

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени М.В. ЛОМОНОСОВА

На правах рукописи

Рудинская Анна Ивановна

**Рельефообразующая роль селей в горах Европейского сектора
Российской Субарктики в послеледниковое время**

1.6.14 – Геоморфология и палеогеография

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата географических наук

Москва – 2024

Диссертация подготовлена на кафедре геоморфологии и палеогеографии географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова.

Научный руководитель

***Беляев Юрий Ростиславович** – кандидат географических наук*

Официальные оппоненты

***Назаров Николай Николаевич** – доктор географических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории палеогеографии и геоморфологии Тихоокеанского Института географии Дальневосточного отделения Российской академии наук*

***Рыжов Юрий Викторович** – доктор географических наук, доцент, заведующий лабораторией геологии мезозоя и кайнозоя Института земной коры Сибирского отделения Российской академии наук*

***Черноморец Сергей Семенович** – кандидат географических наук, доцент, ведущий научных сотрудник научно-исследовательской лаборатории снежных лавин и селей географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова*

Защита диссертации состоится «19» декабря 2024 г. в 17 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, 21 этаж, ауд. 2109.

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/3236>

Автореферат разослан «12» ноября 2024 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
кандидат географических наук



Е.Ю. Матлахова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Долинный рельеф гор Европейского сектора Российской Субарктики начал формироваться синхронно с началом неотектонических движений, оформивших эти горные сооружения. В плейстоцене территория Кольского полуострова и Полярного Урала подвергалась покровным и горным оледенениям, стершим практически все следы ранее существовавшего аккумулятивного рельефа горных долин. После деградации ледников, которая произошла в горах Кольского полуострова к началу голоцена, а на исследованных участках Полярного Урала к середине позднего плейстоцена, ведущую рельефообразующую роль в днищах долин зачастую отдают воздействию флювиальных процессов (Арманд, 1965, Воскресенский, 1968). В силу сравнительно небольшой длительности послеледникового развития и малой мощности рыхлых отложений, считается, что здесь воздействие флювиальных процессов свелось к незначительной переработке ледникового рельефа днищ горных долин. При этом селевые процессы, к северной зоне развития которых относятся горы Европейского сектора Российской Субарктики, редко рассматриваются как существенный агент рельефообразования.

Сели – состоящие из смеси воды и обломков пород (от 20 до 90 % селевой смеси) стремительные русловые потоки – характеризуются резким подъемом уровня, пульсационным (волновым) движением, кратковременностью действия и значительным эрозионно-аккумулятивным эффектом (Перов, 1996). Горные массивы Кольского полуострова и западный макросклон Полярного Урала – это районы со средней степенью селевой опасности (Перов и др., 2017). В современных климатических условиях доминирующий тип селевых явлений здесь – водоснежные потоки. Они формируются в период снеготаяния и состоят из смеси воды, комков и зерен снега с примесью обломочного материала, доля которого не превышает 5-12 %.

Интенсивность селевых потоков может варьировать вследствие климатических колебаний. Реликтовые формы селевого рельефа и отложения древних селевых потоков – важный источник информации об эволюции природной среды. Выявление динамики, условий возникновения, генетических типов и рельефообразующей деятельности селевых потоков необходимо для прогноза развития селевых процессов при смене природных обстановок.

Характерные формы хозяйственного освоения в горах Европейского сектора Российской Субарктики – добыча полезных ископаемых и рекреация. Сели не только представляют угрозу для объектов горнопромышленной инфраструктуры, но и сами отвалы горных выработок становятся дополнительным источником твердой фазы селевых потоков. При проведении горных работ, планировании туристических маршрутов и размещении объектов туристической инфраструктуры необходимо учитывать распределение и особенности функционирования селевых бассейнов, сведения о селеопасном периоде и зонах потенциального селевого воздействия.

Цель исследования – выявить вклад селевых процессов в формирование облика горных долин Европейского сектора Российской Субарктики в послеледниковое время.

Для достижения цели были поставлены следующие **задачи** исследования:

1. Проанализировать закономерности проявления селевых процессов и выбрать перечень дешифровочных признаков для выявления их следов в рельефе;

2. Проанализировать природные условия Кольского полуострова и Полярного Урала и выявить основные факторы селеобразования;
3. Выявить закономерности распространения и факторы пространственной дифференциации селевых бассейнов и типизировать их по геоморфологическому строению;
4. Установить, как функционируют селевые бассейны разных типов и каковы различия во вкладе селевых процессов в преобразование рельефа днищ долин в послеледниковье.

Объект и предмет исследования. Объект – селевой рельеф и создающие его процессы в горах Европейского сектора Российской Субарктики, а предмет – распространение, разнообразие и послеледниковая динамика этих процессов.

Фактический материал и личный вклад автора. В основу работы положены результаты полевых обследований Хибинских и Ловозерских тундр и Малого и Большого Пайпудынского хребта в 2017-2022 гг. В ходе маршрутных исследований, при непосредственном участии автора, проведена геолого-геоморфологическая съемка, зафиксированы границы морфодинамических зон селевых бассейнов, а также выполнены описание и профилирование форм селевого рельефа и характеристика слагающих их отложений в шурфах, расчистках и естественных обнажениях. Протяженность пеших маршрутов составила свыше 300 км. Для Хибин и Ловозерских тундр получено 21 определение радиоуглеродного возраста отложений и лично автором проведено дендрохронологическое датирование селевых поверхностей по данным 43 древесных кернов. Также были привлечены архивные радиоуглеродные даты и опубликованные данные других исследователей. Сведения о селевом рельефе Монче-, Чуна- и Волчьих тундр, кряжа Енганэпэ и хр. Оченырда, массива г. Лядхэ и хр. Няръмынхой получены путем дешифрирования спутниковых изображений высокого и сверхвысокого пространственного разрешения, полученных из открытых источников. Автором составлены карты селевых бассейнов, общие геоморфологические карты исследуемых горных массивов, карты типов селевых бассейнов, крупномасштабные карты ключевых селевых бассейнов, выполнен морфометрический анализ селевых бассейнов изучаемых территорий (за исключением массивов Монче-, Чуна- и Волчьих тундр – использованы расчеты коллег). Расчет морфометрических параметров проводился средствами ГИС на основе цифровой модели рельефа ArcticDEM с пространственным разрешением 10 м. Анализ и обобщение материала выполнено лично автором.

Методология и методика. В диссертационной работе использованы аналитический, синтетический, исторический дедуктивный и индуктивный методологические подходы, метод аналогов. Базовой концепцией работы можно считать генетический подход И.С. Щукина (1960) и подход К.К. Маркова (1948) к определению возраста рельефа, морфолитогенетический подход (Симонов и др., 1998). В работе применена последовательность геоморфологических методов, предложенная А.И. Спиридоновым (1974). Морфометрический анализ рельефа проводился в соответствии с рекомендациями Ю.Г. Симонова (1998).

Основой при изучении селевого рельефа и создающего его процесса стало представление о селевом бассейне как о водосборном бассейне, в пределах которого по главному руслу происходит движение селевого потока и условно выделяется три морфодинамические зоны: зарождения, транзита и аккумуляции (Перов, 1996). Для интерпретации типа селевого процесса, создавшего формы рельефа, использовалась

генетическая классификация В.Ф. Перова, согласно которой типы селей выделяются по главному фактору (климатическому, геологическому или антропогенному) и механизму зарождения (например, прорыв скоплений талых ледниковых вод, сброс воды из подпрудных озер).

В основе работы лежит применение геоморфологических методов: крупномасштабной геоморфологической съемки, геоморфологического картографирования и профилирования, – в комплексе со сравнительно-описательным, картографическим, морфолитогенетическим, морфодинамическим, геохронологическими (радиоуглеродным и дендрохронологическим датированием) и статистическими методами.

Научная новизна. Автором уточнена, дополнена и детализирована схема селевых бассейнов Хибин (Водоснежные ... , 2001). Впервые составлены детальные схемы селевых бассейнов Ловозерских, Волчьих, Чуна- и Мончетундры и на ключевые участки западного макросклона и осевой зоны Полярного Урала (хребты Оченырда, Нярманхой, Ханмейский, Большой и Малый Пайпудынский, массив г. Лядхэ, кряж Енганэпэ), дополненные подробными каталогами селевых бассейнов. По единой методике собраны массивы морфометрических параметров для всех выявленных селевых бассейнов. Для горных массивов составлены авторские геоморфологические схемы масштаба 1 : 200000 в морфогенетической легенде. Проведена типизация селевых бассейнов в зависимости от их геоморфологического строения. Для ключевых селевых бассейнов, соответствующим основным выделенным типам, составлены геоморфологические и морфодинамические схемы масштаба 1 : 25000. Получены новые дендрохронологические данные и радиоуглеродные даты, интеграция которых с ранее собранными сведениями позволила реконструировать периоды селевой активности для гор Кольского полуострова. На основе анализа морфологии разновозрастных генераций селевого рельефа установлена тенденция к снижению селевой активности в голоцене по сравнению с периодом дегляциации.

Научная и практическая значимость. Полученные карты селевых бассейнов могут служить источником информации при проведении инженерно-геологических изысканий и дают возможность более обоснованно проводить оценку селеопасности территории на локальном уровне и давать рекомендации по размещению противоселевых сооружений. Выявлены необходимые и достаточные условия селеформирования районов исследования, специфика функционирования разных геоморфологических типов селевых бассейнов и этапы повышенной селеактивности на Кольском полуострове голоцене.

Основные защищаемые положения:

1. В горных массивах Европейского сектора Российской Субарктики от 47 до 80 % от общего числа долин являются селевыми. Пораженность массивов селями зависит от их исходной расчлененности: относительно небольшая часть бассейнов относится к селевым в слаборасчлененных массивах, в то время как густо и глубоко расчлененные массивы более благоприятны для селеформирования.
2. Традиционно считавшиеся определяющими возможность селеформирования морфометрические характеристики рельефа являются необходимым, но недостаточным условием развития селевых процессов. В изученных горных массивах ключевое значение для селеобразования имеют запасы рыхлого материала и скорости его возобновления.
3. В горах Европейского сектора Российской Субарктики выделено пять типов селевых бассейнов по их геоморфологическому строению. От типа бассейна зависит пространственное соотношение и функционирование его морфодинамических зон.

