

На правах рукописи



СИЗОВ Олег Сергеевич

**ЭОЛОВЫЕ МОРФОЛИТОСИСТЕМЫ СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ
ЗАПАДНО-СИБИРСКОЙ РАВНИНЫ:
ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ**

1.6.14. Геоморфология и палеогеография

Автореферат

диссертация на соискание ученой степени
доктора географических наук

Москва – 2026

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институт проблем нефти и газа Российской академии наук (ФГБУН ИПНГ РАН), лаборатория комплексного геолого-геофизического изучения и освоения нефтегазовых ресурсов континентального шельфа

Официальные оппоненты:

Лукашов Андрей Александрович, доктор географических наук, профессор, профессор кафедры геоморфологии Географического факультета Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова» (Москва)

Афанасьев Виктор Викторович, доктор географических наук, заведующий лабораторией береговых геосистем Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт морской геологии и геофизики Дальневосточного отделения Российской академии наук (Южно-Сахалинск)

Зольников Иван Дмитриевич, доктор геолого-минералогических наук, доцент, ведущий научный сотрудник, и.о. заведующего лабораторией геоинформационных технологий и дистанционного зондирования Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева Сибирского отделения Российской академии наук (Новосибирск)

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт географии имени В.Б. Сочавы Сибирского отделения Российской академии наук (ФГБУН ИГ СО РАН, Иркутск)

Защита диссертации состоится **13 ноября 2026 г.** в 11 час. 00 мин. на заседании диссертационного совета 24.1.049.04 в конференц-зале Института географии РАН по адресу: 119017, г. Москва, Старомонетный пер., д. 29, стр. 4.

С диссертацией можно ознакомиться в Научной библиотеке и на сайте Института географии РАН <http://igras.ru/4494>

Автореферат разослан « ____ » _____ 2026 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
кандидат географических наук



Е.А. Белоновская

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность исследования

Широкое развитие эолового рельефа и субэриальных отложений на севере Западной Сибири является общепризнанным [Величко, Тимирева, 2005; Зыкина и др., 2023] – эоловый рельеф выражен в виде котловин выдувания (раздувов и локальных песчаных обнажений), отдельных параболических дюн и относительно выровненных участков, сложенных покровными эолово-нивейными песками.

Тем не менее, можно констатировать, что в настоящее время примеры планомерных комплексных исследований отсутствуют. В литературе в основном представлены фрагментарные полевые описания котловин выдувания и параболических дюн с привязкой к наиболее значимым географическим объектам (долинам рек, берегам крупных озер) [Земцов, 1962]. Приводятся удельные значения площади разведываемых участков для отдельных районов без детального описания особенностей их развития и локализации [Воскресенский, 2001]. Это же относится и к антропогенно-нарушенным территориям, которые в дальнейшем становятся ареной активизации процессов дефляции [Васильев, 1998; Солодовников, 2007]. Выделенные на основе автоматической классификации среднемасштабной космической съемки участки оголенных песков [Global..., 2010] содержат высокую степень генерализации, не позволяющую объективно оценить особенности распространения.

Определенный пробел существует и в представлении о морфологической разнообразии континентальных эоловых форм севера Западной Сибири. Большинство имеющихся разрозненных описаний эолового микрорельефа, которые содержатся в отчетах о геологической и геоморфологической съемке территории, основаны на простейших инструментальных и визуальных методах. Подобные разовые наблюдения не позволяют сделать выводы о современной эоловой морфодинамике.

Важное значение имеет изучение ответной реакции эолового рельефа на масштабное антропогенное воздействие, сопровождаемое изменением температурного режима грунтов и разрушением почвенно-растительного покрова. Официальная экологическая статистика за последние годы фиксирует неуклонное расширение площади нарушенных земель в результате разработки месторождений нефти и газа [Доклад..., 2023]. Процессы снижения биопродуктивности и опустынивания в зоне тундры и лесотундры также тесно связаны с интенсификацией традиционных форм хозяйства, в частности с перевыпасом домашних оленей. Общий рост техногенной нарушенности, развитие обезлесивания и опустынивания рассматриваются в настоящее время исследователями как одни из наиболее актуальных экологических проблем региона [Пуровский район..., 1996; Соромотин, Сизов, 2007]. В этом отношении вполне очевидна необходимость комплексного изучения причин, проявлений и динамики антропогенной нарушенности почвенно-

растительного покрова в пределах тундровых, лесотундровых и северо-таежных ландшафтов с последующей разработкой методов экологической реставрации нарушенных территорий.

Вместе с тем, слабо изучена ответная реакция экосистем на глобальные долгосрочные климатические изменения, наиболее явно проявляющиеся в арктических и субарктических регионах [Доклад..., 2023]. Северные и центральные части Западной Сибири в течение четвертичного периода, согласно имеющимся представлениям, в различное время могли представлять собой: холодную обширную позднеледниковую пустыню [Волков, 1971; Величко, Тимирева, 2005], арену развития крупных покровных оледенений [Архипов, 1971; Земцов, 1976], дно ледниково-подпрудного («озеро Манси») [Волков, Волкова, 1964; Mangerud et al., 2004] или морского [Чочиа, Евдокимов, 1993; Кузин, 2005, 2013] водоема. Подобное расхождение во взглядах обуславливает необходимость подробного рассмотрения палеогеографических аспектов формирования эоловых осадков, а также выявления их индикационного значения при реконструкции условий осадконакопления на рассматриваемой территории в целом. Перспективность данного направления исследований во многом связана с высокой степенью устойчивости эоловых песков к постседиментационной трансформации и процессам выветривания [Bagnold, 1941; Cheril, 1945b, 1945a; McKee, 1979; Pye, Tsoar, 2009]. Формы эоловой аккумуляции также хорошо сохраняются в условиях повышенной влажности, криогенного воздействия или активного зарастания. Палеогеографическое изучение эоловых форм рельефа имеет высокий научный потенциал для решения проблемных вопросов, связанных с историей и прогнозом развития рельефа Западной Сибири, а анализ особенностей эолового осадконакопления может послужить основой для различных палеоландшафтных реконструкций.

В последние годы наблюдается лавинообразный рост первичных научных данных. Это относится как к результатам разнообразных полевых исследований, которые свободно распространяются в рамках международных проектов (CALM, TSP и др.) [Brown et al., 2000; Romanovsky et al., 2010; Vasiliev et al., 2020], так и к данным дистанционных наблюдений, охватывающих в т.ч. и арктические регионы (космические снимки Landsat, Sentinel, Corona, «Ресурс-П» и др.; цифровые модели рельефа ArcticDEM, AW3D30, AsterDEM2, TanDEM90 и др.). Современный уровень научных исследований подразумевает возможность применения новых методов определения «календарного» возраста песчаных осадков различного генезиса (ОСЛ, УМС). Глубина временного охвата позволяет провести актуализацию представлений предшественников о развитии эоловых форм рельефа [Земцов, 1962]. Следовательно, важную роль приобретает разработка методических подходов по совместному использованию разнородных данных для обеспечения целостного и непротиворечивого представления наблюдаемых природных процессов и явлений.

Актуальная экологическая проблематика предполагает учет социально-экологических аспектов проявления изучаемых процессов и явлений. Таким образом, исследования, направленные на обобщение существующих материалов, их анализ, детализацию и оценку составляет несомненный фундаментальный научный интерес.

Степень изученности темы исследования

Эоловые процессы и формы рельефа в России имеют длительную историю изучения [Соколов, 1884; Обручев, 1890; Тутковский, 1899, 1910]. Однако основное внимание в большинстве исследований уделялось территориям с аридными условиями, где деятельность ветра имеет наибольшую интенсивность [Федорович, 1983; Чичагов, 2010].

В северных регионах, несмотря на многочисленные упоминания в геологических отчетах, отдельных публикациях и обобщающих монографиях, специальные предметные исследования эоловых отложений и форм рельефа практически не проводились. За последние 15 лет можно отметить буквально единичные работы, посвященные субаэральным осадкам на северо-востоке Русской равнины [Астахов, Свенсен, 2011; Zaretskaya et al., 2024] и эоловому рельефу Якутии (на примере Кызыл-Сырского тукулана в бассейне р. Вилюй) [Куть, 2015; Галанин и др., 2018; Галанин, Павлова, 2019].

Для севера Западной Сибири существенны результаты изучения литологии эоловых осадков [Земцов, 1976; Астахов, 1999; Назаров, 2011], а также данные датировок, которые позволили выделить два разновременных горизонта «оленьих» и «байдарацких» песков, имеющих повсеместное распространение при общем покровном залегании [Forman et al., 2002; Лист R-42..., 2015]. Однако, подобные исследования затрагивают лишь наиболее северные территории Ямала и Гыдана, в то время как на обширном континентальном междуречье Оби и Енисея детальные аналитические работы практически не проводились. Отсутствуют также данные и о возрасте эоловых осадков, которые широко распространены в долинах большинства крупных рек (Полуй, Казым, Надым, Пур, Таз) и их притоков. Аналогичная ситуация наблюдается с современным датированием и других парагенетических осадков.

Относительно специфики природных условий развития эоловых процессов можно отметить, что в научных работах рассматривается преимущественно проблема дефляции сельскохозяйственных угодий в южной части равнины [Евсеева, 2009]. Для северных районов Западной Сибири можно выделить отдельные исследования динамики растительности на песчаных обнажениях естественного и антропогенного происхождения [Москаленко, 1999; Коронатова, Миляева, 2011; Лоботросова, 2014; Капитонова и др., 2017; Лоботросова и др., 2018]. Большинство вопросов, связанных с оценкой климатического потенциала дефляции, описанием флористического состава естественных песчаных раздувов, выявлением особенностей и ведущих факторов успешного первичного восстановления

почвенного-растительного покрова на подвижных песках в научной литературе освещены слабо и требуют более детального рассмотрения. Получение подобных данных необходимо для локализации применяемых универсальных методик восстановления растительности, которые не учитывают региональные природные особенности.

Существенно лучше изучены эоловые формы в высокоширотных районах Европы, Северной и Южной Америки. В силу своей уникальности и интразональности, они являются популярным объектом исследований разнообразной тематики [McKee, 1979; Pye, Tsoar, 2009; Goudie, 2013; Lancaster et al., 2013; Livingstone, Warren, 2019; Lancaster, 2023], в частности:

- значительное количество работ посвящено геологическим и палеогеографическим вопросам происхождения эоловых отложений в контексте климатических изменений и формирования рельефа в конце неоплейстоцена и начале голоцена;

- на примере песчаных дюн проводятся многочисленные исследования первичных сукцессионных изменений растительности, расширяющих научное понимание закономерностей смены и восстановления растительных сообществ в неустойчивых и экстремальных условиях арктического климата;

- появление огромного объема различных дистанционных данных (аэрофотоснимки, космические снимки, лидарная съемка) стимулирует разнообразные исследования динамики природных процессов в пределах массивов подвижных песков (скорость перемещения дюн, интенсивность эоловой аккумуляции, активность зарастания дюн и др.).

Таким образом, наличие обширного объема знаний о ключевых аспектах развития эолового рельефа в высоких широтах различных регионов создает предпосылки для успешной интеграции полученных в данной работе результатов в общую научную картину.

Цель настоящего исследования – выявление пространственно-временных закономерностей развития эоловых морфолитосистем в постледниковых обстановках Западно-Сибирской равнины в контексте общей истории развития рельефа территории и современного хозяйственного освоения нефтегазовых ресурсов.

Реализация поставленной цели включала решение **следующих задач**:

- 1) Анализ и обобщение существующих представлений об особенностях развития и закономерностях распространения процессов эолового морфолитогенеза в постледниковых обстановках севера Западно-Сибирской равнины;

- 2) Определение основных геоморфологических (морфологических, морфометрических и морфодинамических) и литологических *свойств* эоловых морфолитосистем на севере Западно-Сибирской равнины *на основе результатов дистанционных, полевых и камеральных исследований*;

3) Выявление периодов активизации эоловых процессов, реконструкция региональной истории эолового морфолитогенеза *на основе совместного анализа впервые полученных и существующих геохронологических данных*;

4) Установление роли природных (климатических, геоботанических) и антропогенных (техногенных, пирогенных) факторов, определяющих интенсивность региональных эоловых процессов на современном этапе развития рельефа (последние 50 лет) *на основе анализа данных инструментальных гидрометеорологических наблюдений*;

5) Выявление геоэкологических свойств эоловых морфолитосистем, оказывающих непосредственное влияние на формирование системы жизнеобеспечения молодых городских поселений на севере Западно-Сибирской равнины *на основе анализа дистанционных, полевых и гидрометеорологических данных*.

Объект исследования – эоловые морфолитосистемы на севере Западно-Сибирской равнины, основным элементом которых являются эоловые формы рельефа (природные и антропогенные) и покровные отложения, точная пространственная локализация и характерные индикационные признаки которых обеспечивают их однозначную натурную идентификацию и дифференциацию.

Предмет исследования – организованность, пространственно-временная динамика, региональные особенности и природные факторы развития эоловых морфолитосистем в холодных континентальных условиях Западной Сибири, а также их трансформация под влиянием масштабной хозяйственной деятельности по добыче и транспортировке углеводородов.

Пространственные рамки полевых исследований ограничены бассейнами рек Надым, Полуй, Казым, Пур, а также южным побережьем Обской губы (Надымская Обь) (рис. 1). Рассматриваемая территория характеризуется низкой степенью изученности – для целого ряда участков (верховья рр. Надым, Сухой Полуй, Нгарка-Пурьяха и др.) предыдущие детальные исследования проводились более 60 лет назад [Гройсман, 1954; Хлебников, 1954; Чекунова, 1954; Евсеев, Рейнин, 1958; Чочиа и др., 1962]. Датирование отложений для большинства речных бассейнов выполнено впервые. Стационарные исследования проводились в пределах модельной котловины выдувания, расположенной вблизи устья р. Хейгияха (Лонгьюган, левый приток р. Надым) ($N65,356881^{\circ}$ $E72,966135^{\circ}$; 25 км к юго-востоку от г. Надым). Контрольные участки расположены на водоразделах Салехардского увала, Аганского увала, Белогорской возвышенности, в верхнем течении р. Таз.

Дистанционные исследования (картографирование и типологизация эоловых форм рельефа) проводились в пределах всей северной части Западно-Сибирской равнины.

