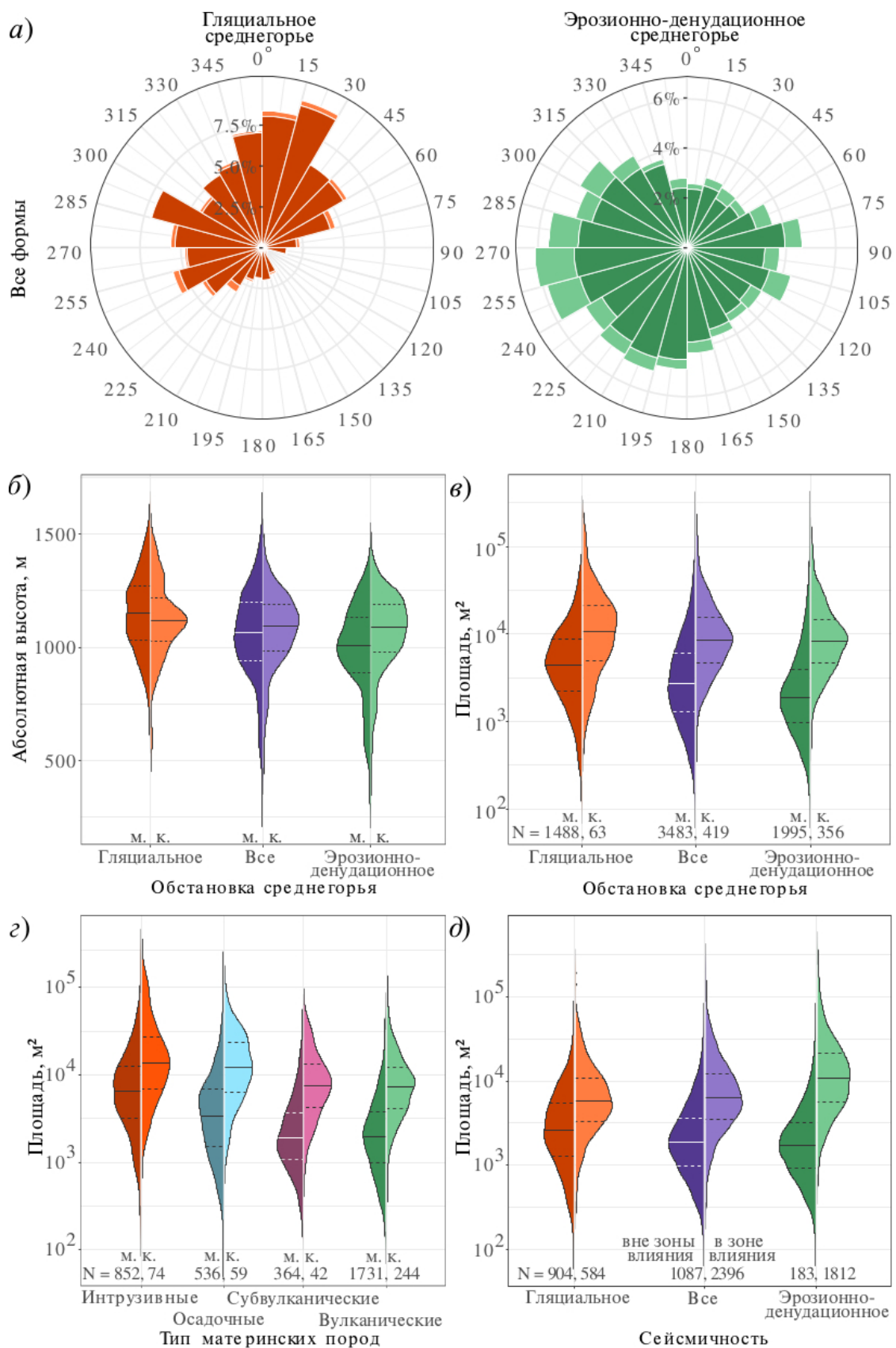


Рисунок 5 — Количество переходов температуры через 0 °С: а) схема распределения; б) средние значения по месяцам; в) средние годовые суммы