4. В эпоху дегляциации в горах Европейского сектора Российской Субарктики развивались более мощные по сравнению с современными сели. Для Кольского полуострова на фоне тенденции к снижению интенсивности селей и смене их господствующего типа с водокаменных потоков на водоснежные выявлено четыре внутриголоценовых периода повышенной селеактивности (6300-6000, 2800-2400, 2100-1800 кал. л. н. и последние 500 кал. л.).

5. В долинах гор Европейского сектора Российской Субарктики, подверженных воздействию селевых процессов, морфология эрозионно-аккумулятивных днищ долин контролируется селями. Протяженность и ширина зоны селевого воздействия зависит от геоморфологического типа бассейна. Реликтовые селевые формы времени дегляциации, даже будучи расположенными за пределами зоны современного селеформирования, продолжает оставаться значимым генетическим типом рельефа в горных долинах.

Степень достоверности полученных результатов достигается за счет обширности фактического материала о распространении и генетическом разнообразии селевого рельефа и особенностях функционирования селевых бассейнов. Проводилась взаимная верификация данных, полученных в рамках двух блоков исследования – полевого и дистанционного. Предлагаемые реконструкции послеледниковой динамики селевых процессов основаны на массовом анализе морфологических свойств рельефа и определении его возраста дендрохронологическим и радиоуглеродным (в аккредитованных лабораториях) анализами.

Апробация работы. Основные результаты доложены автором на Всероссийских и международных конференциях, в том числе на V международной конференции «Селевые потоки: катастрофы, прогноз, риск, защита» (Тбилиси, 2018 г.), VII Всероссийской научной конференции с международным участием «Экологические проблемы северных регионов и пути их решения» (Апатиты, 2019 г.), V Всероссийской конференции с международным участием «Динамика экосистем в голоцене (к 100-летию Л.Г. Динесмана)» (Москва, 2019 г.), Всероссийской конференции «VIII Щукинские чтения: рельеф и природопользование» (Москва, 2020 г.), II Всероссийской научной конференции «Пути эволюционной географии», посвященной 90-летию А.А. Величко (Москва, 2021 г.), XXXVIII Пленуме геоморфологической комиссии РАН (Иркутск, 2023 г.).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 4 научные работы, из них 3 статьи в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных для защиты в диссертационном совете МГУ по специальности 1.6.14 - «Геоморфология и палеогеография», а также 19 публикаций в сборниках и материалах российских и международных конференций. Постановка научных задач, полевые работы, обработка и интерпретация полученных данных, подготовка и предоставление их в печать проводились непосредственно соискателем или при его активном участии. Участие автора во всех опубликованных работах является значительным. Автор принимал активное участие в постановке научных задач, полевых и лабораторных работах, анализе и интерпретации полученных результатов, предоставлении их в печать. При подготовке текста диссертации использован текст публикаций, выполненных автором в соавторстве (Рудинская, Беляев, 2023; Рудинская, Беляев, 2022, Рудинская и др., 2022), в которых, согласно Положению о присуждении учёных степеней в МГУ, отражены основные результаты, положения и выводы исследования. В публикациях (Рудинская, Беляев, 2023; Рудинская, Беляев, 2022; Рудинская и др., 2022) личный вклад автора диссертации являлся определяющим, им

написан весь текст, составлены графические материалы, проведено представление рукописи в редакцию и работа с рецензентами.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы (268 наименований, в том числе 72 на иностранном языке). Объем диссертации составляет 286 страниц, основной текст изложен на 175 страницах. В работе содержится 9 приложений объемом 111 страниц, 26 таблиц и 127 иллюстраций.

Благодарности. Автор выражает глубокую благодарность научному руководителю работы, доценту кафедры геоморфологии и палеогеографии Юрию Ростиславовичу Беляеву за чуткое научное руководство, вдохновение и всестороннюю поддержку при написании этой работы. Огромную благодарность за участие в сборе фактического материала и ценнейшие рекомендации в процессе написания работы хочу выразить сотрудникам кафедры геоморфологии и палеогеографии географического факультета МГУ Е.В. Гаранкиной и Ф.А. Романенко, ведущему научному сотруднику НИЛ эрозии почв и русловых процессов имени Н.А. Маккавеева В.Р. Беляеву, научному сотруднику лаборатории геоморфологии Института географии РАН (ИГ РАН) А.Л. Гуринову и главному специалисту сектора информации и координации географических исследований ИГ РАН Е.Д. Шеремецкой. За помощь в сборе фактического материала также выражаю благодарность студентам кафедры, проходившим практику 2 курса в Хибинах в 2017-2023 гг., в особенности магистрантке В.В. Смирновой и выпускникам кафедры Е.Д. Тулякову, Е.С. Гаровой, М.А. Писцовой, а также инженеру-исследователю отдела географии и эволюции почв ИГ РАН В.А. Лобкову. За консультирование в процессе камеральной обработки данных и подготовки работы к защите выражаю глубокую благодарность сотрудникам кафедры В.А. Ульянову, А.А. Лукашову, С.И. Большову. Огромную признательность выражаю младшему научному сотруднику отдела гляциологии ИГ РАН Н.С. Семянюк за обучение дендрохронологическому анализу, научному сотруднику отдела географии и эволюции почв ИГ РАН А.В. Долгих за помощь с визуализацией результатов радиоуглеродного датирования, коллективам отдела палеогеографии четвертичного периода и лаборатории геоморфологии ИГ РАН – за ценные рекомендации по представлению результатов диссертации. Отдельно хочу поблагодарить И.С. Щенникова и Т.Д. Рудинскую – за понимание и безграничную поддержку при написании этой работы.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Глава 1. Селевые процессы

Изложена история изучения селевых процессов, выделены основные аспекты селеведения, привлекающие внимание отечественных и зарубежных исследователей. Особое внимание традиционно уделяется исследованию самого селевого процесса – механизмам его возникновения и развития, определению количественных параметров конкретных селевых событий, – и оценке селевого риска. Работ, посвященных селевому рельефу – его строению, морфологическому облику, возрасту, – существенно меньше. Как правило, они рассматривают сравнительно небольшие территории – отдельные селевые бассейны или даже конкретные участки селевых конусов выноса, в то время как обобщающих работ по селевому рельефу более обширных территорий сравнительно мало.

Представлены существующие классификации селевых потоков в зависимости от механизмов их зарождения, среды проявления, структурно-реологического типа. Дана характеристика морфодинамических зон селевых бассейнов, аккумулятивных и

денудационных форм селевого рельефа – их морфологического облика и механизма формирования, показаны используемые в селеведении возрастные градации форм селевого рельефа (Перов, 1999). Приведена общая типология водосборов с проявлением селевого процесса. Она позволяет определить роль селевых процессов в функционировании эрозионно-русловой системы, частью которой селевой бассейн является – от ведущей роли селевого процесса во всем водосборном бассейне с почти полным подавлением собственно флювиальных процессов до лишь эпизодического воздействия селевых потоков на функционирование русла.

Охарактеризованы особенности северной зоны проявления селевых процессов, особое внимание уделено доминирующему зональному типу селевых явлений в Субарктике – водоснежным потокам (ВСП). Описаны их механизмы и типичные формы рельефа, ими образуемые.

Глава 2. Методика исследований

Методический подход в настоящем исследовании был предопределен последовательностью поставленных задач. Ключевыми участками для исследования стали наиболее крупные горные массивы Кольского полуострова (Хибины, Ловозерские, Монче-, Чуна- и Волчья тундры) и максимально различающиеся по преобладающим высотам геологическому строению участки Полярного Урала (хр. Оченырда, массив г. Лядхэ и хр. Нямынхой на севере территории и кряж Енганэпэ, хребты Харбейский, Малый и Большой Пайпудынский на юге).

Дешифрирование селевого рельефа. Проанализированы литературные данные о селевом рельефе этих территорий, подобраны подходящие морфологические, геологические и ландшафтные дешифровочные критерии и проведено визуальное дешифрирование селевого рельефа по спутниковым изображениям высокого и сверхвысокого пространственного разрешения и топографическим картам масштаба 1 : 50000 и 1 : 100000. В ходе дешифрирования зоны селевой аккумуляции на основе морфологических характеристик (площади, размеров отдельных селевых форм, их взаимному расположению) и характеру растительности были разделены на две возрастные генерации – молодые и древние. К молодым зонам аккумуляции были отнесены формы свежего облика, сложенные щебнисто-галечно-валунным материалом, для которых характерно либо полное отсутствие растительности, либо фрагментарный травянистый или мохово-лишайниковый покров с кустарниковой порослью. К древним зонам аккумуляции были отнесены участки с ложбинно-грядовым рельефом, занятые смешанным и хвойным лесом с хорошо сформированным дерново-травянистым покровом либо горно-тундровой растительностью – в случае, если эти образования расположены выше границы леса. Результаты дешифрирования были верифицированы в ходе полевого обследования ключевых участков гор Кольского полуострова (всей территории Ловозерских тундр и отдельных частей Хибинского массива) и Полярного Урала (Большого и Малого Пайпудынского хребта).

Всего обследовано 114 селевых бассейнов, протяженность пеших маршрутов составила более 300 км. Это позволило ликвидировать неточности исходного дешифрирования, доработать подобранные критерии и уточнить схемы дешифрирования участков, не прошедших полевую верификацию. Итогом стала серия карт селевых бассейнов всех исследованных горных массивов.

Анализ морфометрических характеристик селевых бассейнов. Расчет и анализ морфометрических характеристик бассейнов производился на основе цифровой модели рельефа (ЦМР) с пространственным разрешением 10 м/пиксель в среде свободно распространяемого программного обеспечения SAGA GIS. Для расчета параметров селевых бассейнов ключевых территорий, за исключением Ловозерских тундр, использовалась модель Arctic DEM (Porter et al., 2018). На территорию Ловозерских тундр ЦМР получена с помощью оцифровки топографических карт масштаба 1 : 50000 ввиду значительного количества крупных артефактов на этом фрагменте модели ArcticDEM. Рассчитанные значения (площади селевых бассейнов и зон селевой аккумуляции, средние абсолютные высоты и углы наклона поверхности селевых бассейнов, абсолютные высоты истока и устья и падение селевых русел, их уклоны) были сведены в каталоги селевых бассейнов.