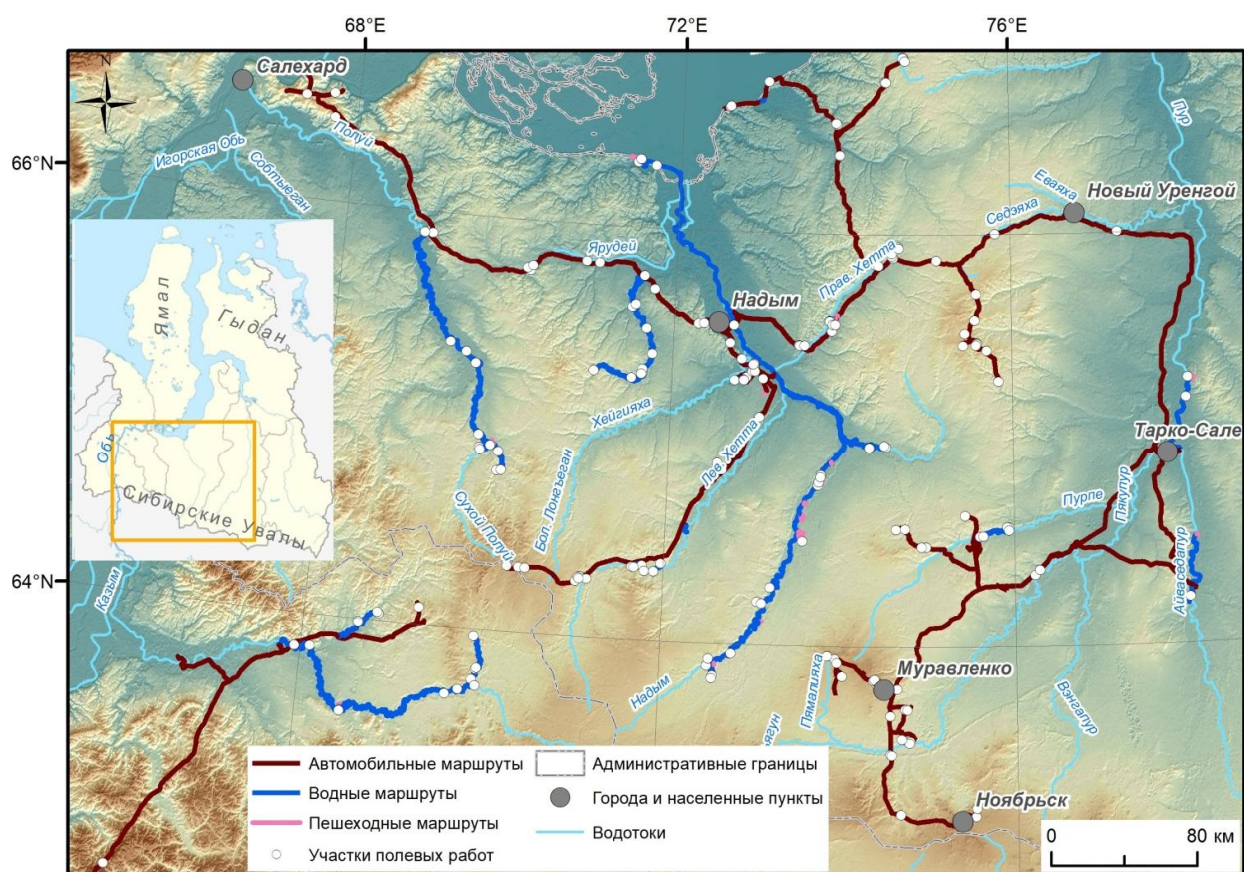


Рисунок 1 – Обзорная карта основных полевых точек и маршрутов

Геохронологические рамки лимитированы возможностями метода оптико-люминесцентного датирования песчаных осадков. История развития территории рассматривается с середины неоплейстоцена, развитие эоловых морфолитосистем – с конца неоплейстоцена, современный этап эолового морфолитогенеза охватывает последние 50 лет.

Методологическая основа исследований

Методология настоящей работы основана на рассмотрении *особой внеаридной материковой* эоловой морфолитосистемы в качестве примера геоморфологической системы, что дает возможность последовательного всестороннего изучения ее функциональных, временных и пространственных параметров и свойств (устойчивость, динамичность, организованность, дифференциация, память и др.).

Ключевое значение при системном изучении эоловых морфолитосистем имеет совместное (неделимое) рассмотрение литологии осадочных пород, подвергаемых эоловой трансформации, динамики рельефообразующих процессов эоловой аккумуляции и дефляции, а также морфометрических и морфологических особенностей производных эоловых форм рельефа (положительных и отрицательных). Теоретическое обоснование подобного совместного использования геолого-геоморфологических методов представлено в концепции геоморфологических формаций [Флоренсов, 1964,

1971, 1978]. Позднее данный подход получил развитие в учении о морфолитогенезе [Симонов, 1972; Симонов и др., 1998].

При реконструкции истории развития эоловых морфолитосистем исследование опирается на концепцию «гляциоэоловых процессов», предполагающую устойчивую связь периодов глобальных похолоданий с фазами активизации процессов эолового морфолитогенеза [Derbyshire, Owen, 2018]. В этом отношении эоловый рельеф высоких широт может рассматриваться в контексте развития покровных плейстоценовых оледенений. «Гляциоэоловую» концепцию можно рассматривать как современное переосмысление более ранних представлений о положении эоловых отложений и формах рельефа в общем ряду гляциогенных образований [Brodzikowski, Loon, 1990].

Особое место занимает концепция картографирования геоморфологических систем [Кашменская, Хворостова, 1989] на основе определения балансовых характеристик внешнего и внутреннего массо- и энергообмена, которые непосредственно отражают пространственно-временную динамику эоловых морфолитосистем. Основанием для оценки конкретных балансовых характеристик служит сравнительный анализ форм рельефа (в т.ч. с помощью дистанционных методов), а также анализ состава и мощности рыхлых отложений. Балансовый метод [Кашменская, Хворостова, 1989] в данном исследовании применялся при анализе интенсивности современных факторов эолового морфолитогенеза и устойчивости эолового рельефа в текущих природно-климатических условиях севера Западной Сибири.

Исследования особенностей антропогенного использования и преобразования эоловых форм рельефа, их геоэкологических свойств проводились на основе теоретических достижений антропогенной и экологической геоморфологии (*environmental geomorphology*) (на основе работ Д. Коатса [Environmental..., 1973]; Ю.Г. Симонова, В.И. Кружалина [1989; 2001; 2004]; Э.А. Лихачевой, Д.А. Тимофеева [Рельеф..., 2002; 2004]; С.Б. Кузьмина [2009] и др.).

Фактический материал и личный вклад соискателя

В основу работы легли результаты полевых и дистанционных исследований, проведенных соискателем лично, в т.ч. в качестве руководителя научной группы, в период с 2004 по 2024 гг. Работы выполнены при финансовой поддержке:

- НИИ экологии и РИПР ТюмГУ – изучение причин пылевого загрязнения атмосферного воздуха в пределах г. Муравленко (ЯНАО) (рук. А.В. Соромотин);

- ИКЗ СО РАН – проект №144 «Криогенные ресурсы Арктики и Субарктики: состояние и структура криолитозоны, физико-химическое моделирование и биологический потенциал криогенных систем», подтема: «Органическое вещество почв криолитозоны и особенности его

трансформации при деградации многолетнемёрзлых пород» (рук. В.С. Зыкина, А.С. Якимов);

- РФФИ – проекты №№ 16-45-890529 «Дефляционные процессы в тундровой и северо-таежной зонах Западной Сибири: распространение, условия развития и способы рекультивации оголенных песков» (рук. А.В. Соромотин); 16-45-890312 р_а «Комплексное изучение почвенного покрова о. Белый (Карское море)» (рук. А.А. Юртаев); 16-06-00260 «Древнее население на берегах системы проточных озер: динамика освоения и жизнеобеспечение (на примере Андреевской озерной системы в Туро-Пышминском междуречье)» (рук. В.А. Зах); 19-45-890008 р_а «Северные дюны Западной Сибири: происхождение, история развития, современная динамика и устойчивость в условиях климатических изменений и антропогенного воздействия» (рук. А.В. Соромотин); 19-45-890017 р_а «Комплексное изучение почвенного покрова арктических тундр полуострова Гыданский и островов Карского моря (на примере острова Вилькицкого)» (рук. А.А. Юртаев); 20-55-71004 «Открытые городские пространства как фактор обеспечения устойчивого развития в Арктике в условиях климатических изменений» (рук. А.В. Соромотин);

- РФФИ – проекты №№ 17-17-01289 «Перестройка систем стока и миграция главного водораздела Русской равнины в последнюю ледниковую эпоху» (рук. А.В. Панин); 25-27-00022 «Социально-экологические аспекты развития малых городов как центров нефтегазового освоения в меняющихся климатических условиях субарктической зоны Западной Сибири» (рук. Р.Ю. Федоров); 25-27-00732 «Генезис и условия развития эоловых процессов на севере Западно-Сибирской равнины» (рук. Е.А. Коркина);

- Правительства Тюменской области – проект №89-ДОН(1) «Устойчивое землепользование в Арктике в свете глобальных природных изменений: естественные и антропогенные факторы стабильности (TerrArctic)» (рук. Я.В. Кузяков).

Исходные дистанционные данные (аэрофотоснимки, космические снимки, цифровые модели рельефа) получены либо непосредственно в процессе съемки с БПЛА, либо из открытых общедоступных источников. Незначительная часть съемки с высоким и сверхвысоким пространственным разрешением получена в ходе реализации конкретных научных проектов, перечисленных выше.

Лабораторные исследования отобранных проб проводились в ЦКП многоэлементных и изотопных исследований СО РАН (Новосибирск), лаборатории механики грунтов Института криосферы Земли ТНЦ СО РАН (Тюмень), ЦКП научным оборудованием ИФХиБПП РАН (Пушино), лаборатории АО «Региональный Аналитический Центр» (Тюмень) и ЦКП научным оборудованием ТГУ (Томск). Морфоскопический анализ кварцевых зерен выполнялся в лаборатории геологии кайнозоя, палеоклиматологии и минералогических индикаторов климата ИГМ им. В.С. Соболева СО РАН. Обработка и анализ кернов деревьев проводились на кафедре физической

географии и ландшафтоведения МГУ (Москва). Радиоуглеродное датирование отложений проводилось в лаборатории геологии кайнозоя, палеоклиматологии и минералогических индикаторов климата ИГМ им. В.С. Соболева СО РАН (Новосибирск), ЦКП научным оборудованием «Ускорительная масс-спектрометрия НГУ-ННЦ» (Новосибирск); люминесцентное – в Северной люминесцентной лаборатории Университета Орхуса (Дания), а также в Лаборатории геохронологии четвертичного периода Института геологии Таллиннского технологического университета (Эстония).

Автором разработана концепция исследования, определены цели и задачи, выбраны объекты и методические подходы, проведены критический анализ и теоретическое обобщение полученных материалов. Автор принимал непосредственное участие в планировании, подготовке и проведении полевых маршрутов, в ходе которых им лично проводились геологические, геоморфологические и геоботанические исследования, отбор проб, съемка с БПЛА. Весь комплекс работ по обработке и дешифрированию дистанционных данных, статистической обработке и интерпретации результатов лабораторной аналитики, подготовке графических материалов и приложений выполнен лично автором.

Научная новизна полученных результатов

Итоги реализации каждой поставленной задачи исследования могут характеризоваться значительной степенью научной новизны. Среди наиболее существенных результатов, полученных *впервые* в настоящей работе, можно отметить следующие:

1) Предложена *новая концепция* развития внеаридных эоловых морфолитосистем в континентальных условиях постледниковых районов Западно-Сибирской равнины.

2) Создана *уникальная база количественных данных* литологических, морфометрических и морфодинамических параметров, всесторонне характеризующих эоловые морфолитосистемы северной части Западно-Сибирской равнины.

3) На основе анализа дистанционных данных сформировано представление о *фактическом распространении* эоловых морфолитосистем в постледниковых районах Западно-Сибирской равнины.

4) На основе совместного анализа существующих и впервые полученных геохронологических данных установлена *детальная хронология* развития эоловых морфолитосистем на севере Западно-Сибирской равнины в позднем неоплейстоцене и голоцене, учитывающая контекст глобальных климатических изменений и периоды эоловой активизации в соседних регионах.

5) На основе обобщения результатов многолетних стационарных наблюдений (2013-2022 гг.) и обширного массива гидрометеорологических данных (1966-2023 гг.) установлены *пороговые значения* основных

климатических показателей, определяющих интенсивность эолового переноса осадков в условиях севера Западной Сибири.

6) Выявлены механизмы, последовательность и вариативность специфических *сукцессионных изменений* растительных сообществ на подвижных песках, определяющих развитие особого типологического ряда эолово-фитогенных форм рельефа для северной части Западно-Сибирской равнины.

7) На основе ретроспективного анализа дистанционных данных (1984-2023 гг.) получены количественные значения *динамики техногенной нарушенности* почвенно-растительного покрова для наиболее масштабных видов механического и термического воздействия, позволяющие объективно оценить антропогенный вклад в активизацию дефляции в условиях севера Западной Сибири.

8) Определена *геоэкологическая роль* эоловых морфолитосистем северной части Западно-Сибирской равнины при организации хозяйственного освоения территории и создании системы жизнеобеспечения молодых городских поселений в неблагоприятных субарктических и арктических условиях.

Теоретическая значимость работы

Работа вносит существенный вклад в развитие региональной геоморфологии и палеогеографии Западно-Сибирской равнины.

Предложена *концепция криогидроэолового морфолитогеоза*, которая предполагает неразрывную генетическую взаимосвязь внеаридных материковых эоловых морфолитосистем с широким распространением неоплейстоценовых покровных оледенений. Возникающие при этом внутренние и внешние связи эоловых морфолитосистем имеют четкую иерархию, а геоморфологические процессы – физически обусловленную последовательность. В ходе исследования установлено, что необходимыми условиями для развития эоловых процессов на севере Западной Сибири являются наличие всесезонного ветрового воздействия, переменный гидрологический режим водных объектов и широкое распространение «зрелых» песчаных осадков.

Выявленное в ходе полевых, дистанционных и геохронологических исследований повсеместное наличие эоловых форм рельефа и покровных эоловых отложений в структуре ледниковой геоморфологической формации объективно свидетельствует о широком распространении временных обстановок интенсивного ветрового воздействия и повышенной переменной обводненности в прошлом. Следовательно рассмотрение эоловых морфолитосистем в качестве устойчивого маркера расширяет возможности палеогеографических реконструкций, позволяя определить предельные значения палеоклиматических условий и последовательность рельефообразующих событий, а также установить достоверную корреляцию с развитием других регионов.

В работе показано, что эоловые и аллювиально-эоловые отложения, отличающиеся бедным минеральным составом и промывным водным режимом, являются наиболее распространенным литологическим основанием для развития низкобонитетных лишайниковых редколесий на маломощных подзолах. В итоге образуются уникальные для северо-таежной подзоны Западной Сибири ландшафтные ассоциации, которые характеризуются специфическим сочетанием геохимических, гидрологических, криогенных и иных природных процессов массо-энергетического обмена. Таким образом, полученные результаты закладывают фундаментальную геоморфологическую основу для дистанционного геоботанического, почвенного и ландшафтного картографирования на основе устойчивых индикационных признаков лишайниковых редколесий *в постледниковых районах Западной Сибири*.

Практическая значимость работы

Практическая значимость работы определяется разработкой научно-практических подходов к решению проблемы активизации дефляции на техногенно нарушенных участках и адаптации городского населения к суровым арктическим условиям. В ходе исследований разработана методика объективной детальной оценки и мониторинга неблагоприятных экзогенных процессов в пределах районов добычи и транспортировки углеводородов на основе использования дистанционных данных различного масштаба, типа и актуальности (методика апробирована и внедрена в практическую деятельность ООО «Газпром добыча Надым»). Полученные количественные значения удельной площади нарушенности являются фактической основой для уточнения требований регионального экологического нормирования.

В ходе проведенной серии экспериментов разработаны способы и рекомендации по восстановлению растительности на техногенно нарушенных участках оголенных песков (способы рекультивации запатентованы, рекомендации согласованы Правительством ЯНАО).

По итогам анализа уровня комфорта городской среды, формируемой непосредственно в пределах естественных эоловых массивов, на примере г. Надым разработаны методики оценки обеспеченности населения зеленой инфраструктурой и оценки эффективности мероприятий по снижению степени прямого ветрового воздействия (методики оптимизированы для практического использования при городском планировании).

На защиту выносятся следующие положения:

1) Развитие эоловых морфолитосистем северной части Западно-Сибирской равнины является завершающим этапом *криогидроэолового морфолитогенеза* – физически обусловленной последовательной трансформации континентальных песчаных осадков в постледниковых материковых обстановках.