Таблица 2 — Соотношение типов склонов

Тип склонов Район	Реки и озера	Долины	Пологие		Средней крутизны		Крутые		Актив-ные
			задерн.	откр.	задерн.	откр.	задерн.	откр.	
Горы Дел-Урэкчэн	1,0	4,0	19,9	1,8	31,5	30,6	1,8	6,2	3,2
Туманский хребет	1,5	1,1	27,6	8,8	11,0	28,2	1,7	10,6	9,5



Условные обозначения. Полутонами показаны типы осей: темный — малые (м.) и светлый — крупные (к.) формы. Внизу (на графиках г и д) указан объем выборки (N, шт.). Линией показано медианное значение выборки, пунктирными линиями — верхний и нижний квартили; Скрипичные диаграммы а) экспозиции объектов, б) абсолютной высоты, в) площади поверхности осей в зависимости от типа среднегорья, г) площади осей в зависимости от типа материнских пород, д) площади осей в зависимости от близости к сейсмоактивной зоне

Рисунок 6 — Распределение морфометрических параметров осей

В гляциальном среднегорье осыпи занимают в 2 раза большую площадь по сравнению с такими же формами в эрозионно-денудационном среднегорье (H_{02} , $p < 0,001$). Площадь осыпей на интрузивных массивах превышает аналогичные показатели для эффузивных покровов в 3 раза, для терригенных пород — в 1,5 раза (H_{03} , $p < 0,0001$). Сейсмический фактор проявляется в достоверном увеличении медианных значений площади осыпей в сейсмоактивных зонах из-за усиления гравитационных процессов (H_{04} , $p < 0,0001$).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертационное исследование посвящено комплексному анализу строения и динамики обвально-осыпных форм рельефа Северного Приохотья (на примере центральных частей гор Дел-Урэкчэн и Туманского хребта). Установлены закономерности пространственного распределения, морфологии и динамики обвально-осыпных форм, что позволило сформулировать принципиально новые положения о механизме их формирования и приуроченности к различным геоморфологическим обстановкам.

Геоморфологический анализ выявил, что развитие коллювиальных конусов в регионе определяется прежде всего орографическими особенностями территории. Большинство коллювиальных конусов выноса сформированы и развиваются, главным образом, в обстановках эрозионно-денудационного и гляциального среднегорий. На основании полученных нами геопространственных данных, анализа морфометрических характеристик осыпей, геологической основы и полевых наблюдений сделаны следующие **выводы**:

1. В гляциальном среднегорье, по сравнению с эрозионно-денудационным, формируются более крупные формы (в 2 раза больше по занимаемой площади).

2. Данные по лихенометрического анализа показали, что по динамике развития, в эрозионно-денудационном среднегорье, осыпи обладают широким диапазоном скоростей транспортировки обломочного материала (0,14–1,86 м/год) и динамическим возрастом поверхностей от 264 до 858 лет, по сравнению с осыпями в гляциальном среднегорье, у которых диапазоны скоростей 0,33–0,79 м/год и меньший возраст (261–541 лет), что свидетельствует о начальных стадиях их развития в условиях ограниченного выноса материала.

3. На основании предложенной геоморфологической классификации о выделении двух типов осыпей — крупных и малых, был проведён статистический анализ морфометрических характеристик этих подтипов. Почти все показатели обладают статистическими различиями между крупностью форм, а также их разграничиванием в различных геоморфологических обстановках, с уровнем значимости $p < 0,001$.

4. Результатом пространственного анализа является оценка влияния состава материнских пород на размер (площадь) осыпей обоих подтипов. Так, установлено, что в осыпях литологический контроль максимален в интрузивных породах, на которых формируются наиболее крупные коллювиальные конусы, благодаря блоковому характеру разрушения коренных склонов и формированию крупноглыбового коллювия. Эффузивные образования (покровы и субвулканиты) дают самые малые по размеру осыпи вследствие быстрого механического разрушения обломочного материала. Осыпи на осадочных (терригенных) породах занимают промежуточную роль между первыми двумя типами пород.