Формирование селевого потока возможно при выполнении трех условий – наличии жидкой составляющей селевой смеси, запаса рыхлых отложений и достаточных уклонов для поддержания движения селя. Поскольку последнее условие – чисто морфометрическое, а первое в рамках отдельно взятого горного массива контролируется такими параметрами как площадь, плановая форма, экспозиция и углы наклона водосборов, в данном исследовании была принята рабочая гипотеза, что решающее значение в развитии селевых процессов имеют морфометрические характеристики рельефа. Для ее проверки была оценена статистическая значимость различий случайных выборок некоторых морфометрических параметров селевых и неселевых бассейнов I порядка для всех изученных горных массивов.

Анализ геоморфологического строения селевых бассейнов. На основе данных полевой геоморфологической съемки, обобщения фондовых материалов, а также геоморфологического дешифрирования, на ключевые горные массивы были составлены геоморфологические карты масштаба 1 : 250000 в морфогенетической легенде. С помощью наложения в среде QGIS границ селевых бассейнов на составленные геоморфологические карты ключевых горных массивов была проведена типизация селевых бассейнов по их геоморфологическому строению. Далее были выбраны ключевые бассейны, иллюстрирующие каждый из выделенных типов, для более детального анализа связи морфодинамических зон селевого бассейна с его геоморфологическим строением. В рамках полевого обследования была проведена детальная геоморфологическая съемка этих бассейнов, по результатам которой в масштабе 1 : 25000 составлены геоморфологические карты и морфодинамические схемы, на которых отражены границы зон зарождения, транзита и разгрузки селей.

Методика реконструкции динамики селевых потоков в голоцене. В ключевых бассейнах гор Кольского полуострова проведен комплекс полевых работ по изучению селевого рельефа. Предпринята попытка датирования сравнительно молодых аккумулятивных форм дендрохронологическим методом. В качестве ключевых выбирались участки селевых конусов и террас с достоверными следами селевой активности, занятые с хвойным древостоем либо молодой еловой порослью. Дендрохронологический метод позволял определить нижний предел возраста поверхностей селевого генезиса с учетом характерных для территории темпов зарастания и формирования древостоя. Возраст компрессионной древесины или деформированных колец годового прироста, формирующихся при ударном воздействии, позволяет предполагать (при наличии

дополнительных морфологических следов селевой активности) возраст селевых заплесков на каждом конкретном участке.

Сход отдельных крупных селей удалось датировать радиоуглеродным методом. Для этого была отобрана серия образцов из гумусированных горизонтов, погребенных либо зажатых между селевыми пачками. Полученные даты отражают либо нижний возраст события (время, когда почвенный горизонт был перекрыт селевыми отложениями), либо, напротив, время стабилизации поверхности селевого генезиса (Garankina et al., 2019). Анализы выполнялись сцинтилляционным методом в ЦКП «Лаборатория радиоуглеродного датирования и электронной микроскопии» ИГ РАН в Москве и в лаборатории геохронологии СПбГУ.

Для анализа общих закономерностей развития селей в горах Кольского полуострова в послеледниковье была использована база данных радиоуглеродного датирования, включающая в себя даты, собранные на протяжении почти полувековой работы разных научных групп в Хибинах (Сулержицкий и др., 1986; Ващалова, 1988; Косарева, 2007; Романенко и др., 2011), обобщенные с новыми определениями, выполненными в ходе реализации проекта РФФИ № 17-05-00630А «Пространственно-временные аспекты взаимодействия селевых и флювиальных процессов в долинах низкогорий Кольского полуострова» в 2017-2019 гг., в котором автор принимал участие в качестве исполнителя (Garankina et al., 2019). При реконструкции голоценовой активности селей на Кольском полуострове также учитывались имеющиеся данные о возрасте коррелятных селевым событиям озерных отложений (Шилова и др., 2019, Garankina et al., 2019). Для унификации все рассматриваемые даты были откалиброваны в программе OxCal 4.4.4 (Bronk Ramsey, 2021) с использованием кривой IntCal 20 (Reimer et al., 2020). Для самых молодых дат калибровка проводилась с помощью программы CaliBomb, позволяющей учитывать бомбовый эффект (Reimer et al., 2004). Существующий банк данных был дополнен полученными автором результатами дендрохронологического датирования селевого рельефа в ключевых селевых бассейнах. Анализ плотности распределения вероятностей (Bronk Ramsey, 2017) собранных дат в программном комплексе OxCal 4.4.4 позволил по «сгущениям» плотности вероятности на графике выявить временные интервалы голоцена, которые соответствуют эпохам стабилизации поверхностей селевой аккумуляции, накопления органического вещества и уменьшения активности селевых процессов. Временные интервалы, на которые приходится минимальная плотность вероятности имеющихся дат, были проинтерпретированы как эпохи потенциальной активизации селевых процессов. Таким образом, как за счет увеличения числа анализируемых дат, так и применения современных методов статистического анализа данных были уточнены выделенные ранее эпохи активизации и снижения активности селевых процессов (Garankina et al., 2019).

Глава 3. Условия селеобразования в горах Европейского сектора Российской Субарктики

Для выявления факторов селепроявлений проанализированы ландшафтно-климатические (температуры воздуха, режим выпадения осадков, перераспределение снежного покрова, распределение многолетнемерзлых пород, типы почв и растительности) и геолого-геоморфологические (орогидрографические особенности, характер дочетвертичных и четвертичных отложений, существующие представления об истории

четвертичных оледенений) условия, а также основные типы антропогенного воздействия на ключевые территории.

Образование снежного покрова и его перераспределение в горах Кольского полуострова и на Полярном Урале происходит схожим образом – к весенним оттепелям снежный покров сохраняется, при этом в областях с расчлененным рельефом из-за метелевого переноса образуются скопления повышенной мощности в отрицательных формах рельефа (Ходаков, 1964; Ходаков, Ильина, 1989). Образование таких снежных плотин в горных долинах благоприятно для формирования водоснежных потоков гидронапорного генезиса.

Сейсмическая активность как возможный триггер селевых событий (Гаранкина, Лукашов, 2018) имеет большой потенциал в горах Кольского полуострова, поскольку потенциальная частота и интенсивность землетрясений здесь выше как за счет неотектонических движений и гляциоизостатического отклика, так и в связи с горнодобывающей деятельностью.

Один из главных источников твердой фазы для селевых потоков в горах Европейской Субарктики – это морены покровных и горных ледников. В зоне зарождения в качестве источника твердого питания селей более типичны горные морены. Наиболее широкий диапазон высот, благоприятных для селеформирования, характерен для гор Кольского полуострова, где горные морены располагаются на высотах до 900 м.

Последнее обширное покровное оледенение на территории Полярного Урала завершилось около 70 тыс. л. н. (Svendsen et al., 2014; Астахов, 2017), в то время как на Кольском полуострове последний ледниковый покров деградировал лишь к началу голоцена (Евзеров, 2015). Таким образом, продолжительность формирования селевого рельефа в горных долинах Полярного Урала гораздо больше – как минимум, с середины позднего неоплейстоцена (МИС 3), а на отдельных участках и ранее, например, в пределах кряжа Енганэпэ – с начала позднего неоплейстоцена (МИС 5e).

Для гор Кольского полуострова установлены подвижки горных ледников в суббореальный, субатлантический и малый ледниковый период (Евзеров, 2015), для Полярного Урала – активизация в малом ледниковом периоде (Иванов, 2013). Увеличение ледников сопровождается формированием напорных морен – потенциальных источников материала для селевых потоков, а деградация ледников (особенно их быстрое таяние) означает дополнительный источник воды для селей и может сопровождаться кратковременной сменой их господствующего генетического типа со снегового на ледниковый со значительно большими магнитудами.

Влияние антропогенного фактора на селеформирование наиболее велико в Хибинах. Именно в этом массиве сосредоточено наибольшее число действующих горнодобывающих площадок и наибольшие площади заняты отвалами. В частности, целая серия долин здесь была полностью преобразована деятельностью человека – исходного рельефа в них практически не сохранилось, а в последние годы появились данные непосредственно о антропогенно-спровоцированных селях, зоны зарождения которых локализованы в пределах свежих отвальных полей. Воздействие человека на формирование селей Полярного Урала сравнительно невелико в связи узкой локализацией антропогенной инфраструктуры.

Глава 4. Стрoение селевых бассейнов и селевой рельеф гор Европейского сектора Российской Субарктики

Селевые бассейны ключевых горных массивов Европейского сектора Российской Субарктики. В большей части рассмотренных горных массивов Европейского сектора Российской Субарктики селевой рельеф встречается в более, чем 60 % водосборных бассейнов (табл.1, рис.1, 2). Наибольшая доля селевых бассейнов характерна для густо- и глубоко расчлененных массивов, в то время как в более массивных и слабо расчлененных горных сооружениях (Монче-, Чуна и Волчьих тундр) к селевым относится меньше половины от общего числа водосборных бассейнов. Среди селевых повсеместно преобладают бассейны I порядка (до 70-80 %), и лишь в Хибинах их доля чуть более 50 %. Селевые бассейны II порядка встречаются реже (20-30 %). В горах Кольского полуострова наиболее характерны селевые бассейны площадью от 1,5 до 3 кв. км, на Полярном Урале – от 1 до 10 кв. км. Преобладание бассейнов, тяготеющих к ЮЗ, Ю и ЮВ экспозиции, подтверждает представления о ведущей роли снеготаяния как фактора селеформирования в горах Субарктики.