2) Эоловые морфолитосистемы северной части Западно-Сибирской равнины развиваются в виде *криогенно устойчивых* параболических дюн, котловин выдувания и участков площадной аккумуляции покровных песков,

которые закономерно приурочены к элементам *ледниковой формации* – зандровым равнинам, ложбинам стока ледниковых вод и прибрежной зоне приледниковых водоемов.

3) Эоловые морфолитосистемы северной части Западно-Сибирской равнины наиболее масштабно развивались на *завершающей стадии неоплейстоцена* (34-12 тыс.л.н.), отражая последовательное распространение климатических изменений в Северном полушарии с востока на запад.

4) *Активность* эолового морфолитогенеза в северной части Западно-Сибирской равнины *последние 50 лет* ограничивается слабым дефляционным потенциалом ветра, переувлажнением территории и кратковременным интенсивным характером антропогенного воздействия; вместе с тем *потенциал для активизации* дефляции сохраняется в пределах лишайниковых редколесий на маломощных подзолах.

5) Геоэкологические свойства эоловых морфолитосистем северной части Западно-Сибирской равнины (отсутствие мерзлоты в верхнем слое и повышенная дренируемость песчаных осадков) обеспечивают *физическую устойчивость* для объектов городской и промышленной инфраструктуры в современных условиях деградации ММП.

Степень достоверности полученных результатов

В основе исследования лежит достаточно обширный объем фактического материала, полученного с использованием современных научных средств и методов. Достоверность полученных результатов и выводов обеспечивается реализацией следующих научных принципов:

- репрезентативность – дистанционные исследования охватывают рассматриваемую территорию целиком; ключевые участки полевых исследований имеют достаточно равномерное распределение по территории как в площадном, так и в высотном отношении;

- воспроизводимость – дешифрирование дистанционных данных основано на устойчивых индикационных признаках; большая часть отобранных проб сохранена и доступна для независимой проверки; участки полевых работ имеют точную географическую привязку и доступны для повторного посещения;

- верифицируемость – результаты дистанционных исследований подтверждены полевыми проверками на контрольных участках; большинство лабораторных анализов однотипных отложений выполнено как минимум в двух независимых лабораториях;

- объективность – в исследовании используются исключительно апробированные и общераспространенные методики дистанционных и лабораторных исследований; результаты полевых работ получены с помощью инструментальных способов и средств;

- полнота – при анализе использовались все полученные кондиционные фактические материалы; исследование проводилось вплоть до

формирования логически непротиворечивых эмпирических обобщений в отношении рассматриваемых процессов;

- сопоставимость – для полученных результатов в тексте представлены аналоги из других регионов, имеющих сходные природные условия, что демонстрирует закономерную детерминированность развития рассматриваемых процессов;

- открытость – в работе представлено большинство полученной фактической информации, полный объем исходных первичных научных данных и метаданных может быть предоставлен по запросу.

Апробация результатов исследований

По теме диссертации опубликовано 3 монографии (из них 2 – в соавторстве) и 49 статей в рецензируемых зарубежных и российских журналах, из которых: 25 – в российских рецензируемых журналах из перечня ВАК; 9 – в российских рецензируемых журналах, индексируемых Scopus/WoS; 15 – в зарубежных рецензируемых журналах, индексируемых Scopus/WoS. Практические разработки в области рекультивации закреплены в 2 патентах.

Результаты исследований неоднократно докладывались на 39 всероссийских и международных научных конференциях, среди которых: международная научно-практическая конференция «Антропогенная динамика природной среды» (Пермь, 2006), ИнтерКарто/ИнтерГИС 13 (Ханты-Мансийск, Йеллоунайф, 2007), The International Symposium «Euro-ECO» (Ганновер, Германия, 2007), Hanover» 2007, ИнтерКарто/ИнтерГИС 15 (Пермь, Гент, 2009), международная конференция «Окружающая среда и менеджмент природных ресурсов» (Тюмень, 2010, 2011, 2013, 2014, 2016), XXXIII пленум Геоморфологической комиссии РАН (Саратов, 2013), European Geosciences Union General Assembly (Вена, Австрия, 2014), международная конференция «Арктика, Субарктика: мозаичность, контрастность, вариативность криосферы» (Тюмень, 2015), всероссийская научная конференция «Пути эволюционной географии» (Москва, 2016, 2021; Пятигорск, 2026), X Всероссийское совещание по изучению четвертичного периода (Москва, 2017), 9th International Conference on Geomorphology (New Delhi, India, 2017), XXXVI пленум Геоморфологической комиссии РАН (Барнаул, 2018), международная конференция «Актуальные вопросы биогеографии» (Санкт-Петербург, 2018), всероссийская научно-практическая конференция «Геоморфология и физическая география Сибири в XXI веке» (Томск, 2020), American Geophysical Union Fall Meeting (Онлайн, 2020), European Geosciences Union General Assembly (Онлайн, 2021), VIII научная онлайн-сессия «Палеонтология, стратиграфия и палеогеография мезозоя и кайнозоя бореальных районов» (Саксовские чтения) (Новосибирск, 2021), American Geophysical Union Fall Meeting (Новый Орлеан, США, 2021), международная научная конференция «Современные исследования трансформации криосферы и вопросы геотехнической безопасности сооружений в Арктике» (Салехард, 2021), научная конференция

«Геохронология четвертичного периода: инструментальные методы датирования новейших отложений» (Москва, 2022), Шестая научная конференция геокриологов России «Мониторинг в криолитозоне» (Москва, 2022), ежегодная конференция по результатам экспедиционных исследований «Рельеф и четвертичные образования Арктики, Субарктики и Северо-Запада России» (Санкт-Петербург, 2022, 2023, 2024, 2026), American Association of Geographers Annual Meeting (Онлайн, 2022), XXXVII пленум Геоморфологической комиссии РАН (Иркутск, 2023), XXXVIII пленум Геоморфологической комиссии РАН (Москва, 2025), всероссийская научная конференция «Актуальные проблемы палеогеографии плейстоцена» (Марковские чтения) (Москва, 2025), XI Всероссийская конференция по изучению четвертичного периода (Санкт-Петербург, 2025), VII Всероссийская научная конференция «Динамика экосистем в голоцене» (Пермь, 2025), IX научная сессия «Палеонтология, стратиграфия и палеогеография мезозоя и кайнозоя бореальных районов» (Саксовские чтения) (Новосибирск, 2026), Седьмая научная конференция геокриологов России «Динамика природных условий в криолитозоне и геокриологический мониторинг» (Москва, 2026).

Соответствие научной специальности. Диссертационная работа представляется по научной специальности *1.6.14 «Геоморфология и палеогеография»*. Согласно паспорту научной специальности 1.6.14 работа соответствует пункту №16 «Проблемы региональной геоморфологии и палеогеографии».

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, шести глав и заключения, объемом 401 страница, включая 258 рисунков, 57 таблиц, а также 18 приложений. Список литературы содержит 1071 источник, в т.ч. 505 зарубежных и 51 фондовый.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

ГЛАВА 1. Состояние проблемы эолового морфолитогенеза в постледниковых материковых обстановках высоких широт

Анализ существующих исследований показал, что единое представление об истории, закономерностях и причинах возникновения, развития и сохранения уникальных эоловых морфолитосистем северной части Западно-Сибирской равнины фактически не сформировано. Основными проблемными аспектами являются:

- распространение – отсутствуют детальные сведения о пространственной локализации основных участков развития эоловых форм рельефа и покровных песчаных отложений;
- возраст – большая часть рассматриваемой территории не охвачена современными методами датирования (утверждение справедливо как для эоловых, так и для подстилающих их отложений);

- генезис – до настоящего времени встречаются различные варианты генетической интерпретации покровных субэаральных отложений;
- современная динамика – в литературе отсутствуют примеры исследований современной динамики естественной эолового рельефа и техногенно нарушенных оголенных песков.

В данном исследовании разработана **концепция криогидроэолового морфолитогенеза**, рассматривающая эоловые морфолитосистемы, развивающиеся в постледниковых материковых обстановках (ЭМПМО) севера Западной Сибири как *открытые иерархически организованные геоморфологические системы*, в которых эоловые процессы функционально объединяют и завершают эрозионно-аккумулятивный цикл трансформации песчаных осадков, инициируемый рельефообразующим воздействием покровного оледенения.

В концепции показано, что ЭМПМО выражена на трех иерархических уровнях: *макроуровень* – зона распространения покровного оледенения; *мезоуровень* – зандровые равнины, долины стока ледниковых вод, прибрежные зоны ледниково-подпрудных водоемов, речные террасы и дельты современных рек; *микроуровень* – эоловые массивы, включающие котловины выдувания, параболические дюны и участки оголенных развеваемых песков.

Пространственные границы ЭМПМО на макроуровне совпадают с границами распространения покровных оледенений среднего и позднего неоплейстоцена. На мезоуровне границы выделяются на основе детальной палеогеографической интерпретации геологического и геоморфологического строения территории. На микроуровне основой для выделения границ служит ландшафтная индикация хвойных лишайниковых редколесий

Обобщенная геоморфологическая структура ЭМПМО включает:

- зону аккумуляции водно-ледниковых осадков (исходного субстрата) – включает пояс краевых ледниковых образований, зандровые равнины и ложбины стока талых ледниковых вод, а также участки развития временных ледниково-подпрудных водоемов;
- транзитную зону переноса и трансформации (переотложения) исходных водно-ледниковых осадков – включает речные долины более молодого по отношению к оледенению возраста (в т.ч. современные);
- зону аккумуляции производных эоловых осадков – для дюнной фации (параболические дюны, периферические валы и поперечные дюны котловин выдувания) охватывает водораздельные равнины и прибрежные участки реки и озер, для аллювиально-эоловой фации (перевевание на отмелях) охватывает прибрежные участки водоемов; для покровной фации отмечается практически повсеместное («всюдное») распространение.

Основными условиями формирования, развития и сохранения устойчивости ЭМПМО являются: наличие *внешнего действия* в виде устойчивого притока энергии ветра; отсутствие *значимого противодействия* со стороны растительности, процессов заболачивания, водной и криогенной

эрозии, а также хозяйственной деятельности; наличие *доступного субстрата* в виде песчаных осадков водного и водно-ледникового генезиса.

Внутренние процессы (функционирование) ЭМПО определяются процессами физического переноса песчаного материала воздушным и водным потоками; физического выветривания песчаного материала в условиях криолитозоны; стабилизации эолового рельефа растительностью; антропогенной трансформации песчаного материала и форм рельефа.

Выходные литодинамические потоки ЭМПО определяются особенностями перераспределения тепла и влаги, выражающихся в формировании особых эолово-обусловленных ассоциаций (ландшафтных, геоботанических, зоологических, почвенных). Выделенные количественные показатели функционирования (динамики) ЭМПО позволяют достоверно определить особенности и параметры внутренних и внешних связей ЭМПО.

Пространственное развитие ЭМПО ограничивает высокая степень неоднородности гранулометрического состава, увлажнения и промерзания приповерхностного слоя. На участках заболачивания происходит аккумуляция органических осадков, локальному развеванию здесь подвергаются только вершины минеральных бугров и гряд пучения (литопальса). Длительное промерзание и увлажнение верхней части грунтовой толщи сокращает сезон активного эолового переноса до нескольких недель в году.

В обобщенном виде криогидроэоловый эрозионно-аккумулятивный цикл развития ЭМПО представляет собой серию последовательных этапов:

1) Формирование в ледниковых обстановках исходной толщи водно-ледниковых песчаных отложений (*криогенез континентальных кайнозойских песчаных отложений*).

2) Размыв и переотложение в водных обстановках исходной водно-ледниковой толщи (*водно-ледниковый морфолитогенез*).

3) Активизация эоловой деятельности во время климатических изменений на фоне переменного гидрологического режима водных объектов (*водно-эоловый морфолитогенез*).

4) Криогенная трансформация, стабилизация и консервация (заращение) эоловых массивов (*эолово-криогенно-биологический морфолитогенез*).

Геоморфологической основой *пространственно-временной организованности* ЭМПО, как способности сохранять определенный режим в определенных пространственных границах и временных рамках, является:

- широкое распространение и длительное сохранение физико-химических свойств «зрелых» водно-ледниковых песчаных осадков (исходного субстрата), благодаря их устойчивости к физическому и криогенному выветриванию;

- устойчивая генетическая взаимосвязь процессов водно-ледникового, водного и эолового морфолитогенеза, обеспечивающих последовательное (каскадное) преобразование песчаного материала (исходного субстрата) при отсутствии иных стабилизирующих факторов;

- эффективная минимизация свободной энергии ветрового потока всей совокупностью эоловых форм рельефа как фундаментальный физический вариационный принцип саморазвития и саморегуляции (динамического равновесия) открытой эоловой морфолитосистемы.

Разработанная концепция интегрирует методологию открытых геоморфологических систем, формационный подход, а также концепции водно-эолового и гляцио-эолового взаимодействия морфолитодинамических потоков. Научная новизна предложенной *концепции криогидроэолового морфолитогенеза* определяется введением промежуточного внеледникового этапа водного транзита исходных водно-ледниковых песков и обоснованием нелинейного характера водно-эолового морфолитогенеза в рамках одного эрозионно-аккумулятивного цикла.

ГЛАВА 2. Распространение и геоморфологические особенности материкового эолового рельефа на севере Западной Сибири

В северной части Западной Сибири эоловый рельеф представлен котловинами выдувания (раздувами), параболическими дюнами и локальными участками песчаных обнажений. Естественные участки оголенных песков суммарно занимают порядка 1922 км². Пространственное распространение отличается неравномерностью – зоны максимальной концентрации выделяются на Ямальском, Гыданском и Тазовском полуостровах, а также в бассейнах рр. Пур и Надым (рис. 2). В Ямальском районе ЯНАО сосредоточено 62,6% всех выявленных участков (1203,07 км², 1,02% от общей площади района).

Эоловые обнажения приурочены к бортам речных долин, оврагов и озерных котловин – за пределами 500-метровой зоны от объектов гидросети находится только 3,81% площади оголенных песков. Относительно высотного распределения 86,6% площади оголенных песков выявлены в интервале 10-60 м над у.м. с максимумом в интервале 30-45 м над у.м. Естественные эоловые формы выявлены на территории 129 из 226 лицензионных участков нефтегазовых месторождений (общая площадь составила 149,41 км²).

Средняя площадь 48 наиболее крупных (более 1 км²) котловин выдувания составляет 4,5 км² (рис. 3), амплитуда относительных высот 15,39 м, угол наклона поверхности 2,29°.

У трети котловин зафиксированы признаки слияния, что приводит к усложнению плановой конфигурации (рис. 4). Процессы слияния меняют и усложняют плановую конфигурацию итоговых форм. Это отражается, в частности, на величине отношения периметра котловины к периметру круга аналогичной площади. Для большинства объектов (71%) характерно соотношение от 1 до 2 (среднее значение – 1,82, медиана – 1,7), что показывает относительно изометричные очертания, однако для отдельных раздувов соотношение может достигать 3-4.