5. Доля активных склонов не превышает 10 % от общей площади исследованных районов (3,2 % — горы Дел-Урэкчэн, 9,5 % — Туманский хребет), при этом коллювиальные конусы занимают 20,1 и 27,3 % их площади соответственно.

6. Климатические условия Северного Приохотья, характеризующиеся резкими сезонными колебаниями температур и умеренным количеством осадков (400–500 мм/год), усиливают роль выветривания. Максимальная активность обвально-осыпных явлений (87 % случаев) приурочена к весеннему (52 %) и осеннему (35 %) периодам, когда циклы замерзания-оттаивания провоцируют интенсивное морозное выветривание. В каждом четвёртом случае зафиксировано образование стебелькового льда, который, проникая в трещины пород, ускоряет их дезинтеграцию.

Перспективы дальнейших исследований связаны с интеграцией данных по времени экспонирования поверхности с дистанционным мониторингом (InSAR, LiDAR), что позволит уточнить временные тренды в условиях распространения многолетнемёрзлых пород. Открытым остается вопрос о роли осадочных пород в динамике развития осыпных форм, которые, несмотря на меньшую распространённость, демонстрируют аномально высокие скорости смещения, требующие отдельного изучения. Также стоит проводить будущие исследования с привлечением современных космоизотопных методов датирования.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в рецензируемых научных изданиях, индексируемых в базе ядра Российского индекса научного цитирования «eLibrary Science Index»:

1. **Колегов П. П., Крылов И. А., Кондратьев М. Н.** Сейсмодислокации и напряженное состояние Мельдекского сегмента Ланково-Омолонской зоны разломов (Северное Приохотье) // Вулканология и сейсмология. — 2025. — № 5. — С. 58–74. — EDN: OEFKXP / 1,96 п. л. Импакт-фактор 0,21 (JCI). Вклад соискателя — 90 %.

2. **Колегов П. П.** Моделирование влияния стебелькового льда на склоновый морфолитогенез Северного Приохотья и Охотско-Колымского нагорья на основе климатических данных // Вестник Северо-Восточного научного центра ДВО РАН. — 2025. — № 3. — С. 42–51. — EDN: QVQTYJ / 1,16 п. л. *Импакт-фактор 0,457 (РИНЦ).*
3. **Колегов П. П.** Применение методов машинного обучения для классификации склонов по космическим снимкам на примере некоторых районов Северного Приохотья // Вестник Северо-Восточного научного центра ДВО РАН. — 2023. — № 4. — С. 62–71. — EDN: UJJMSK / 1,14 п. л. *импакт-фактор 0,457 (РИНЦ).*
4. **Колегов П. П.** Динамика осыпей в центральной части гор Дел-Урэкчэн (Северное Приохотье) на основе лишенометрических данных // Вестник Северо-Восточного научного центра ДВО РАН. — 2021. — № 3. — С. 71–81. — EDN: KRCTFH / 1,27 п. л. *Импакт-фактор 0,457 (РИНЦ).*
5. **Колегов П. П.** Динамика осыпей и каменных глетчеров Ольского плато (Северное Приохотье) на основании лишенометрического и фотометрического гранулометрического анализов // Вестник Северо-Восточного научного центра ДВО РАН. — 2019. — № 3. — С. 54–62. — EDN: FZQTTQ / 1,04 п. л. *Импакт-фактор 0,457 (РИНЦ).*
6. **Смирнов В. Н., Глушкова О. Ю., Колегов П. П., Кондратьев М. Н.** Палеосейсмодислокации в басс. р. Дондычан (Северное Приохотье) // Вестник Северо-Восточного научного центра ДВО РАН. — 2017. — № 2. — С. 41–50. — EDN: YTFGSD / 1,16 п. л. *Импакт-фактор 0,457 (РИНЦ). Вклад соискателя — 25 %.*
7. **Колегов П. П.** Динамика коллювиальных процессов в хребте Дел-Урэкчэн (Северное Приохотье) на основе лишенометрических данных // Вестник Северо-Восточного научного центра ДВО РАН. — 2016. — № 2. — С. 10–18. — EDN: WBWREX / 1,04 п. л. *Импакт-фактор 0,457 (РИНЦ).*