Таблица 1. Общая информация о селевых бассейнах ключевых горных массивов Европейского сектора Российской Субарктики

Количество	Кольский полуостров			Полярный Урал		
	Хибиньы	Ловозерские тундры	Монче-, Чуна- и Волчьих тундры	Хр.Оченьрд, массив г.Лядахэ, хр.Нярьмынхой	кряж Енганэпэ	хребты Мал. Пайпудынский, Бол. Пайпудынский, Харбейский
Общая площадь массива, кв. км	1380	650	765	598	523	640
Всего бассейнов	196	44	90	62	38	74
Селевых бассейнов, в т. ч.	151	35	43	40	30	59
I порядка	79*	28	32	30	20	41
II порядка	38*	7	9	9	10	17
III порядка	20*	0	1	1	0	1
Доля селевых бассейнов в общем числе бассейнов, %	77	80	47	64	79	80

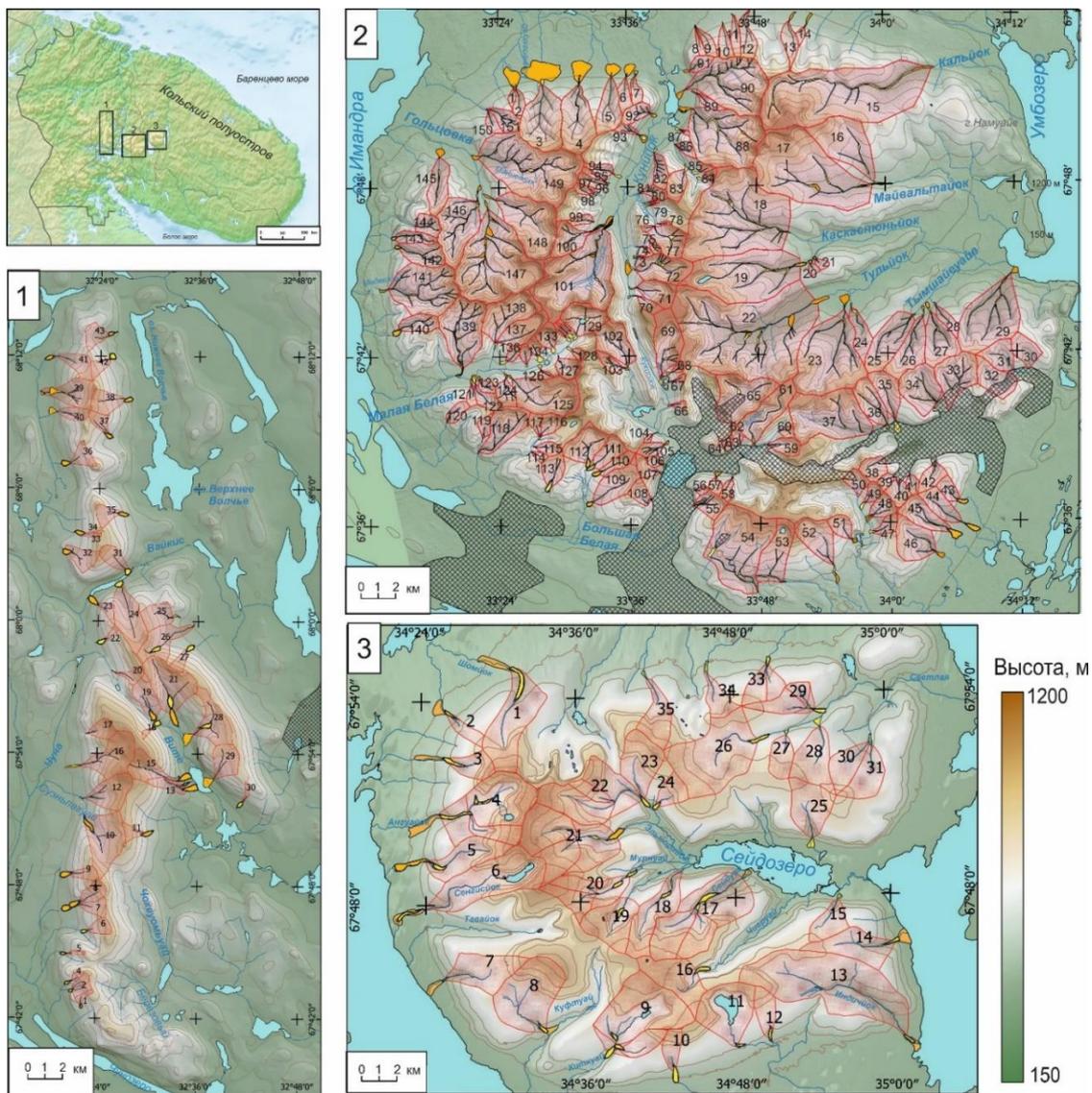
*порядки селевых бассейнов в Хибинах определены без учета бассейнов, рельеф которых в значительной степени преобразован в результате горнопромышленного освоения

Установлено, что селевые очаги в бассейнах I порядка приурочены к достаточно широкому высотному диапазону – от 300-400 до 1000 м. Очаги в верхнем ярусе рельефа – это, главным образом, водосборные воронки в прирвовочных частях склонов, а очаги с более низкими высотными отметками приурочены к перегибам продольного профиля водотоков, прорезающих днища каров, цирков и трогов. Такое распределение типов очагов может быть связано с высотной дифференциацией современных механизмов селеформирования: на более высоком гипсометрическом уровне доминируют гравитационные водоснежные потоки, а на более низком – гидронапорные, возникающие при прорыве перегораживающих русло снежных плотин.

Длина селеносных тальвегов преимущественно не превышает 6 км. Причем для четырех из шести исследованных горных массивов характерна длина селевых тальвегов I порядка не более 3 км – для более дальнего выноса материала существующих уклонов недостаточно. Более длинные селевые тальвеги характерны для бассейнов, где развиты

гидронапорные водоснежные потоки либо фиксируют следы существенно более мощных селевых событий времени дегляциации.

Высотный диапазон устьев селеносных тальвегов достаточно широк – от 200-300 до 500-600 м. Разгрузка селевых потоков и формирование конусов выноса может происходить как в высоком ярусе рельефа (например, у бассейнов на склонах троговых долин, которые образуют конусы в тыловых швах и на днищах последних), так и на низких отметках – у бассейнов, аккумулирующих материал на предгорных равнинах.



УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

Морфодинамические зоны селевых бассейнов

- Зоны транзита
- селеносные русла
- Зоны аккумуляции
- молодые конусы выноса и внутренние дельты
- древние конусы выноса

Прочие обозначения

- селевые бассейны
- озера
- водотоки
- изогипсы
- ▨ антропогенно преобразованные территории

Рис. 1. Селевые бассейны гор Кольского полуострова (1 – Монче-, Чуна- и Волчи тундры, 2 – Хибины, 3 – Ловозерские тундры).

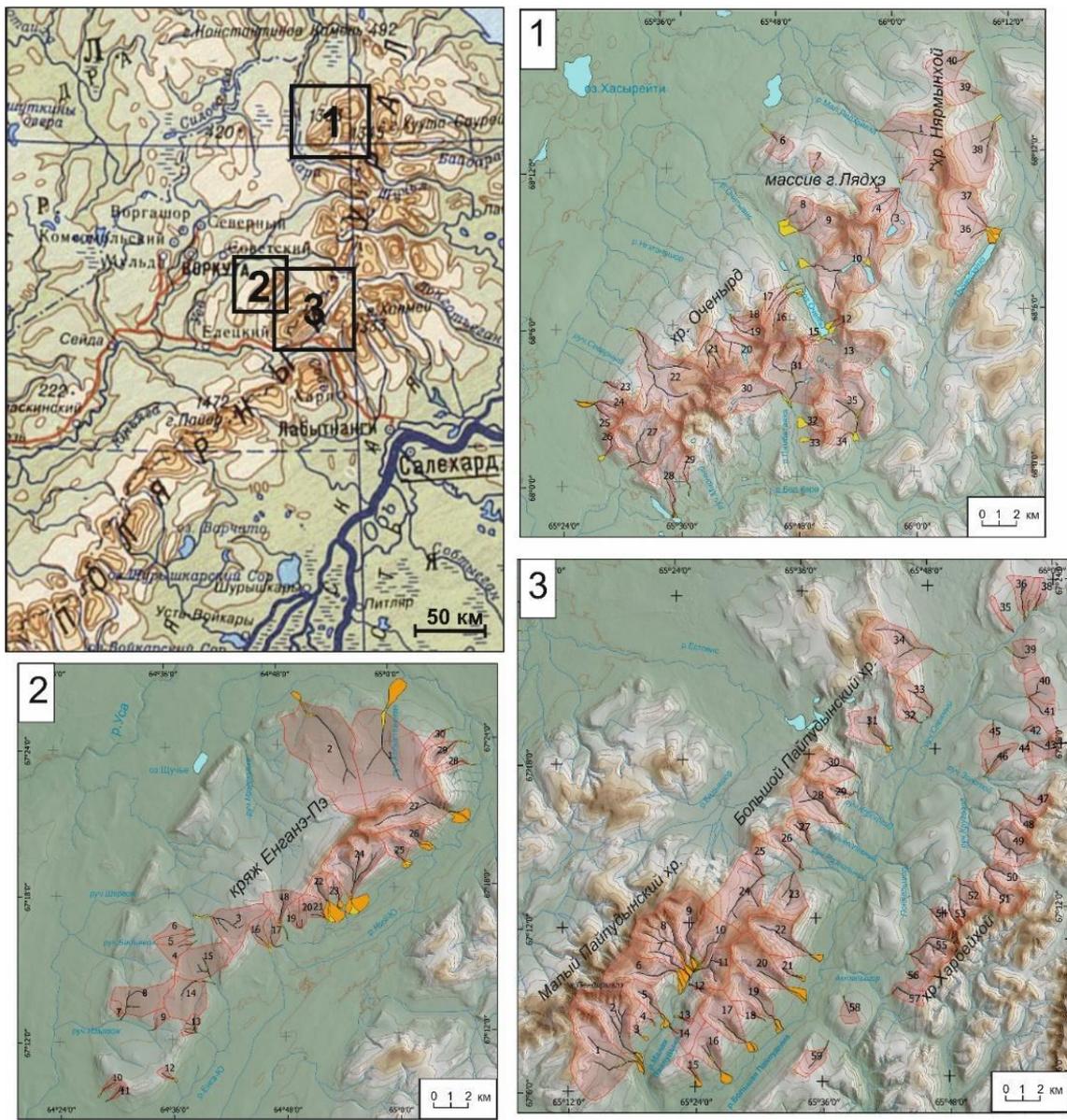


Рис. 2. Селевые бассейны ключевых участков Полярного Урала (1 – хр.Оченьрд, массив г. Лядхэ, хр. Няръмынхой, 2 – кряж Енганэпэ, 3 – хребты Мал. Пайпудынский, Бол. Пайпудынский, Харбейский). Условные обозначения см. на рис. 1.