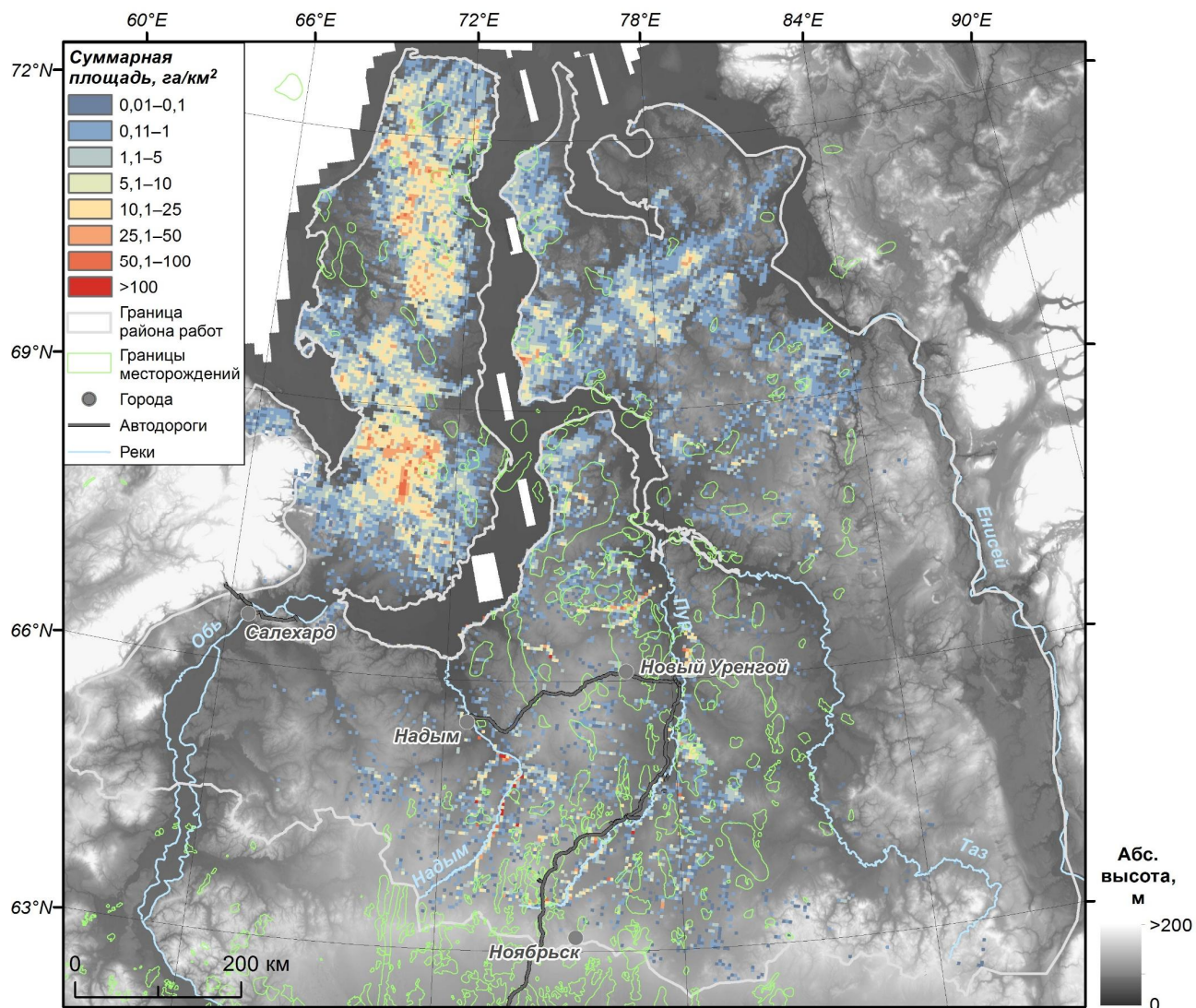


Рисунок 2 – Распространение естественных оголенных эоловых песков на севере Западной Сибири (суммарная площадь)

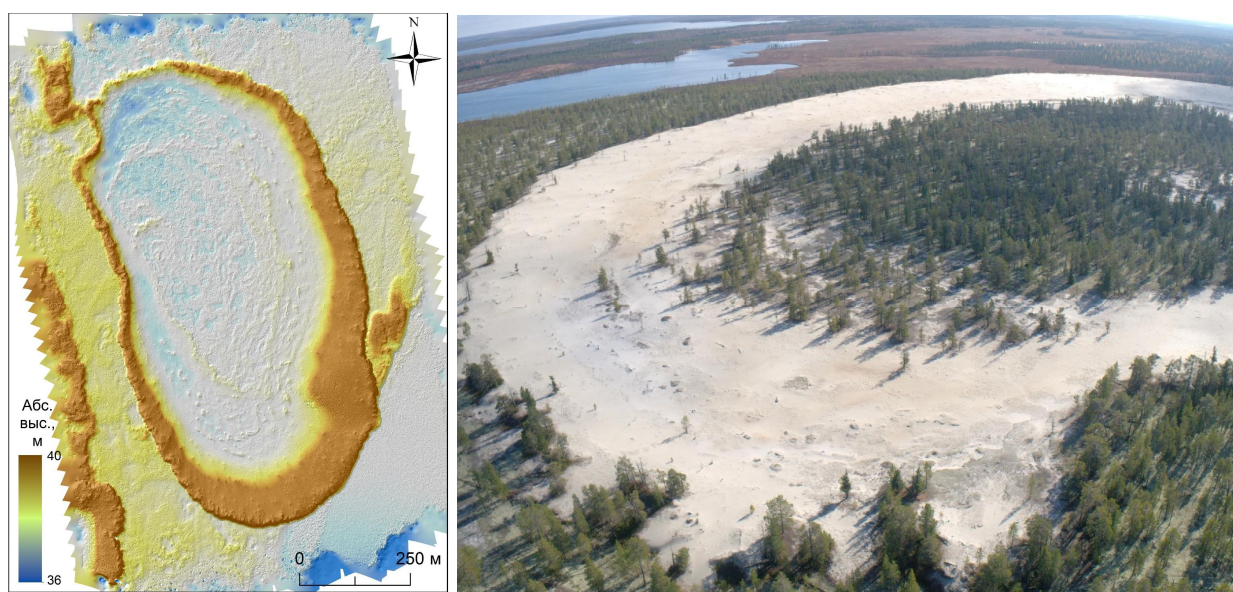


Рисунок 3 – Типичная крупная котловина выдувания К_2022_06 (терраса р.Айваседапур): слева – ЦМР; справа – фото с БПЛА, 2022 г.

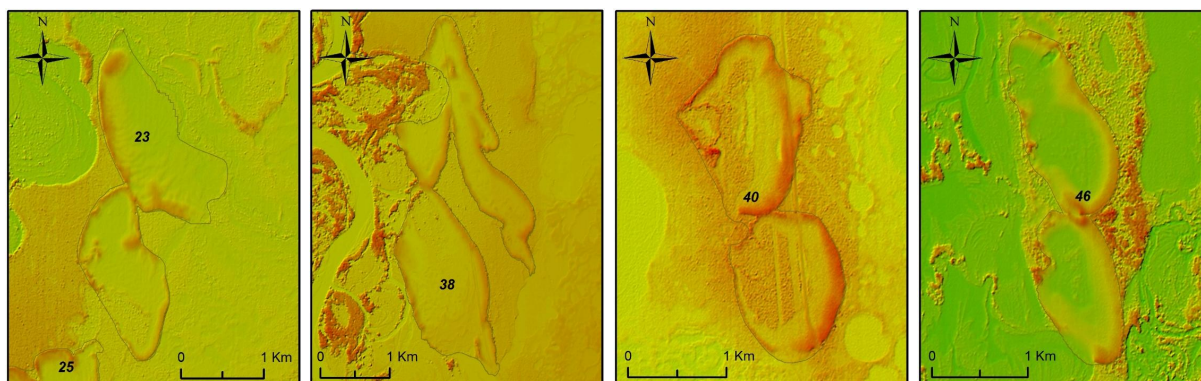


Рисунок 4 – Примеры сдвоенных котловин № 23, 38 40, 46 (ЦМР – ArcticDEM©Махар)

Средняя высота аккумулятивных валов по периферии котловин выдувания – 5,61 м, максимальные значения достигают 8-10 м, углы наклона внешних склонов 26-31°. На поверхности трети котловин формируются активные поперечные дюны, средняя высота которых составляет 1,73 м, расстояние между гребнями 63-118 м (рис. 5). Углы наклона подветренных склонов поперечных дюн варьируют от 20° до 42° (в среднем 30°). В отдельных случаях поверхность котловин осложнена реликтовыми морозобойными трещинами (среднее расстояние между трещинами 10-15 м).

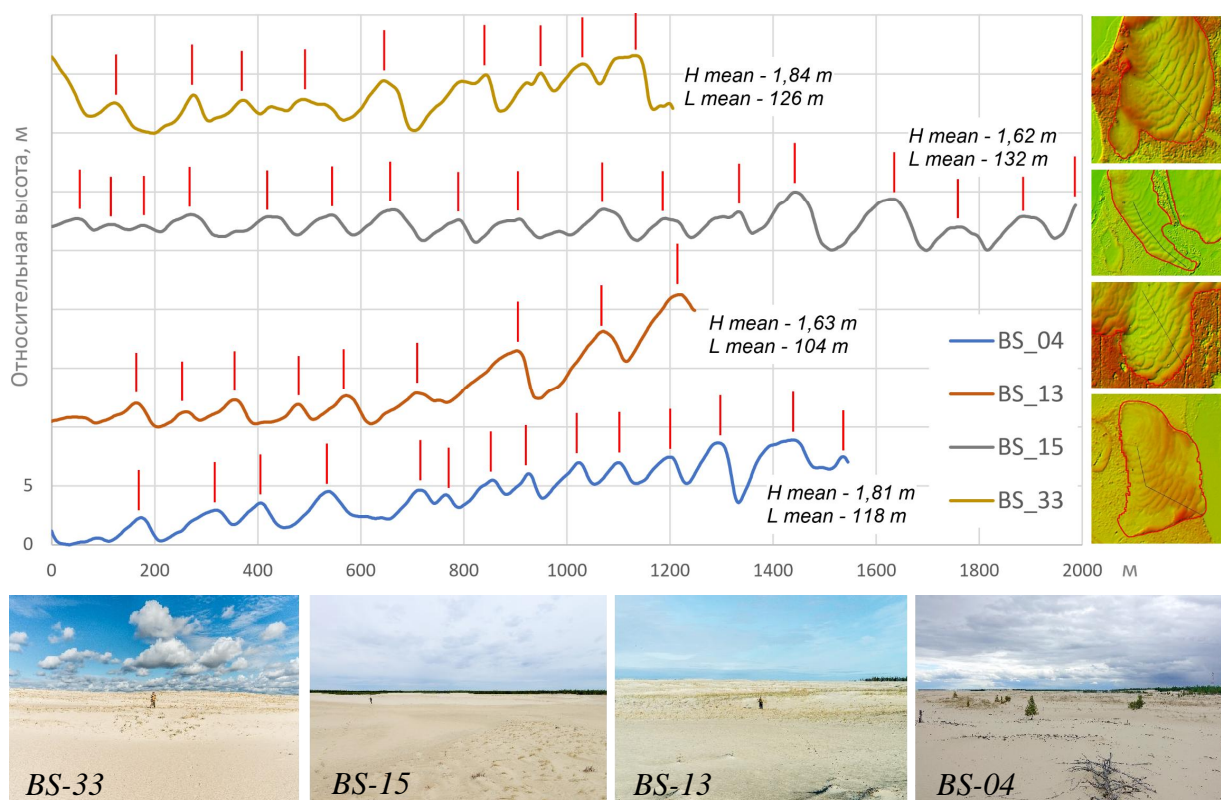


Рисунок 5 – Относительные высоты поперечных дюн в пределах котловин выдувания (фото О.С. Сизова, 2017, 2021)

Анализ динамики площади оголенных песков с 1968 по 2020 гг. показал, что для 15 выбранных котловин выдувания (более 1 км²) наблюдается сокращение в среднем на 10,3 га. При этом оценки скорости смещения за 1960-

2010-е гг. периферических валов наиболее крупных котловин выдувания показали среднее значение 0,29 м/год (рис. 6), валы движутся преимущественно в юго-восточном направлении (азимут 155°). Средняя скорость движения поперечных дюн составляет 0,5 м/год, что в целом соответствует показателям аналогичных дюн в высокоширотных регионах Аляски (0,5-1,5 м/год) и Антарктиды (1,5 м/год).

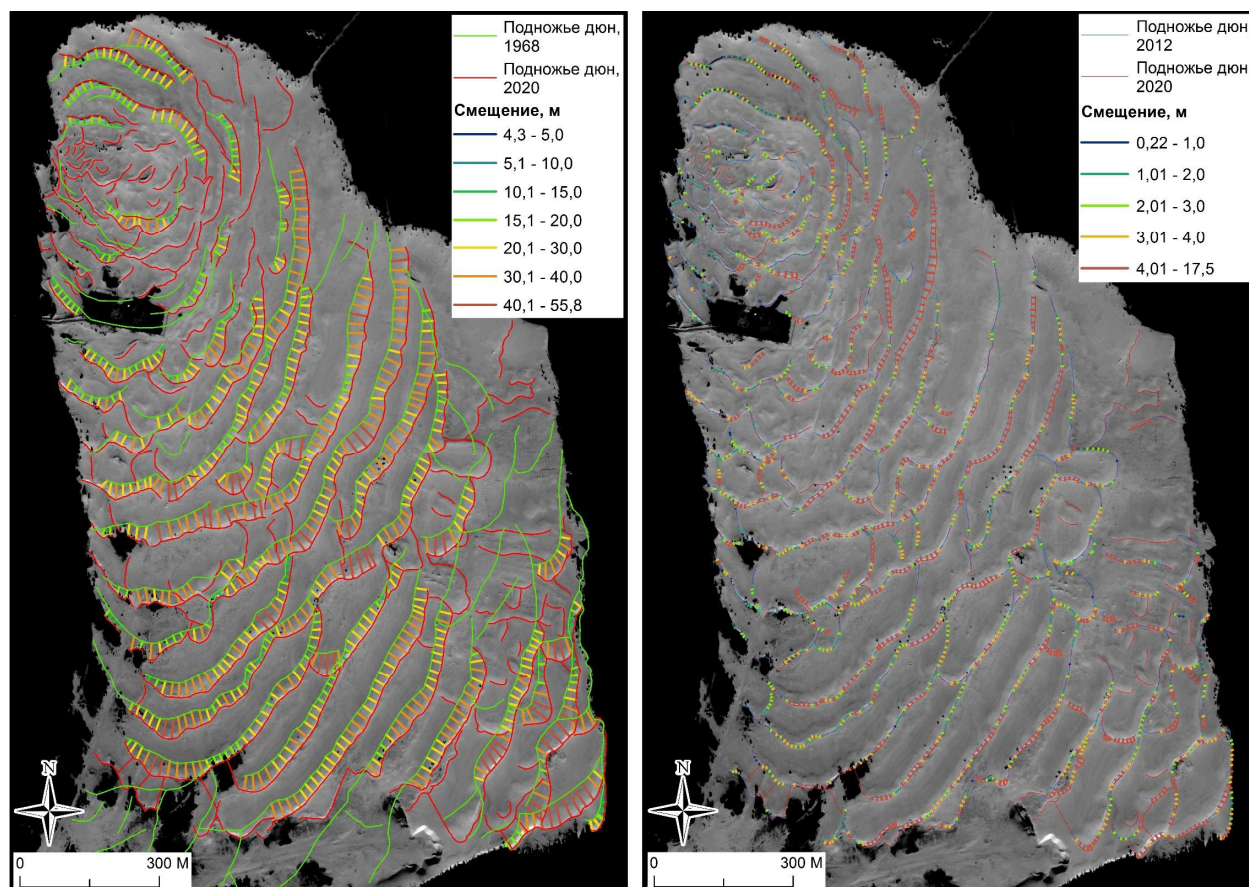


Рисунок 6 – Результаты измерений смещения подошья поперечных дюн за 1968-2020 гг. (слева) и 2012-2020 гг. (справа)

Многолетние наземные наблюдения (2013-2022 гг.) в пределах модельной котловины выдувания (25 км к юго-востоку от г. Надым) показали, что современная эоловая аккумуляция наиболее активно проявляется на подветренной стороне подвижных периферических валов и поперечных дюн – средние значения достигают 15-25 см/год, максимальные – до 30-50 см/год. Зимний эоловый перенос песчаного материала начинается в апреле-мае при оголении гребней дюн и продолжается в течение всего теплого периода.

Обобщение обширного литературного материала позволило установить уникальные морфометрические и морфодинамические особенности эолового рельефа севера Западной Сибири по отношению к другим высокоширотным регионам мира (Европа, Северная Америка, Гренландия, Антарктида). Установленные количественные характеристики создают основу для палеогеографических реконструкций.

ГЛАВА 3. Реконструкция истории эолового осадконакопления и рельефообразования на севере Западной Сибири в контексте развития покровных оледенений

Эоловые отложения и формы рельефа на севере Западной Сибири характеризуются *устойчивостью к криогенному выветриванию и сохранением признаков исходных условий осадконакопления*, что подтверждается длительным сохранением специфических литологических (текстура, химический состав, форма кварцевых зерен) и геоморфологических (дюнные формы рельефа в условиях заболачивания) признаков (рис. 7). По результатам определения валового состава установлено, что для эоловых песков характерна высокая седиментологическая зрелость (степень выветрелости), определяемая повышенной долей SiO_2 (в среднем 93-95%). Морфоскопический анализ показал, что наряду с типично эоловыми признаками кварцевые зерна сохраняют следы обработки в водной, ледниковой (водно-ледниковой) и криогенной средах.

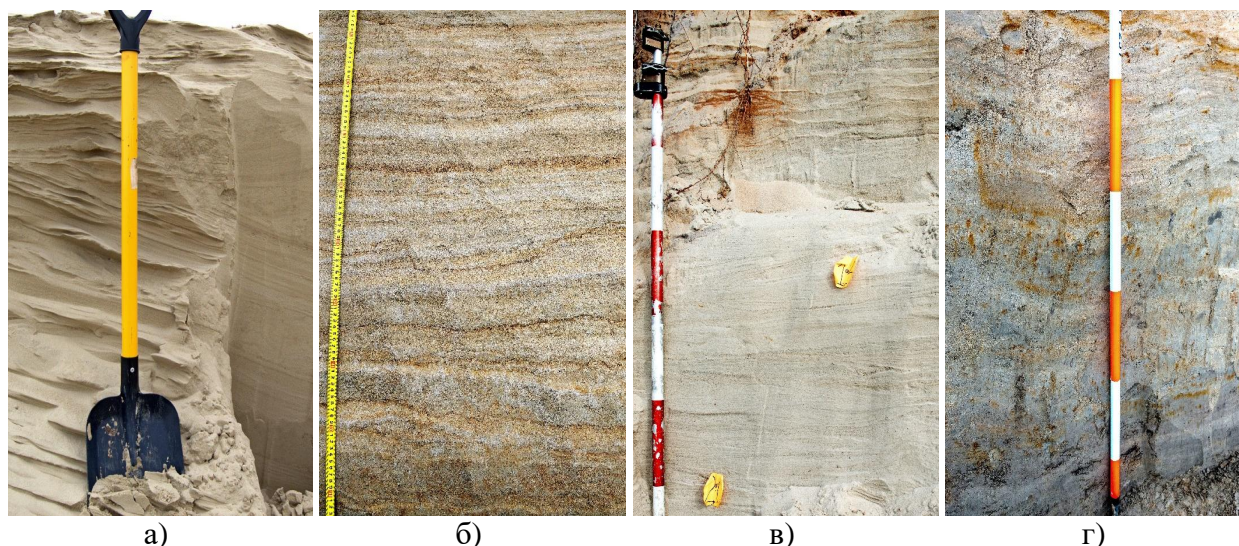


Рисунок 7 – Фации эоловых отложений на севере Западной Сибири: а) подвижные (дюнные) пески (разрез НР-1, р. Надым); б) покровные пески (обнажение 2022_11, р. Нгарка-Пыряха); в) аллювиально(озерно)-эоловые пески (разрез НР-34, р. Левая Хетта); г) лёссовидные алевроиты (разрез НР-27, р. Шуга) (фото О.С. Сизова, 2012, 2022, 2020, 2018 соответственно)

Полученные результаты указывают на то, что наиболее вероятным способом первичной аккумуляции песчаных осадков, которые в дальнейшем подвергались перевеванию, является водный перенос в холодных условиях. Криогенные признаки свидетельствуют о последующей обработке эоловых зерен под воздействием экстремально низких температур.

Отличительной гранулометрической особенностью является расхождение модальностей гранулометрического состава на две группы – менее выраженное преобладание (43-56%) мелкозернистой фракции (125-250 мкм) при сравнительно высокой доле (28-37%) среднезернистой (250-500 мкм).

Данная особенность может рассматриваться в качестве признака перехода от водных обстановок к эоловым.

Результаты датирования позволяют выделить три основных периода эолового рельефообразования и осадконакопления на севере Западной Сибири: 34-25, 22-17 и 16-12 тыс.л.н. Небольшие мощности эоловых образований, их мелкозернистый состав, а также отсутствие обширных древних дюнных полей свидетельствуют об ограниченном по времени и интенсивности периоде эоловой активности. Активизация происходила асинхронно по сравнению с другими постледниковыми регионами Северного полушария (рис. 8), что может быть обусловлено последовательным смещением с востока на запад (по мере развития дегляциации) климатического фронта, создающего необходимый для повышенных скоростей ветра барический градиент. Накопление субаэральные осадков могло происходить в перигляциальной обстановке непосредственно перед или в начале потепления, которое сопровождалось увеличением уровня водности рек и озер при сохранении переменного (сезонного) гидрологического режима.

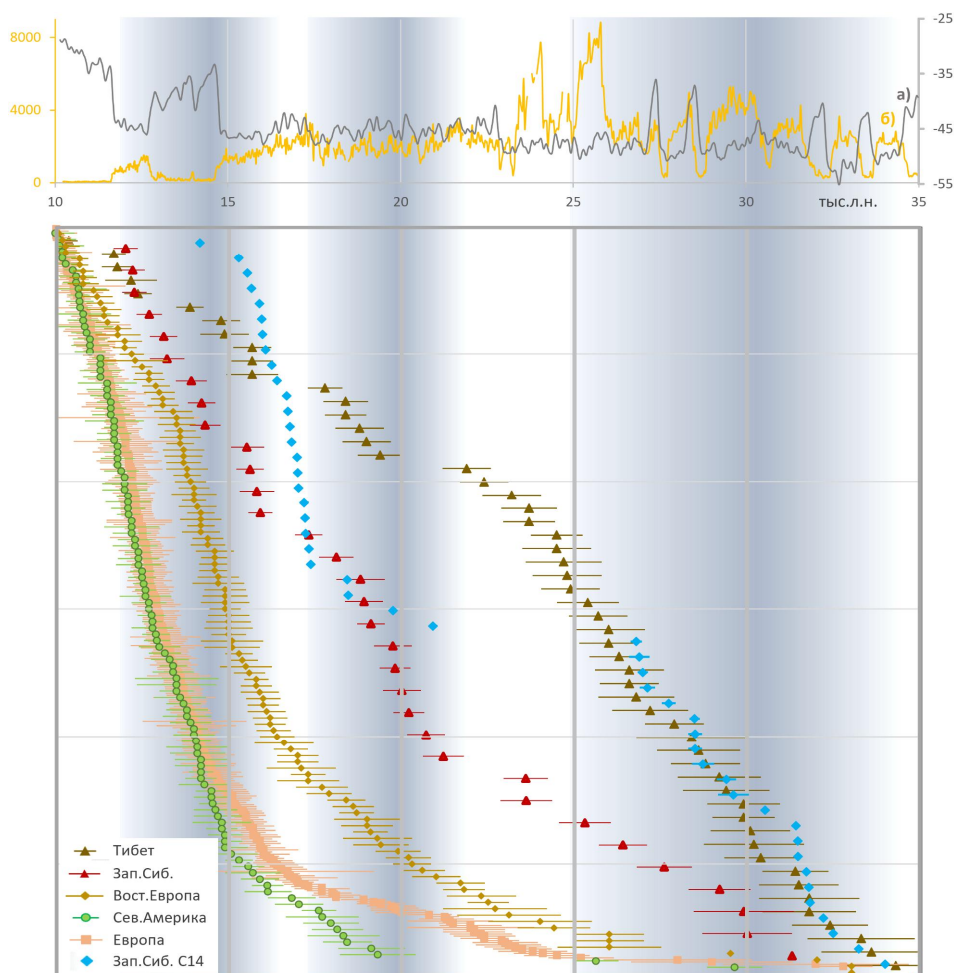


Рисунок 8 – Результаты ОСЛ-датирования эоловых отложений в различных регионах мира (период 35-10 тыс.л.н.) по результатам данного исследования, а также [Wolfe et al., 2009; Астахов, Свенсен, 2011; Lyså et al., 2014; Lancaster et al., 2016].

Прокси-данные: а) температура, °С, NGRIP (Гренландия) [Kindler et al., 2014];
 б) пыль, µg/kg, NGRIP (Гренландия) [Ruth et al., 2007]

Большую часть голоцена (после начала процесса торфообразования не позднее 8,5-8 тыс.л.н.) эоловые процессы имели крайне ограниченное распространение. Явный период позднеголоценовой эоловой активизации отмечается лишь в интервале 2-0,5 тыс.л.н., при этом накопление эоловых осадков чередовалось с периодами инициального почвообразования и накопления органики (1,79-1,77; 1,29-1,16; 0,83-0,72 и 0,45-0,39 тыс.л.н.). Сравнение с динамикой материковых дюн в других высокоширотных регионах показывает, что интенсивность эоловых процессов на севере Западной Сибири закономерно отражает тренды глобальных климатических изменений.

Эоловые морфолитосистемы на севере Западной Сибири являются неотъемлемой частью ледниковой формации. На примере среднего и нижнего течения р. Надым на основе дистанционного анализа ЦМР и данных ДЗЗ выявлены характерные формы ледникового и водно-ледникового рельефа: конечно-моренные гряды, камообразные холмы, моренно-камовые плато, озы, линейные гряды, долины (ложбины) стока талых ледниковых вод и цепочки озерных котловин (рис. 9). Генезис большинства типов аккумулятивных форм подтвержден в ходе полевых исследований, результаты которых приведены в основном тексте работы.

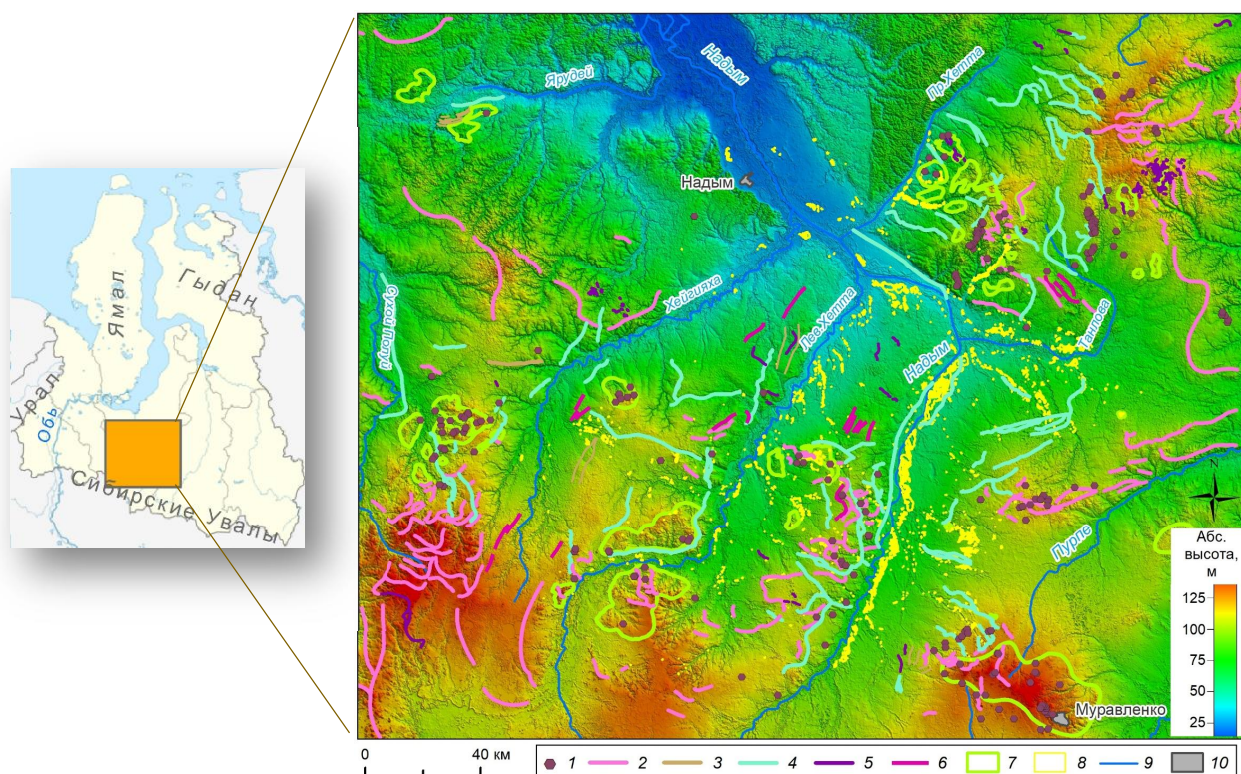


Рисунок 9 – Формы ледникового и водно-ледникового рельефа в бассейне р. Надым:
 1 – камообразные холмы; 2 – конечно-моренные гряды; 3 – линейно-грядовый рельеф;
 4 – ложбины стока; 5 – озы; 6 – цепочки озер; 7 – моренно-камовые плато; 8 – эоловые формы рельефа; 9 – водотоки; 10 – населенный пункт (подложка: TanDEM-X DEM©DLR)

Особенностью водно-ледниковых песчаных осадков на рассматриваемой территории является сочетание признаков водных и ледниковых обстановок. В отношении гранулометрического состава здесь также как и в эоловых отложениях выделяются две группы модальностей, но при обратном соотношении фракций: доля среднезернистых (250-500 мкм) песков составляет 40%, мелкозернистых (125-250 мкм) – 32%. Пески отличаются крайней степенью выветрелости – доля SiO_2 может достигать 98,5%, при среднем значении 95%. Кварцевые зерна водно-ледниковых осадков по сравнению с эоловыми характеризуются наименьшими значениями окатанности (70%) и заматованности (35%), нередко они сохраняют ледниковые признаки – угловатую форму с острыми гранями, параллельные борозды, раковистый излом и др.

Высокая степень выветрелости водно-ледниковых песков обусловлена тем, что в полярных регионах в процессе дегляциации преобладает физическое выветривание с параллельным накоплением кварца при относительно бедном минеральном составе формируемых отложений. Также существует положительная зависимость скорости выветривания от площади оледенения, что выражается в повышении доли калия. Доминирование кварца в эоловых песках, по всей видимости, является унаследованной, эту особенность следует рассматривать в качестве ведущего признака условий первичного осадконакопления и ключевого параметра для установления геохимической связи с источником отложений для эоловой переработки.

Результаты датирования показали, что горизонты наиболее промытых («зрелых») водно-ледниковых песков, которые повсеместно встречаются на водораздельных равнинах и в цоколях речных террас, имеют средненеоплейстоценовый возраст (МИС-16...10) (рис. 10). Именно эти отложения в дальнейшем подвергались переотложению в водной и эоловой обстановках. Кроме того, ОСЛ-датирование позволило подтвердить тазовский возраст (МИС-6) типичных водно-ледниковых форм рельефа в бассейнах рек Полуй, Надым, Пур, Таз, Сорум и др.