Молодые зоны аккумуляции в среднем имеют площади от 0,01 до 0,15 кв. км. Минимальны они в Монче-, Чуна- и Волчьих тундрах (менее 0,04 кв. км), максимальны – в пределах хр. Оченырда, массива г. Лядхэ, хр. Няръмынхой (до 0,33 кв. км). Площадь древних зон селевой аккумуляции больше в 3-5 раз (в среднем до 0,2-0,4 кв. км). Аномально крупны (в среднем до 1-2 кв. км) они у бассейнов II порядка Хибин и кряжа Енганэпэ. В горах Кольского полуострова крупнейшие конусы и внутридолинные аккумулятивные тела отмечаются у самых больших и сложно устроенных селевых бассейнов, где древние конусы площадью более 2-4 кв. км соизмеримы с самими бассейнами. На Полярном Урале максимальные площади конусов выноса в 1,5-1,7 кв. км. соответствуют как исключительно крупным бассейнам (площадью более 30 кв. км), так и сравнительно небольшими, площадью в первые квадратные километры.

Доля площади днищ, занятая селевым рельефом, формально отражает вклад селей в формирование облика долин. В пределах изученных массивов суммарная доля площади

селевого рельефа от общей площади днищ горных долин варьирует от 3 до 8 %. Это связано с тем, что селевые потоки прорабатывают пойменно-руслевой и террасовый комплекс в долинах, в то время как остальная часть их днищ, преимущественно в верхних частях трогов, зачастую занятая ледниковым рельефом, остается вне селевого воздействия. Наименьшую долю площади днищ селевого рельефа занимает на Полярном Урале в пределах северного ключевого участка и в районе хребтов Мал. Пайпудынского, Бол. Пайпудынского и Харбейского (табл. 2). Аномально высока (более 50 %) доля днищ селевого рельефа в пределах кряжа Енганэпэ. Столь крупные по площади зоны аккумуляции, зачастую относящиеся не к самым крупным по площади бассейнам, возникли из-за наиболее длительного послеледникового этапа развития долин среди всех ключевых массивов.

Таблица 2. Доля площадей селевого рельефа в общей площади днищ горных долин

Параметр	Кольский полуостров			Полярный Урал		
	Хибины	Ловозерские тундры	Монче-, Чуна- и Волчьи тундры	хр. Оченырда, массив г. Лядхэ, хр. Нярмынхой	кряж Енганэпэ	хребты Мал. Пайпудынский, Бол. Пайпудынский, Харбейский
Суммарная площадь днищ долин, кв. км	263,02	75,16	71,51	218,52	18,22	193,93
Суммарная площадь селевого рельефа, кв. км	15,34	5,71	3,14	6,47	9,78	6,05
Доля площади долин, занятая селевым рельефом, %	5,7	7,6	4,4	3,0	53,7	3,1

Для проверки гипотезы о значимости морфометрических параметров водосборного бассейна как ключевого фактора селеформирования было решено статистически оценить значимость морфологических различий селеносных бассейнов и бассейнов, не несущих следов селевой переработки. Для случайных бесповторных выборок селевых и неселевых бассейнов I порядка каждого из рассматриваемых горных участков был выполнен статистический анализ распределения водосборных площадей бассейнов, уклонов водотоков и отношения ширины бассейна В к его длине L (табл. 3, рис. 3).

Результаты анализа не позволяют сделать однозначного вывода о существовании статистически значимых различий у рассмотренных морфометрических параметров для селевых и неселевых бассейнов изучаемых горных массивов в целом. Судя по результатам расчетов, на Кольском полуострове в Хибинах, Монче-, Чуна- и Волчьих тундрах уклон водотока можно считать значимым параметром для селеобразования. В Ловозерских тундрах уклон водотока играет меньшую роль – вероятно, существеннее влияние лавин на бортах долин, опирающихся на селеносный тальвег, либо характер распределения рыхлых отложений. Площадь водосбора можно считать значимым для селеобразования морфометрическим параметром только в Хибинах. Однако селевые бассейны в пределах этого массива по площади уступают неселевым, что подвергает сомнению определяющую роль площади водосбора для селеформирования. На Полярном Урале статистически значимые различия в распределении уклонов селевых и неселевых водотоков наблюдаются только для северного ключевого участка. В двух других районах решающую роль, по-видимому, играют иные характеристики бассейнов – в первую очередь, распространение, запасы рыхлых отложений и скорости их возобновления.

Таблица 3
Количественные меры различия селевых и неселевых бассейнов первого порядка (цветом залиты ячейки, значения в которых указывают на существенные различия между выборками)

Параметр	t-критерий Стьюдента ($\alpha=0,05$)		Модуль разности средних	Двойная ошибка разности средних
	Модуль рассчитанного t-критерия	t _{крит} (при двустороннем распределении)		
Хибинские тундры (n _c =72, n _н =40)*				
Площадь водосбора	2,79	2,01	0,99	0,72
Уклон водотока	5,54	1,98	134,08	60,55
В/L	0,17	1,984	0,01	0,05
Ловозерские тундры (n _c =22, n _н =14)*				
Площадь водосбора	0,99	2,04	0,07	1,35
Уклон водотока	1,67	2,059	45,517	54,39
В/L	0,32	2,04	0,04	0,17
Монче-, Чуна- и Волчьи тундры (n _c =22, n _н =14)*				
Площадь водосбора	1,27	2,01	0,64	1,01
Уклон водотока	3,24	2,01	57,41	35,44
В/L	2,04	2,01	0,09	0,09
хр. Оченырд, массив г. Лядахэ, хр. Няръмынхой (n _c =24, n _н =18)*				
Площадь водосбора	0,32	2,04	0,29	1,80
Уклон водотока	2,09	2,05	93,34	89,09
В/L	0,53	2,04	0,06	0,24
кряж Енганэпэ (n _c =14, n _н =11)*				
Площадь водосбора	1,95	2,18	1,72	1,77
Уклон водотока	1,10	2,101	28,78	52,16
В/L	1,46	2,18	0,21	0,28
хребты Малый Пайпудынский, Большой Пайпудынский, Харбейский (n _c =23, n _н =17)*				
Площадь водосбора	0,39	2,03	0,19	0,96
Уклон водотока	1,30	2,04	30,90	47,50
В/L	0,41	2,02	0,03	0,13

* n_c – количество селевых бассейнов/талъвегов в выборке, n_н – количество неселевых бассейнов/талъвегов в выборке

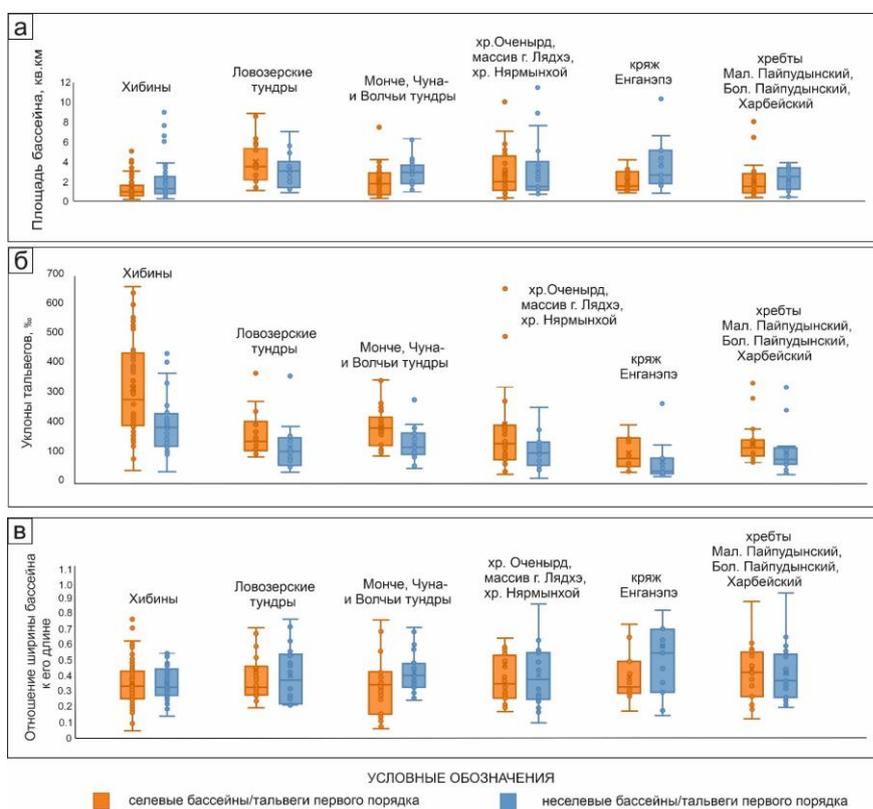


Рис. 3. Распределение водосборных площадей (а), уклонов талъвегов (б) и отношения ширины бассейна к его длине (в) селевых и неселевых бассейнов I порядка в ключевых горных массивах