Интеграция полученных результатов с литературными данными позволяет сделать вывод о том, что наиболее масштабное развитие эолового рельефа и участков площадной аккумуляции покровных песков приурочено к зандровым равнинам, ложбинам стока талых ледниковых вод и участкам осушения ледниково-подпрудных водоемов тазовского (МИС-6) и карского (МИС-4) оледенений, а также участкам накопления осадков холодного аллювия в долинах и дельтах крупных рек (рис. 11). Накопление субэральных осадков здесь происходило в перигляциальной и прогляциальной обстановках.

Совокупность полученных данных позволяет определить последовательность этапов криогидроэолового рельефообразования и осадконакопления (эрозионно-аккумулятивный цикл развития ЭМПО в контексте истории покровных оледенений):

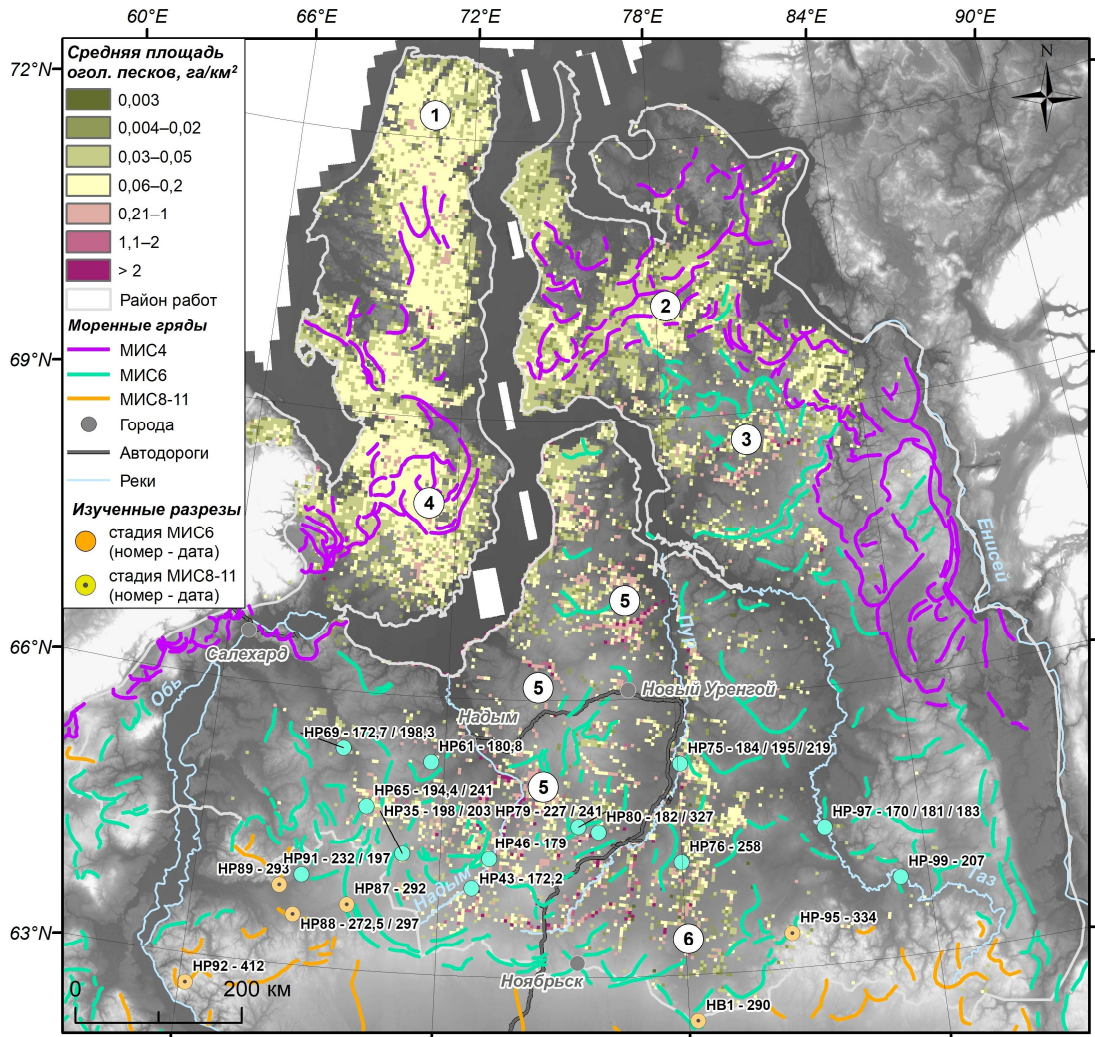


Рисунок 10 – Пространственное соотношение оголенных эоловых песков и конечно-моренных гряд: 1) древняя дельта р.Обь; 2) зандровые отложения к району конечной морены карского (раннезырянского оледенения); 3) водно-ледниковые отложения в бассейне р.Мессояха; 4) водно-ледниковые отложения в зоне конечной морены карского (раннезырянского) оледенения; 5) переотложенные водно-ледниковые отложения в долинах современных рек (Надым, Ныда, Табьяха и др.); 6) зандровые отложения тазовского оледенения на водораздельных равнинах (МИС – морская изотопная стадия)

1) формирование на водораздельных пространствах и пологих склонах обширных зандровых и озерно-ледниковых аккумулятивных равнин, сложенных водно-ледниковыми криогенно выветрелыми («зрелыми») песками (*криогенный этап*, МИС-6, МИС-4);

2) размыв и переотложение в водных обстановках исходной водно-ледниковой толщи с дальнейшей аккумуляцией фации перигляциального аллювия в пределах террасового комплекса (*водный этап*, МИС-5, МИС-3);

3) активизация эоловой деятельности (дефляция и последующая аккумуляция дюнной, покровной и аллювиально-эоловой фаций) в пределах водораздельных равнин и речных террас во время климатических изменений на фоне повышенного уровня водности и переменного гидрологического режима водоемов (*водно-эоловый этап*, МИС-5/4, МИС-3/2);

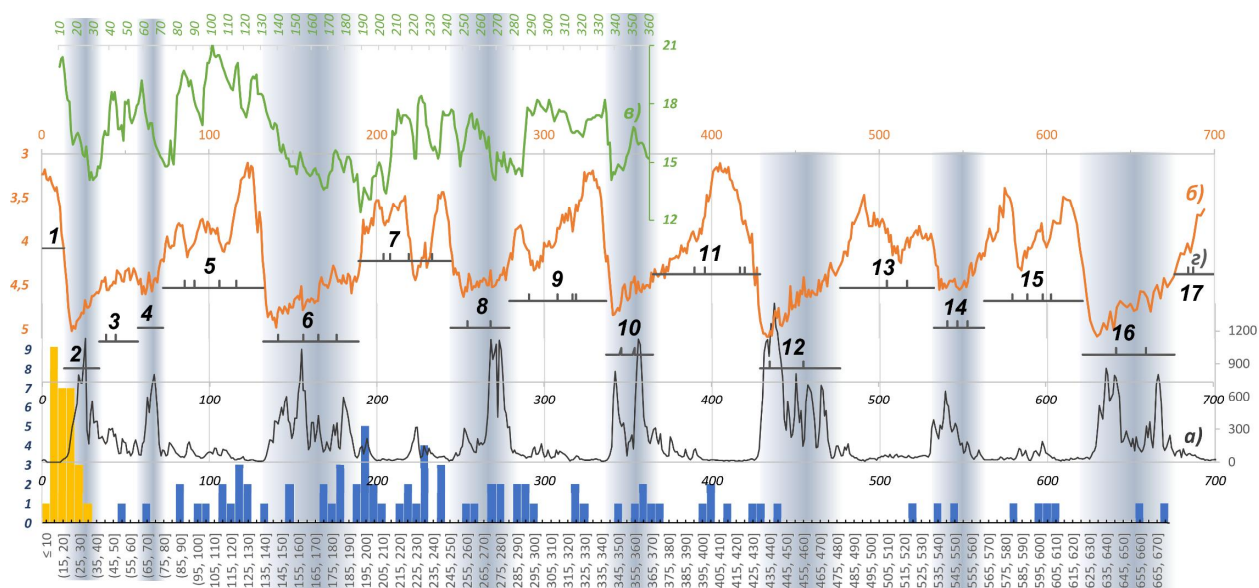


Рисунок 11 – Корреляция палеоклиматических событий и полученных ОСЛ-датировок (113). Прокси-данные: а) $\delta^{18}\text{O}$, ‰ [Lisiecki, Raymo, 2005]; б) пыль, ng/g, EDC Epica (Антарктида) [Lambert et al., 2008]; в) температура, °С (Китай) [Thomas et al., 2017]; г) границы МИС [Railsback et al., 2015]. Датировки эоловых песков на гистограмме показаны оранжевым цветом, водно-ледниковых - синим

4) окончание основного этапа эолового осадконакопления, эрозионный врез речных долин, криогенная трансформация, сохранение эоловой активности на отдельных участках низких надпойменных террас, сопровождаемой медленным и неустойчивым зарастанием подвижных песков (*эолово-криогенный этап*, МИС-3/2);

5) стабилизация и консервация (длительное сохранение) эоловых массивов в условиях потепления и заболачивания, формирование специфического сочетания почвенно-растительного покрова на дренированных участках (лишайниковые редколесья на подзолах) (*эолово-биологический этап*, биологический вариант развития, начало и середина МИС-1);

б) вторичная активизация эоловой деятельности (аккумуляция дюнной и покровной фаций) – приобретение явно выраженных эоловых признаков современными подвижными песками (*эолово-биологический этап*, эоловый вариант развития, конец МИС-1).

При детализации и фактическом подтверждении положений ранее предложенной концепции криогидроэолового морфолитогенеза установлено, что определяющими условиями эоловой активизации на севере Западной Сибири являются:

- доступность исходного субстрата – «зрелых» водно-ледниковых песков (зандровых отложений, песчаных осадков холодных пресноводных озер и ледниково-подпрудных водоемов, переотложенного перигляциального аллювия);

- формирование на отдельных участках условий конкурентного преимущества эолового морфолитогенеза по отношению к другим природным

процессам (заболачиванию, активности растительных сообществ) – экстремальные климатические условия, переменный гидрологический режим водных объектов (в т.ч., в процессе дегляциации);

- наличие устойчивого потока ветра с показателями, превышающими пороговые значения для транспортировки песчаного материала – постоянное (всесезонное) воздействие кatabатических или сезонных ветров во время кардинальной смены климатических условий (в т.ч., в процессе дегляциации).

Выявленные литологические и геохронологические особенности позволяет рассматривать эоловый рельеф в постледниковых районах Западной Сибири в качестве своеобразного *палеогеографического маркера*, фиксирующего предельные климатические состояния региональной геоморфологической системы. Определение детальных параметров этих состояний повышает детализацию региональных палеоклиматических реконструкций, а также является основанием для прогнозирования и оценки рисков развития неблагоприятных эоловых процессов.

ГЛАВА 4. Роль природных факторов в развитии эоловых процессов на севере Западной Сибири на современном этапе (последние 50 лет)

На основе инструментальных наблюдений на 11 метеостанциях за 1966-2023 гг. впервые определены количественные значения индекса аридизации (AI), индекса мобильности дюн (M) и климатического показателя дефляции (C) для всей территории севера Западной Сибири.

К северу от Среднеобской низменности фиксируются гумидные условия ($AI > 0,65$). При этом наибольшими среднегодовыми скоростями ветра (около 4,9 м/с) характеризуются самые северные районы равнины (Ямал и Гыдан).

Медианные значения индекса M составили 0,4-33,8; показателя C – 0,01-3,19 (рис. 12). Значение M превышало 100 (локальная активизация эоловой активности) лишь на метеостанциях Марресале (1978, 2000) и Антипаюта (1994-1997, 2005); с 1995 г. наблюдается устойчивое снижение M по всем метеостанциям; наименьшие значения отмечаются в 2017-2019 гг.

Значения $C > 10$ (повышенный риск развития дефляции) отмечены только для Марресале (10 из 52 лет наблюдений); Антипаюты (7 из 52 лет наблюдений) и Тарко-Сале (2 из 52 лет наблюдений); по остальным метеостанциям значение C не превышает 1,72.

Таким образом, развитию ветровой эрозии в Западной Сибири в настоящее время препятствует слабый дефляционный потенциал ветра и повышенная степень увлажнения на фоне короткого теплого периода.

Тем не менее, в отдельные годы значения показателей достигают необходимого для активизации эолового переноса порогового уровня. Сезонные полевые наблюдения с 2016 по 2023 гг. позволили на примере нижнего течения р.Надым определить следующие пороговые значения: средняя скорость ветра на высоте 10 м – не менее 6 м/с; температура воздуха – не менее 15°C; относительная влажность воздуха – не более 80%; суммарное количество осадков за предшествующие сутки – не более 1 мм.

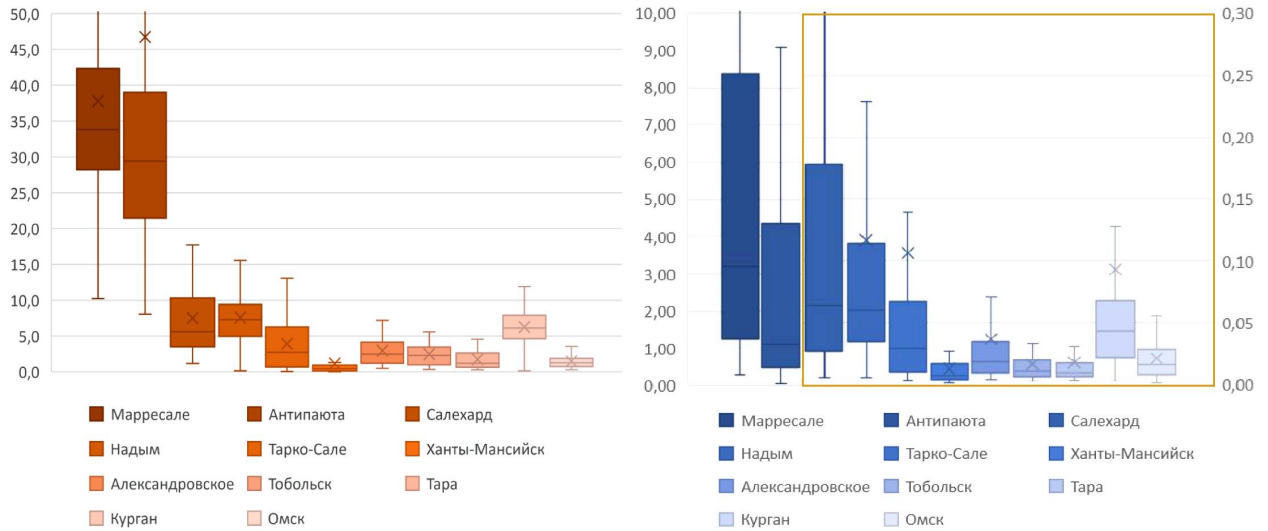


Рисунок 12 – Распределение значений индекса мобильности дюн М (слева) и показателя дефляции С (справа) за 1966-2023 гг.

Суммарное за каждый год количество сроков наблюдений, при которых достигаются пороговые значения, предлагается рассматривать в качестве *относительного климатического потенциала эолового переноса* (\mathcal{E}_n). Динамика показателя \mathcal{E}_n , рассчитанная по данным метеостанции Надым за 1966-2023 гг., показывает, что повышенные значения наблюдались в 2000-2016 гг., а наименьшие – в 2017-2019 гг. (рис. 13). В последнем случае значения \mathcal{E}_n хорошо коррелируют с минимальными значениями эоловой аккумуляции в пределах модельного раздува, полученными в ходе наземных измерений. Большая часть сроков наблюдений с ограничивающими условиями отмечается в июне и июле (31,4 и 38,5% соответственно).

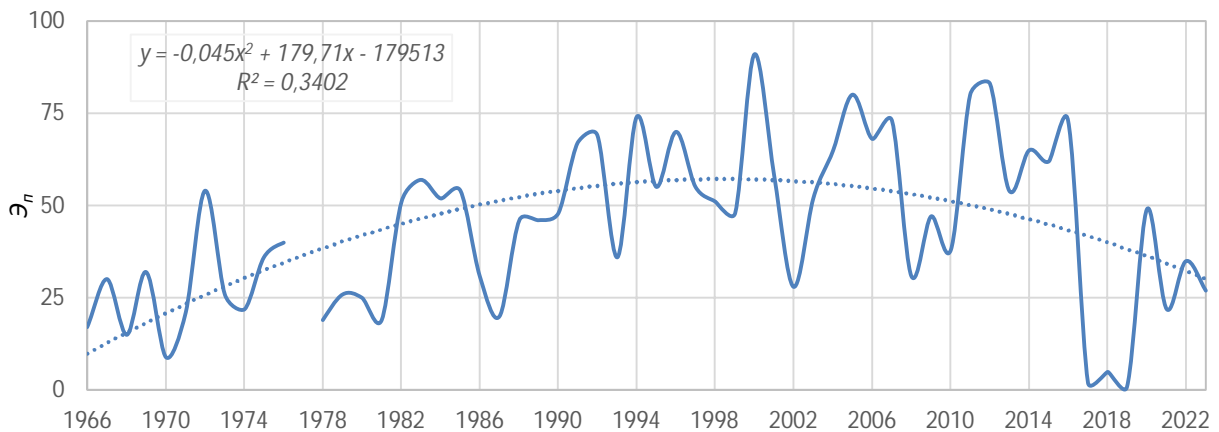


Рисунок 13 – Динамика относительного климатического потенциала эолового переноса (\mathcal{E}_n) по данным метеостанции Надым за 1966-2023 гг.

Общее видовое разнообразие растительности эоловых массивов (на примере верхнего и среднего течения р.Надым) составило 51 вид, в том числе 5 видов деревьев, 4 представителя подлеска, 22 представителя травяно-кустарничкового яруса и 20 вид мхов и лишайников (рис. 14). При этом

активные раздувы, несмотря на разреженность и неустойчивость растительного покрова, характеризуется более высоким видовым разнообразием (более 20 видов), по сравнению с участками закрепленных песков и фоновыми сообществами. Разнообразие лишайников возрастает по мере увеличения задернения и формирования более сомкнутого напочвенного покрова на склонах и верхних участках песчаных обнажений, достигая максимума под пологом сосновых и лиственничных лесов. Наибольшее разнообразие мхов характерно для растительных анклавов в пределах увлажненных днищ котловин выдувания.

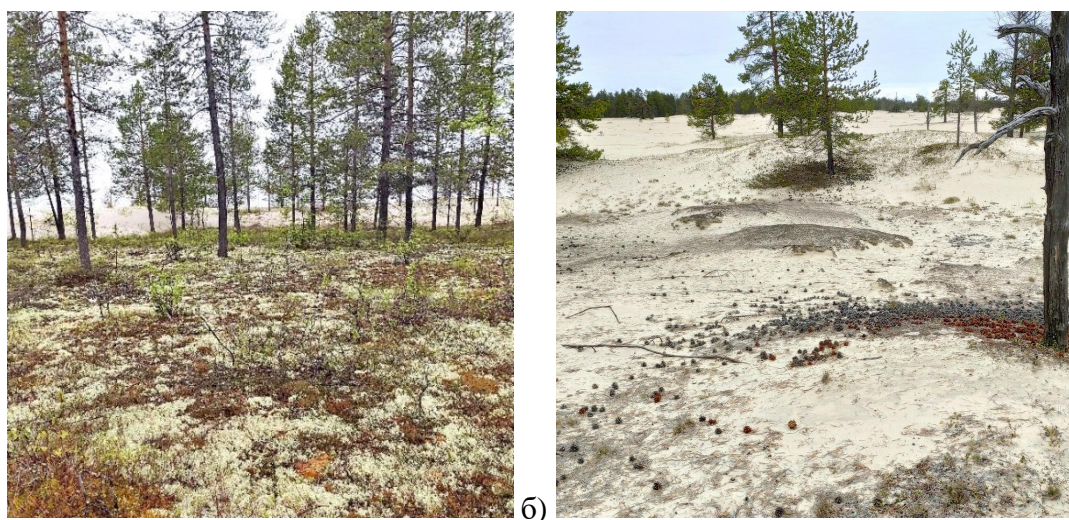


Рисунок 14 – Структура растительного покрова в пределах растительного анклава (а) и на поверхности раздува (б) (фото Н.В. Жеребятъевой, 2021)

Наиболее распространенным проявлением активного взаимодействия растительности и эолового переноса в пределах песчаных раздувов являются *эолово-фитогенные бугры* и *кочки*. Основные виды, участвующие в формировании таких бугров, меняются в зависимости от уменьшения степени увлажнения закрепляемого участка. На влажных участках поселяются моховые с *Polirtichum jniperinum*, на которых далее часто закрепляются эпилитные лишайники, кустарничковые водяниковые с *Empetrum nigrum* L., реже толокнянковые с *Arctostachis uva-ursi*. Наиболее сухие и выположенные участки первоначально заселяются водорослями. Формы микрорельефа могут представлять собой как небольшие кочки высотой до 15-20 см и диаметром до 20-25 см, так и бугры высотой до 1 м и диаметром до 4-5 м и более (рис. 15а).

Эолово-древесные бугры формируются в условиях преобладающей дефляции за счет скрепляющей силы придаточных корней отдельных деревьев [Bowers, 1982]. Центрами таких бугров в условиях субарктики Западной Сибири являются, как правило, сосна обыкновенная (*Pinus silvestris*), сосна сибирская (*Pinus sibirica*), реже лиственница (*Larix*). Кроме этого, встречаются бугры с участием березы Каяндера (*Betula cajanderi*), березы плосколистной (*B. platyphylla*), березы тощей (*B. exilis*), ивы Бебба (*Salix bebbiana*), тополя душистого (*Populus suaveolens*). Высота таких бугров может достигать высоты

в среднем 3-4 м, диаметр 7-8 м (рис. 15б). Механизм образования подобных бугров связан с низкой скоростью роста деревьев на фоне экстремальных климатических и эдафических условий, а также короткого вегетационного периода.

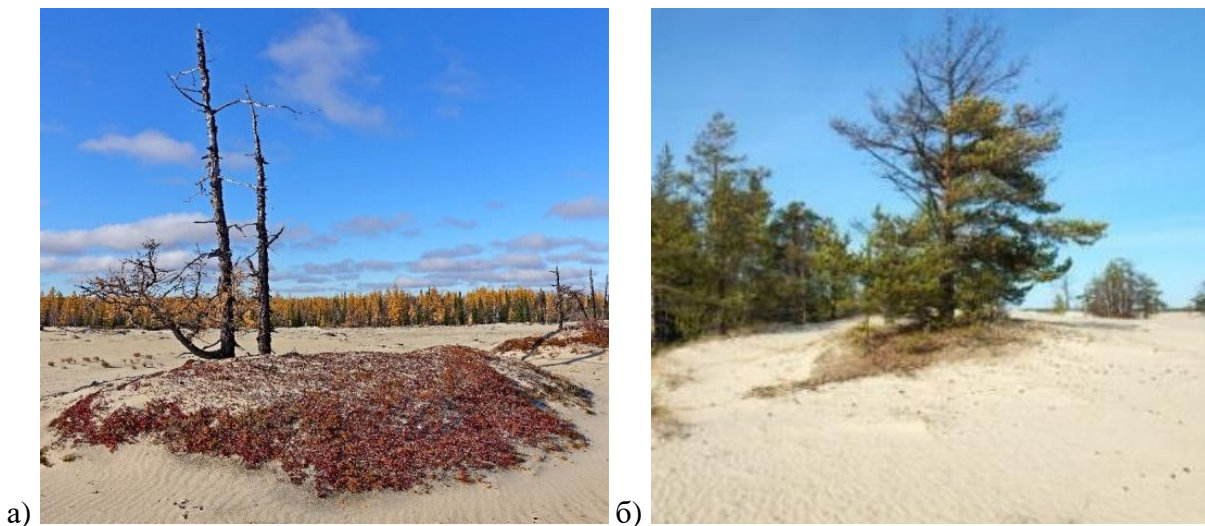


Рисунок 15 – Кустарничковый бугор полидоминантный с *Empetrum nigrum*, *Arctostaphylos uva-ursi*, *Ledum decumbens* в долине р. Сев. Тыдэотта (а) и эолово-древесный бугор в районе г. Муравленко (б) (фото О.С. Сизова, 2023, 2021 соответственно)

Динамика ежегодного радиального прироста лиственниц и кедров, засыпаемых по периферии модельного раздува, практически не отличается от динамики прироста деревьев на контрольных участках – многолетние колебания в целом повторяются, признаков явного угнетения не наблюдается. Можно сделать вывод, что древесная растительность характеризуется высокой степенью устойчивости к эоловым наносам, выступая естественным барьером для расширения котловин выдувания.

На поверхности песчаных дюн в зависимости от местоположения растительность образует сопряженные зоны с различными условиями и особенностями фитоценозов [Лоботросова, 2020; Soromotin et al., 2024]: наветренный склон – характеризуется максимальным ветровым воздействием и полным отсутствием растительности; вершина – растительность представлена пижмово-овсяницевым фитоценозом; подветренный склоны – растительность представлена овсянице-вейниковым фитоценозом; междюнная котловина – растительность представлена овсянице-политриховым фитоценозом (рис. 16).

При длительном снижении ветровой нагрузки зарастание песка сопровождается вытеснением псаммофитов и заселением представителей местной флоры, приспособленных к песчаным почвам. Процесс закрепления подвижных песков зависит от площади песчаных обнажений, средней скорости ветра и количества увлажнения. В целом его можно представить как отдельный эоловый экзогенетический (аллогенный) тип первичной сукцессии, имеющей циклический или линейный характер (рис. 17).

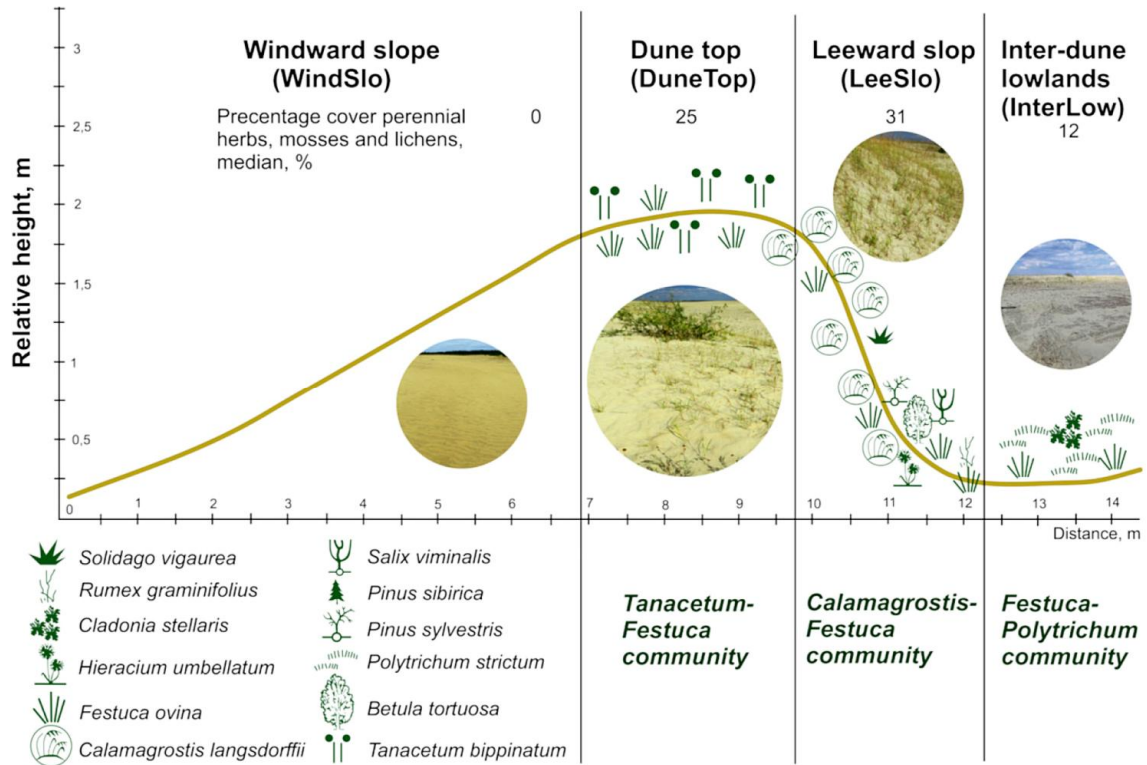


Рисунок 16 – Поперечный геоботанический профиль активной дюны в центральной части модельной котловины выдувания

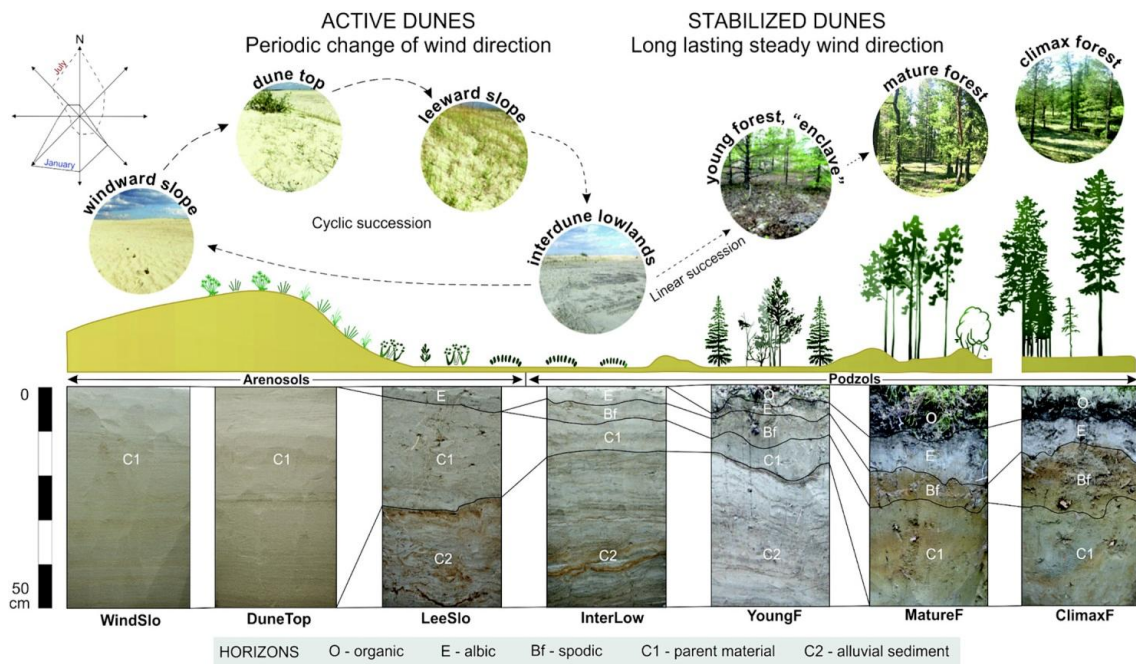


Рисунок 17 – Сукцессия фитоценозов песчаного раздуга

Циклическая сукцессия на подвижных песках соответствует закономерной смене растительности на основных элементах эолового микрорельефа (навстренный склон, вершина дюны, подветренный склон, междюнная котловина) и включают следующие стадии:

I – отсутствие растительности на навстренных склонах гряд или дюн, которые представляют собой первичный экотоп для заселения;

II – заселение на песчаной поверхности дерновинных видов (например, овсяница овечья), которые создают препятствия для перемещения песка в виде микробугорков, осваиваемых длинокорневищными и стержнекорневыми видами (пижма дваждыперистая и др.);

III – снижение ветровой нагрузки и развитие длинокорневищных, дерновинных и стержнекорневых злаков – фитоценозы одноярусные, доминирует вейник Лангсдорфа и овсяница овечья, присутствуют ястребинка зонтичная, щавель злаколистный, а также нередко ивы и березы.