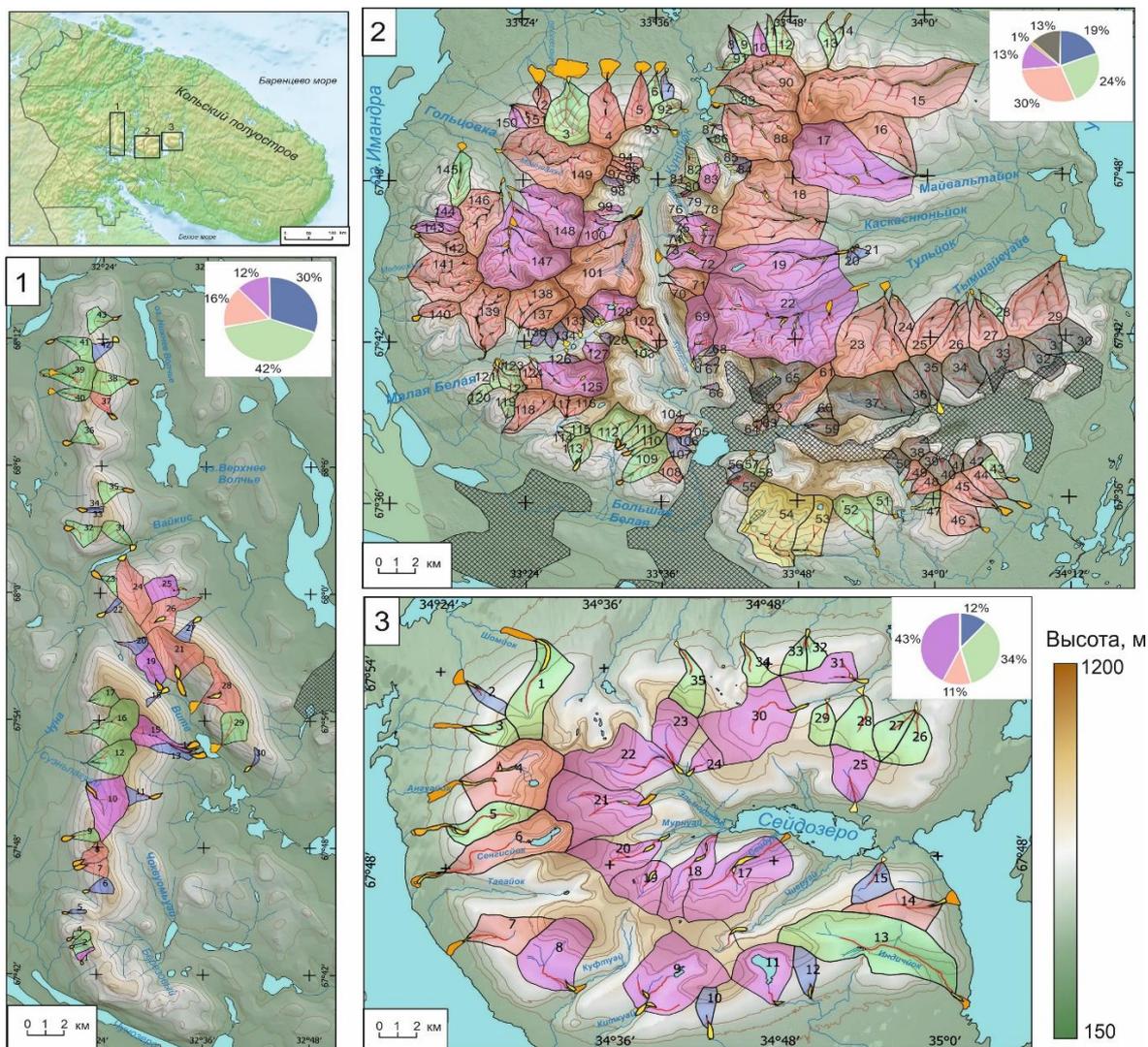
Типы селевых бассейнов гор Европейского сектора Российской Субарктики. В зависимости от их геоморфологического строения селевые бассейны гор Европейского сектора Российской Субарктики подразделены на пять типов (табл. 4, рис. 4, рис. 5):

Таблица 4. Типы селевых бассейнов по геоморфологическому строению

Тип	Характеристика геоморфологического строения
I	Эрозионные врезы на внешних тектоно-денудационных склонах горных массивов и бортах крупных троговых долин с примыкающими приводораздельными склонами
II	Эрозионные долины постоянных водотоков, лишённые значительной ледниковой переработки, с примыкающими приводораздельными склонами
III	Кары, цирки и трогы, в послеледниковое время подвергшиеся значительному преобразованию флювиальными процессами, с примыкающими приводораздельными склонами
IV	Кары, цирки и трогы слабо флювиально переработанные с примыкающими приводораздельными склонами
V	Эрозионные долины постоянных водотоков, сочленённые с тектоническими ущельями и рвами, с примыкающими приводораздельными склонами

В горных массивах Кольского полуострова все выделенные типы селевых бассейнов представлены только в Хибинах, а на Полярном Урале – на всех рассматриваемых территориях за исключением кряжа Енганэпэ. Бассейны II типа доминируют в Монче-, Чуна- и Волчьих тундрах (42 %) и в районе хребтов Малого Пайпудынского, Большого Пайпудынского, Харбейского (54 %). Бассейны III типа доминируют в Хибинах (30 %), на территории хр. Оченырда, массива г. Лядхэ и хр. Няръмынхой (30 %) и кряжа Енганэпэ (57 %). Бассейны IV типа доминируют лишь в Ловозерских тундрах (43 %), однако их доля также велика в пределах хр. Оченырда, массива г. Лядхэ и хр. Няръмынхой (28 %). На всех исследуемых участках широко распространены бассейны I типа – их доля возрастает от 12 % в Ловозерских тундрах и хребтах Мал. и Бол. Пайпудынском и Харбейском до 30 % в Монче-, Чуна-и Волчьих тундрах. Бассейны V типа отсутствуют в Монче-, Чуна- и Волчьих и Ловозерских тундрах, на других участках к этому типу обычно относится не более трех

В горных массивах Кольского полуострова все выделенные типы селевых бассейнов представлены только в Хибинах, а на Полярном Урале – на всех рассматриваемых территориях за исключением кряжа Енганэпэ. Бассейны II типа доминируют в Монче-, Чуна- и Волчьих тундрах (42 %) и в районе хребтов Мал. Пайпудынского, Бол. Пайпудынского, Харбейского (54 %). Бассейны III типа доминируют в Хибинах (30 %), на территории хр. Оченырда, массива г. Лядхэ и хр. Няръмынхой (30 %) и кряжа Енганэпэ (57 %). Бассейны IV типа доминируют лишь в Ловозерских тундрах (43 %), однако их доля также велика в пределах хр. Оченырда, массива г. Лядхэ и хр. Няръмынхой (28 %). На всех исследуемых участках широко распространены бассейны I типа – их доля возрастает от 12 % в Ловозерских тундрах и на хребтах Малом Пайпудынском, Большом Пайпудынском и Харбейском, до 30 % в Монче-, Чуна- и Волчьих тундрах. Бассейны V типа отсутствуют в Монче-, Чуна- и Волчьих и Ловозерских тундрах, на других участках к этому типу обычно относится не более трех бассейнов. Примечательно, что только на территории кряже Енганэпэ отсутствуют бассейны IV типа – возможно, это связано с наиболее продолжительной послеледниковой историей развития участка.



УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

Типы селевых бассейнов

I
 II
 III
 IV
 V
 антропогенно преобразованные селевые бассейны

Прочие обозначения

зоны селевого транзита
 молодые конусы выноса и внутренние дельты
 озера

древние конусы выноса
 водотоки
 антропогенно преобразованные территории

Рис. 4. Типизация селевых бассейнов по их геоморфологическому строению в горах Кольского полуострова (1 – Чуна, Монче- и Волчья тундры, 2 – Хибины, 3 – Ловозерские тундры).

Подробный анализ внутреннего устройства бассейнов разных типов позволил выявить общие закономерности их функционирования во всех исследованных районах Российской Субарктики.

Бассейны I типа устроены просто, а аккумуляция всего транспортируемого материала концентрируется на конусе выноса – зон внутридолинной аккумуляции не образуется. Зона транзита – это небольшой селевой врез, который нередко выступает и в роли лавинного лотка.

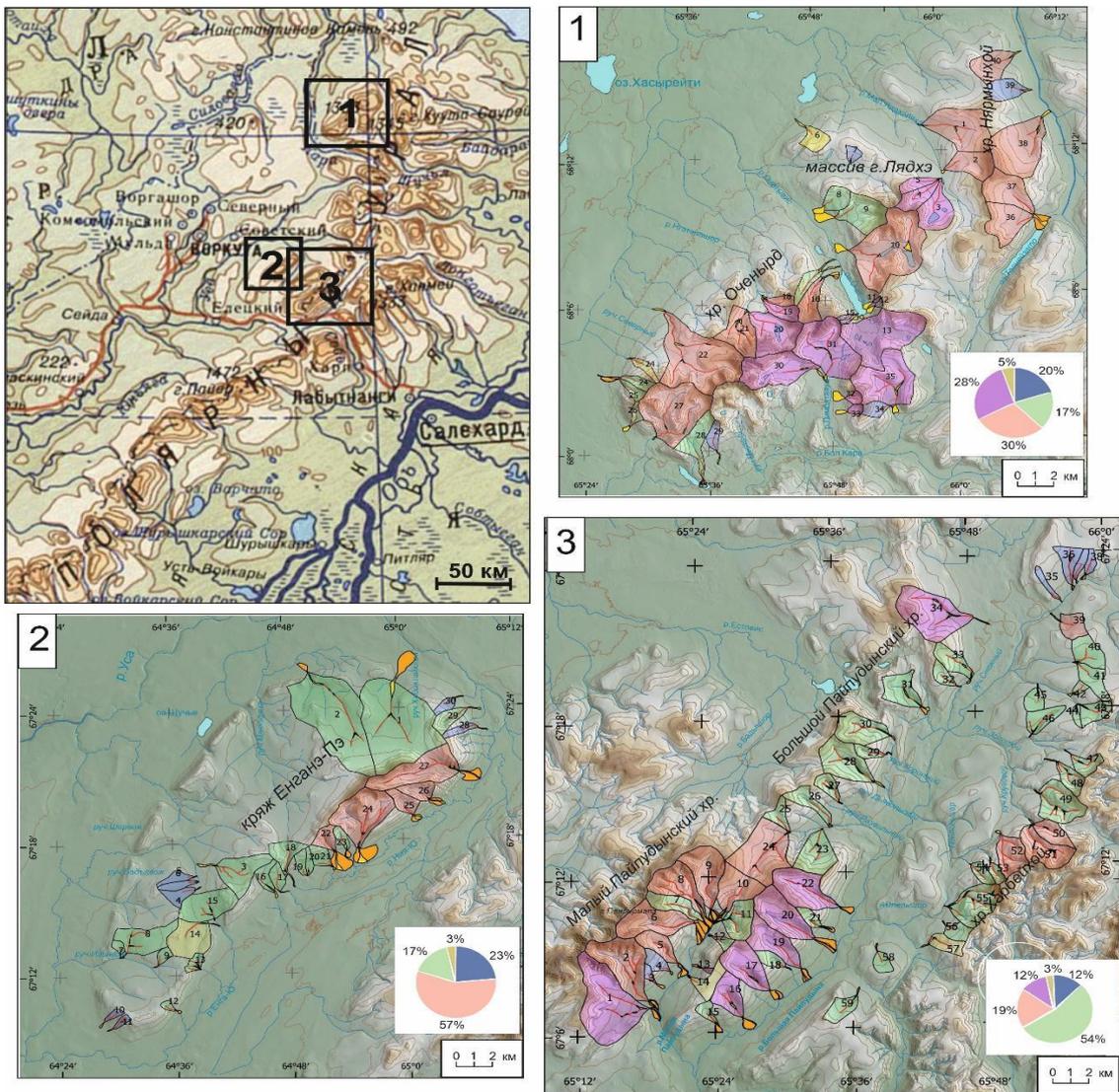


Рис. 5. Типизация селевых бассейнов по их геоморфологическому строению на ключевых участках Полярного Урала (1 – хр. Оченырда, массив г. Лядхэ, хр. Няръмынхой, 2 – кряж Енгапэпэ, 3 – хребты Мал. Пайпудынский, Бол. Пайпудынский, Харбейский). Условные обозначения – см. на рис. 4

В бассейнах II типа, вне зависимости от степени сложности их устройства, большая часть материала аккумулируется на конусе выноса, при дальности селевого выноса до 2-2,5 км за пределы гор. В зоне транзита следы развития нормальных флювиальных процессов практически полностью уничтожаются селевыми потоками. В зоне селевой аккумуляции флювиальных форм, как правило, также не наблюдается, хотя отдельные аллювиальные гряды из перемытого селевого материала могут формироваться ниже этой зоны – обычно уже вне контура гор. Если селеносный водоток впадает в неселевой, первый служит поставщиком материала в приемную долину и тем самым создает условия для формирования аллювиальных форм ниже узла слияния.

Характерная черта бассейнов III типа – разновысотные селевые террасы, образующиеся при размыве ранее накопленных селевых отложений в зонах внутриваловой аккумуляции. В целом выраженность и сохранность селевого рельефа максимальны по всей протяженности зон селевого транзита и аккумуляции. Селевые террасы формируются и в бассейнах II типа, однако ширина их площадок и число уровней

на отдельных поперечных створах долины обычно меньше. Следы флювиальных процессов отмечаются преимущественно только ниже зон устьевой селевой аккумуляции; выше по течению флювиальный рельеф полностью уничтожается селями, а флювиальный процесс ограничивается перемывом тонких фракций селевого материала.

У бассейнов IV типа конусы выноса выражены хуже, средняя дальность выноса за пределы гор не достигает 0,5 км, а аккумуляция до половины транспортируемого материала происходит в средней части бассейна (за исключением бассейнов хребтов Малый и Большой Пайпудынский). Флювиальный процесс сводится к выносу тонкой фракции из селевых отложений зон разгрузки и внутридолинной аккумуляции; в пределах зон разгрузки руслах встречаются единичные аллювиальные гряды.

В бассейнах V типа значительная часть транспортируемого материала отлагается в средней части бассейна. Внутридолинные зоны аккумуляции в большинстве случаев приурочены к резким коленообразным поворотам тектонических рвов и ущелий. Флювиальные процессы преимущественно развиваются ниже зон аккумуляции.

В горах Европейского сектора Российской Субарктики выраженный флювиальный рельеф в селевых долинах формируется ниже зон селевой аккумуляции – фактически за пределами селевых бассейнов. Внутри селевых бассейнов формы флювиального рельефа единичны и как правило отмечаются ниже внутридолинных зон аккумуляции. Часть флювиальных форм в этих зонах может быть размыва селевыми потоками.

Глава 5. Последледниковая динамика селевых процессов в горах Европейского сектора Российской Субарктики

Реконструкция селевой динамики в горах Кольского полуострова в голоцене. В бассейнах горных массивов Кольского полуострова на основе интеграции морфологических и ландшафтных критериев и данных радиоуглеродного и дендрохронологического датирования выявлены генерации селевого рельефа возрастом от нескольких тысяч до нескольких лет. Наиболее крупные формы селевого рельефа – селевые врезы в днищах долин глубиной более 10 м и обширные конусы выноса на предгорных равнинах – были сформированы в первой половине голоцена, вероятно, преимущественно в относительно короткий временной промежуток во время и непосредственно после финальной дегляциации. Судя по преобладанию щебнисто-глыбового материала в составе древних селевых отложений, можно предполагать развитие преимущественно водокаменных потоков на стадии дегляциации. Средне- и позднеголоценовые формы меньше – сокращаются превышения террас над тальвегом и площади аккумулятивных образований. В то же время более древний селевой рельеф носит следы существенного преобразования во время последующих селевых событий. В строении разреза одной террасы могут быть представлены разновозрастные пачки селевых отложений, что свидетельствует о перекрытии более древних форм более молодыми образованиями. В пределах конусов выноса более молодые генерации, концентрирующиеся вдоль современных русел, перекрывают более древние образования, создавая характерную волнисто-выпуклую форму их поперечного профиля.

В результате анализа плотности распределения радиоуглеродных и дендрохронологических возрастных данных (рис. 6) между периодами относительной стабилизации аккумулятивных поверхностей (Garankina et al., 2019) уточнены интервалы потенциальной активизации селевых и склоновых процессов: 6300-6000, 2800-2400, 2100-1800 кал.л.н. и последние 500 лет.

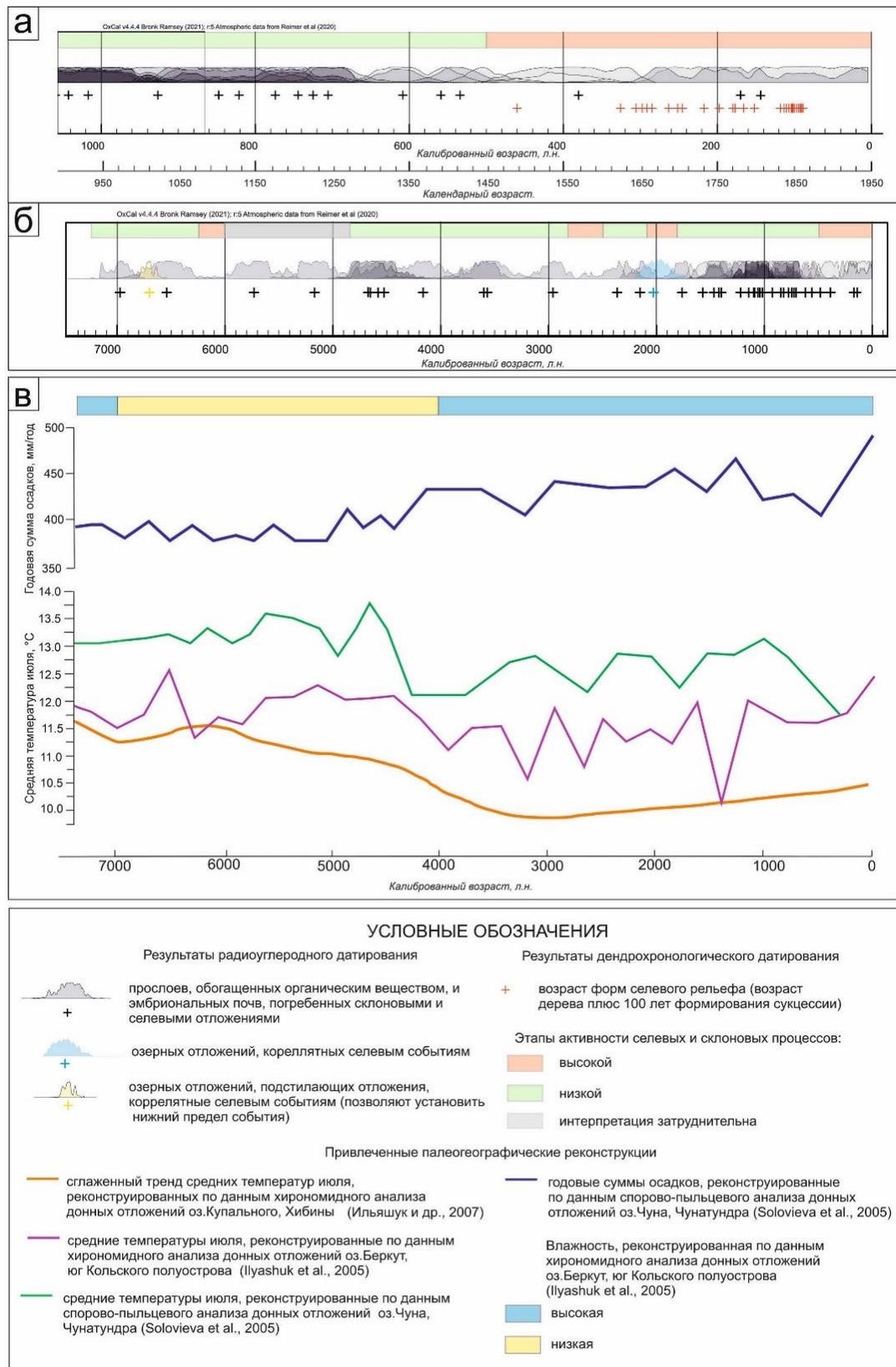


Рис. 6. Интеграция имеющихся результатов радиоуглеродного и дендрохронологического датирования для Хибинских и Ловозерских тундр, сопоставленная с имеющимися палеогеографическими реконструкциями: плотность распределения вероятностей радиоуглеродных дат и верхний возраст селевого рельефа по дендрохронологическим данным для последних 1000 лет (а), плотность распределения вероятностей радиоуглеродных дат на последние 7500 лет (б); палеогеографические реконструкции для западной (Solovieva et al., 2005; Ильяшук и др., 2007) и южной (Ilyashuk et al., 2005) части Кольского полуострова (в).

Самый древний из выделенных интервалов приходится на эпоху низкой влажности и общего тренда к понижению летних температур и иссушению климата, реконструированным по данным хирономидного (Ильяшук и др., 2007; Pyashyk et al., 2005), спорово-пыльцевого (Solovieva et al., 2005) и диатомового (Олюнина и др., 2008) анализов. Остальные выделенные интервалы соответствуют реконструированным этапам высокой влажности и сравнительно низких летних температур – кроме современного этапа, которому в реконструкциях по хирономидам и древесно-кольцевым сериям (Kononov et al., 2009) и метеорологическим данным за период наблюдения (Романенко, Шиловцева, 2016) соответствует тренд на повышение летних температур.

Имеющийся массив данных о строении и расположении селевого рельефа и о времени развития селевых процессов на Кольском полуострове позволяет говорить об их значительной, но неоднородной активности в голоцене. Интеграция результатов радиоуглеродного и дендрохронологического датирования и данных о морфологических параметрах древних селевых тел и отложениях, их слагающих, позволяет выделить следующие основные этапы развития селевых бассейнов в горах Кольского полуострова:

1. Развитие в начале голоцена селевых потоков максимальной мощности, сформировавших наиболее крупные формы селевого рельефа, сохранившиеся по сей день: конусы выноса, сильно выдвинутые за пределы селевых бассейнов, внутридолинные зоны аккумуляции (последние в настоящее время нередко соответствуют высокому уровню селевых террас в средних течениях долин);

2. Внутриголоценовые ритмы активизации селевых процессов, для которых характерно частичное преобразование сформированных на предыдущем этапе форм селевого рельефа, но не их полное уничтожение;

3. Современный этап активизации селевых процессов, начавшийся около 500 кал.л.н. и соответствующий малому ледниковому периоду.

Общие закономерности развития селевых процессов в горах Европейского сектора Российской Субарктики в послеледниковье. Судя по имеющимся данным о возрасте селевого рельефа, на протяжении всего послеледникового этапа развития селевых бассейнов гор Кольского полуострова наблюдается общая тенденция направленного снижения мощности селевых потоков. Несмотря на разное время предположительного начала формирования наблюдаемого селевого рельефа в горах Кольского полуострова (позднеледниковье и голоцен) и Полярного Урала (МИС 5e для некоторых селевых бассейнов кряжа Енганэпэ и МИС 3 для остальных ключевых участков), сходные черты в расположении генераций молодого и древнего селевого рельефа могут указывать на общую для обеих территорий тенденцию к изменению интенсивности селевых потоков с начала времени формирования древнего селевого рельефа.

Несмотря на существенно более раннее отступление ледников на рассмотренных участках Полярного Урала, созданные предположительно на этапе дегляциации конусы выноса сохранились до наших дней. В то же время современный селевой рельеф Полярного Урала, как и в горах Кольского полуострова, локализован главным образом в руслах водотоков или в непосредственной близости от них. На данный момент не имеется абсолютных датировок позднеплейстоцен-голоценовых селевых событий и, соответственно, прямых данных об этапах активизации селевых процессов на Полярном Урале. Однако сведения об активизации горных ледников в МИС 2 (Mangerud, 2008, Svendsen, 2011), пусть и не очень значительной, позволяют выдвинуть предположение о

возможном этапе активизации селевых процессов в конце МИС 2 – начале МИС 1. Кроме того, современное оледенение Полярного Урала в настоящее время находится на стадии деградации (Черкасова, Иванов, 2020), что позволяет предполагать начало последнего этапа активизации селевых процессов на Полярном Урале примерно с XVIII в.

Заключение

1. Селевые процессы развиваются более чем в половине изученных горных долин Кольского полуострова и Полярного Урала. Минимальная доля селевых среди общего числа водосборных бассейнов приходится на массивы с наименьшим расчленением рельефа и малым числом очагов твердого питания селей. Наиболее крупные по площади селевые бассейны тяготеют к формам ледникового рельефа – ледниковым циркам и троговым долинам. Преобладание бассейнов южной экспозиции подтверждает представления о ведущей роли снеготаяния как фактора селеформирования в горах Субарктики. Большой высотный диапазон очагов зарождения селей связан с генетическим разнообразием селевых очагов – на более высоком гипсометрическом уровне преимущественно развиваются гравитационные водоснежные потоки, а на более низком – гидронапорные. Разброс значений средних уклонов селевых тальвегов также свидетельствует о разных механизмах селеформирования – при высоких уклонах на первый план выходит гравитационный механизм, при сравнительно небольших – гидронапорный.

2. Проведенный анализ значимости статистических различий для случайных выборок некоторых морфометрических параметров (площади водосбора, уклона водотока и отношения ширины бассейна к его длине) селевых и неселевых бассейнов I порядка для шести ключевых участков не позволяет однозначно констатировать существования статистически значимых различий между этими выборками. По-видимому, на селеобразование в пределах этих территорий оказывают значимое влияние иные факторы. Представляется, что решающее значение для селеформирования имеет запас рыхлых отложений в пределах бассейна. В этом плане для развития селей наиболее перспективны водосборные бассейны, в пределах которых сохранились значительные мощности отложений ледниковой парагенетической группы.

3. Различия в геоморфологическом строении селевых бассейнов ключевых территорий позволяют выделить пять их типов. Геоморфологическое строение определяет тип функционирования селевого бассейна, контролирует пространственное расположение и степень развитости внутриводосборных и устьевых зон аккумуляции, влияет на морфологическую выраженность морфодинамических зон. В бассейнах всех типов селевые процессы играют ключевую роль в формировании облика русел и днищ долин. Флювиальный рельеф получает полноценное развитие только ниже устьевых зон селевой аккумуляции - уже за пределами селевых бассейнов.

4. Для гор Кольского полуострова интеграция результатов радиоуглеродного и дендрохронологического датирования и данных о морфологических параметрах древних селевых тел и отложениях, их слагающих, позволяет констатировать следующее:

- в эпоху дегляциации развивались более мощные по сравнению с современными селевые потоки, следы которых сохранились в современном рельефе – в первую очередь, в виде больших по площади конусов выноса, сильно выдвинутых на предгорную равнину.

- в интервале 6300-6000, 2800-2400, 2100-1800 кал. л. н. и в последние 500 лет имела место интенсификация селевых и склоновых процессов. Развивавшиеся в эти эпохи селевые потоки частично перерабатывали сформированный ранее древний рельеф, но не смогли

уничтожить его целиком, что свидетельствует в пользу направленного снижения мощности потоков в послеледниковье.

5. В селевых бассейнах гор Европейского сектора Российской Субарктики морфология пойменно-руслового и террасового комплекса контролируется селями. Размеры зоны селевого воздействия зависят от геоморфологического типа бассейна. Реликтовые селевые формы времени дегляциации, даже в случае их расположения вне зоны активного селеформирования, продолжают быть значимым генетическим типом рельефа.

СПИСОК ОСНОВНЫХ ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

В журналах Scopus, WoS, RSCI, а также в изданиях, рекомендованных для защиты в диссертационном совете МГУ по специальности 1.6.14:

1. **Рудинская А.И.,** Беляев Ю.Р., Гуринов А.Л., Беляев В.Р., Гаранкина Е.В. Геоморфологические позиции селевых бассейнов Ловозерских тундр // Вестник Московского университета. Серия 5. География. — 2022. — № 2. — С.119–132. / 0,88 п. л. (*Scopus, RSCI, РИНЦ, IF SJR = 0,258*). Беляеву Ю.Р. принадлежит постановка задачи. Беляев Ю.Р., Гуринов А.Л., Беляев В.Р., Гаранкина Е.В. участвовали в сборе фактического материала. Анализ и обобщение материала выполнено автором диссертации
2. **Рудинская А.И.,** Беляев Ю.Р. Морфометрические характеристики селевых бассейнов Европейского сектора Российской Субарктики // Известия РАН. Серия географическая. — 2022. — Т.86. — № 5. — С. 746–762. DOI: 10.31857/S2587556622050107 / 1,06 п. л. (*Scopus, RSCI, РИНЦ, IF SJR = 0,217*). Беляеву Ю.Р. принадлежит постановка задачи. Все результаты получены автором диссертации.
3. **Рудинская А.И.,** Беляев Ю.Р. Селевой рельеф в бассейне Малой Пайпудыны (Полярный Урал) // Геоморфология и палеогеография. — 2023. — Т. 54. — № 3. — С. 14 - 25. DOI:10.31857/S2949178923030088 / 0,75 п. л. (*Scopus, RSCI, РИНЦ, IF SJR = 0,212*). Беляеву Ю.Р. принадлежит постановка задачи. Все результаты получены автором диссертации.

Прочие публикации

4. Garankina E.V., Belyaev V.R., Belyaev Y.R., Gurinov A.L., Ivanov M.M., Kuzmenkova N.V., Romanenko F.A., **Rudinskaya A.I.,** Tulyakov E.D. Integration of landforms, deposits and paleosols analysis for reconstructing Holocene debris flow activity in the low mountains of Kola Peninsula // Climate Change Impacts on Sediment Dynamics: Measurement, Modelling and Management. — Springer Proceedings in Earth and Environmental Sciences (SPEES). — № 381— Springer Cham, 2019. — P. 47–51. Гаранкиной Е.В. принадлежит постановка задачи, анализ и обобщение материала. Гуринову А.Л. принадлежат иллюстрации. Романенко Ф.А. принадлежит анализ радиоуглеродных дат. Гаранкина Е.В., Беляев В.Р., Беляев Ю.Р., Гуринов А.Л., Иванов М.М., Кузьменкова Н.В., Романенко Ф.А., Туляков Е.Д. и автор диссертации участвовал в сборе полевых материалов для публикации.