Линейная сукцессия развивается при дальнейшем снижении ветровой нагрузки и включает следующие стадии:

IV – формирование мохового яруса в междюнных понижениях – заканчивается образованием овсянице-политриховых фитоценозов на супесчаном субстрате; к овсянице овечьей присоединяются споровые растения (политрихум и кладония), а также всходы сосны сибирской;

V – образование растительного анклава, в котором поселяются лишайники и некоторые виды кустарничков (багульник, голубика, черника), а также всходы деревьев (сосна обыкновенная, сосна сибирская, береза извилистая) и кустарников (ива прутовидная); результатом является листовеннично-сосновый мохово-лишайниковый фитоценоз.

В случае полного зарастания подвижных песков завершающей стадией линейной сукцессии (VI) являются сосновые или листовенничные лишайниковые леса и редколесья на автоморфных подзолистых почвах (иллювиально-железистых, иллювиально-гумусовых и др.).

Оценка противодефляционной устойчивости подзолистых почв (P_d), учитывающей соотношение различных фракций гранулометрического состава, а также содержание гумуса в почве, показала, что наиболее уязвимы для дефляции песчаные горизонты, в то время как наличие опада, увеличение содержания гумуса или глинистой фракции повышают устойчивость почвы в целом. При этом для почти половины горизонтов подзолов и подзолов глеевых (101 из 206) получены отрицательные значения P_d , которые сопоставимы со значениями подвижных песков, что свидетельствует о крайней неустойчивости подзолистых почв к дефляции.

Важным лимитирующим фактором для расширения котловин выдувания является уровень грунтовых вод. В случае достижения дном раздува водоносного горизонта:

- при переменной влажности происходит накопление мелкодисперсного материала, однако восстановление растительности оказывается затруднено и потенциал эоловой активности сохраняется;

- при постоянном уровне влажности происходит полная стабилизация песка – в пределах днища котловины начинается линейная сукцессия, либо постепенно образуется заторфованный водоем.

В целом, на рассматриваемой территории прослеживается устойчивая ландшафтная взаимосвязь эоловых отложений (связанных со зрелыми водно-ледниковыми осадками), лишайниковых редколесий и автоморфных

подзолистых почв. Слабая дифференциация растительного и почвенного покрова на бедных питательными веществами песках обусловлена устойчивостью и инертностью кварцевой составляющей к процессам почвообразования. В этом состоит основная специфика эдафических условий песчаных почв.

Экологически однородные почвенные разности, оцениваемые по ключевым показателям влажности и трофности, приурочены к однотипным элементам и формам рельефа. Более дробная ландшафтная дифференциация (мозаичность почвенного и растительного покрова) во многом определяется неоднородностью механического состава материнских пород и приуроченностью к различным элементам мезо- и микрорельефа (склонам, вершинам, понижениям), что создает условия для перераспределения влаги и накопления глинистых частиц.

Таким образом, сосново- и лиственнично-лишайниковые редколесья на подзолистых почвах формируют устойчивый *ландшафтный индикатор* песчаного состава почвообразующих отложений и промывного водного режима почв. *Именно здесь сохраняется максимальный потенциал эоловой активизации.* С высокой долей вероятности материнские породы таких ландшафтов будут иметь признаки водной или эоловой аккумуляции и сортировки, а также отличаться бедным минеральным составом.

ГЛАВА 5. Роль антропогенных факторов в развитии эоловых процессов на севере Западной Сибири на современном этапе (последние 50 лет)

Антропогенная активизация дефляции на севере Западной Сибири происходит в связи с механическими нарушениями почвенно-растительного покрова в процессе освоения нефтегазовых месторождений. Общая площадь антропогенных участков оголенных песков по результатам проведенного дешифрирования составила порядка 300 км² (29% нарушенных земель ЯНАО): средняя площадь участка – 2,84 га, максимальная площадь – 4,26 км².

Среди 226 нефтегазовых месторождений участки антропогенной дефляции выявлены на 130 (общая площадь – 214 км²) (рис. 18). Наибольшие площади выявлены в пределах Уренгойского и Суторминского месторождений (34,58 и 21,2 км² соответственно), наибольшая доля – в пределах Сандибинского и Суторминского месторождений (3,56 и 3,24% соответственно). Большая часть антропогенных раздувов в пределах месторождений образуется вокруг крупных промышленных узлов (ДНС, ЦДНГ, ЦППН и др.), кустовых площадок и сухоройных карьеров; за пределами месторождений – вдоль трасс магистральных трубопроводов.

Медианное значение доли изъятия земель (сумма площадей землеотвода и нарушенных земель, не связанных с дефляцией) на примере 10 нефтегазовых месторождений в верховьях р.Пур составило 7,2%. Повышенные значения выявлены для Спорышевского (13,9%) и Суторминского (11,2%) месторождений. Это можно связать с дополнительным влиянием

магистральных инженерных коммуникаций, пересекающих территорию месторождений, а также с длительностью оказываемого воздействия. В обоих случаях сказывается близость городов (Ноябрьск и Муравленко, соответственно), что повышает уровень антропогенной нагрузки на окружающую территорию.

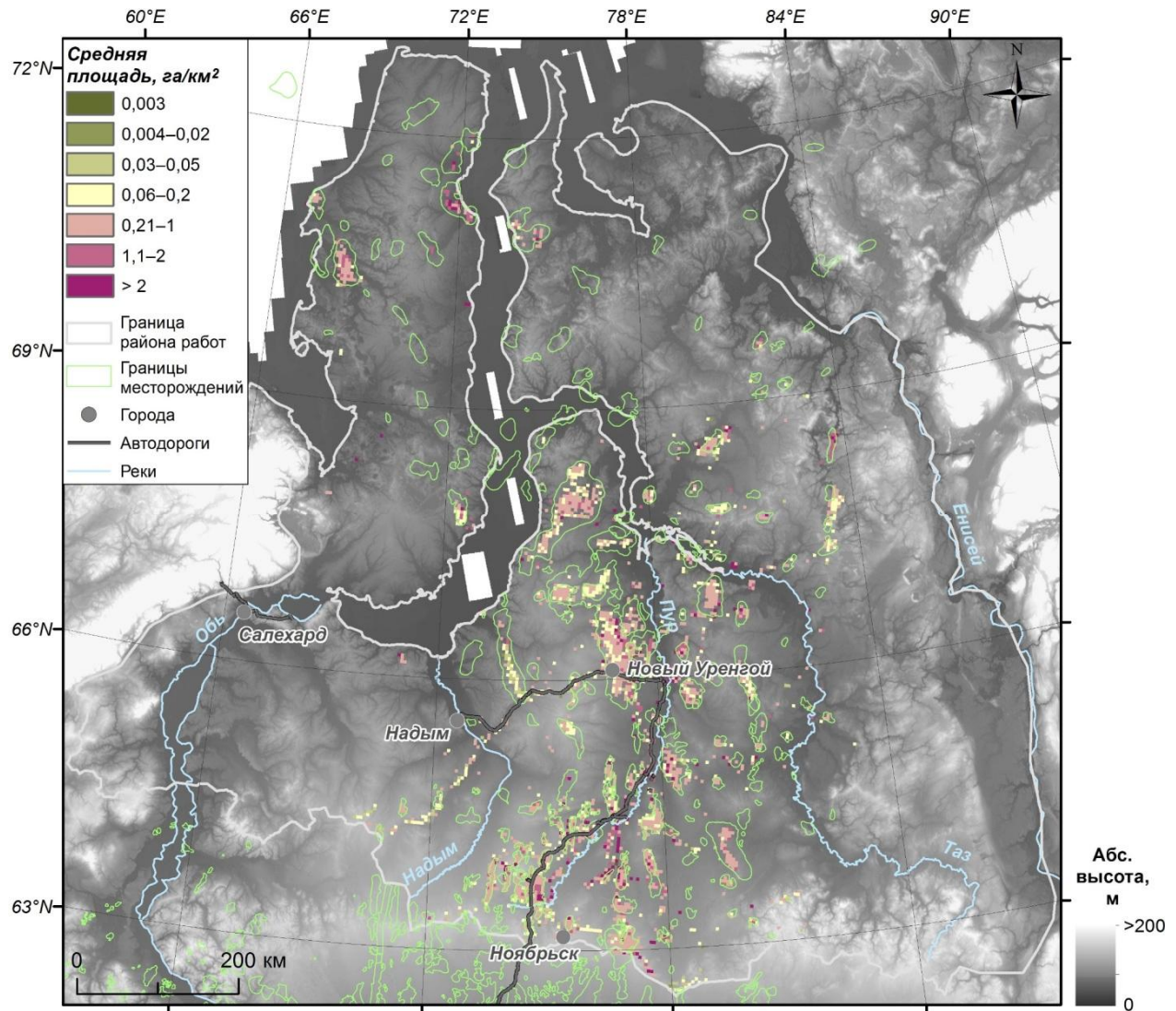


Рисунок 18 – Распространение антропогенных оголенных эоловых песков на севере Западной Сибири (средняя площадь)

Медианная доля антропогенных песчаных пустошей относительно площади землеотвода (постоянного и временного) – 9,3%. Минимальными превышениями (3-7%) характеризуются месторождения, находящиеся в условиях повышенной заболоченности (Еты-Пуровское, Новогоднее, Западно-Ноябрьское, Сугмутское). Максимальные превышения (более 20%), выявленные для трех месторождений (Муравленковское, Вынгайхинское и Суторминское), обусловлены активным вовлечением в хозяйственную деятельность дренированных участков северо-таежных редкостойных лесов. Расчеты ежегодного медианного значения NDVI с 1985 по 2021 гг. на основе данных Landsat-5/7/8 показывают, что основной пик нарушения

наблюдается на 9-11 год после начала промышленной разработки месторождения, на 24-26 год в большинстве случаев отмечается начало естественного зарастания.

Наиболее приближены к условиям котловин выдувания песчаные карьеры, заложенные в сосново-лиственничных лишайниковых редколесьях. На примере территории среднего и нижнего течения р. Надым (около 50 тыс. км²) доля подобных карьеров составила в 47%. В целом, здесь отмечается низкая сомкнутость крон деревьев, на крутых склонах древостой возобновляется хуже, чем на пологих. На фоне сохранения доминирования кустарничков (толокнянки, брусники, вороники) отмечается увеличение проективного покрытия злаков (до 10-15%) и разнотравья (до 5-7%).

Дефляции подвергаются днища и наветренные склоны северо-западной экспозиции – доля оголенных песков в пределах карьеров колеблется от 6,5 до 25%. Активному восстановлению растительности здесь препятствуют низкая влажность, низкое содержание питательных элементов и органики, а также высокая подвижность субстрата. Тем не менее, на 27-30 год после окончания разработки в подобных карьерах происходит восстановление фоновых значений объемов биомассы вне зависимости от наличия рекультивации. Сокращению оголенных песков способствует, в частности, уменьшение длины и увеличению крутизны склонов.

Детальный анализ последствий пирогенного воздействия на лесные и лесотундровые ландшафты показал, что степень пожарной опасности напрямую зависит от интенсивности хозяйственной деятельности. Следствием природных пожаров является деградация ММП за счет развития корневой системы кустарниково-древесной растительности, повышающей теплопроводность грунтов. В результате пирогенное воздействие приводит к долгосрочному замещению тундровых формаций производными сообществами кустарниково-древесной растительности. При этом, как показывает полевые и дистанционные наблюдения, участки гарей являются ареной для быстрого и конкурентного естественного зарастания. Следовательно, в современных климатических условиях Западной Сибири природные пожары не являются значимым фактором эоловой активизации. В то же время в холодных и засушливых условиях эоловые процессы способны развиваться вне зависимости от природных пожаров, а низкие температуры воздуха могут препятствовать широкому распространению гарей.

В целом, в современных условиях повышения температуры и влажности на севере Западной Сибири выявлен устойчивый тренд естественного зарастания антропогенно нарушенных песчаных участков.

Сравнительный анализ эффективности различных методов восстановления растительности на оголенных песках в пределах модельной котловины выдувания в 2013-2022 гг. основан на проведении четырех натуральных экспериментов (рис. 19). По итогам работ установлено, что наиболее эффективным и экономически оправданным способом улучшения технологий рекультивации оголенных песков в северо-таежной подзоне Западной Сибири

является снижение скорости ветра в приземном слое, что стабилизирует тепловой режим почвы, позволяет снизить потери воды и предотвращает механические повреждения корневой системы растений. Для этого могут использоваться биоматы, торфо-песчаная смесь или специальные заграждения. При рекультивации карьеров также целесообразно уменьшение протяженности склонов и использование ресурсов грунтовых вод за счет увеличения глубины разработки.



Рисунок 19 – Одна из экспериментальных площадок рекультивации в центральной части модельной котловины выдувания: а) 2016 г.; б) 2022 г. (фото О.С. Сизова)

ГЛАВА 6. Геоэкологические аспекты хозяйственного использования эловых морфолитосистем на севере Западной Сибири.

Особенности возникновения и развития эловых морфолитосистем определяют их геоэкологические свойства, которые активно используются при организации хозяйственного освоения территории и создании системы жизнеобеспечения молодых городских поселений в неблагоприятных субарктических и арктических условиях. Детальное исследование элово-социального взаимодействия, выполненное на примере г. Надым (ЯНАО), селитебная часть которого расположена в пределах крупного элового массива, демонстрирует уникальные особенности использования и трансформации песчаных массивов в процессе урбанизации.

Среди ключевых задач повышения уровня жизни, которые решались в процессе строительства города, можно выделить ветрозащиту и озеленение оголенных песков.

Первая задача была решена при строительстве с помощью аэродинамических групп жилых сооружений. По итогам проведенной оцифровки внешних границ жилых массивов в 15 (из 22) микрорайонах города среднее значение коэффициента сомкнутости границ составило 0,11. Это означает, что практически 90% периметра микрорайонов защищено от ветра внешними стенами зданий. Анализ метеоданных показал снижение скорости ветра в пределах жилых массивов на 1-1,3 м/с. Уменьшение ветровой нагрузки

также отмечают жители города в ходе опросов. Следовательно, барьерный эффект многоэтажных домов в полной мере проявляется на практике.

По итогам решения второй задачи создан каркас зеленых пространств, основу которого составили два участка естественно лесной растительности – парк им. Е.Ф. Козлова и Кедровая роща. Для оценки пространственного распространения и состояния городской растительности использовался мультимасштабный ряд данных ДЗЗ: экстрадетальный уровень (снимки с БПЛА с разрешением 13 см); высокодетальный уровень (снимки из космоса с разрешением 0,3-2 м); обзорный уровень (снимки из космоса с разрешением 30 м) Результаты дешифрирования показали, что общая площадь растительности на территории Надыма с 1968 по 2021 гг. сократилась на 34% (с 425,71 га до 280,1 га) (рис. 20).

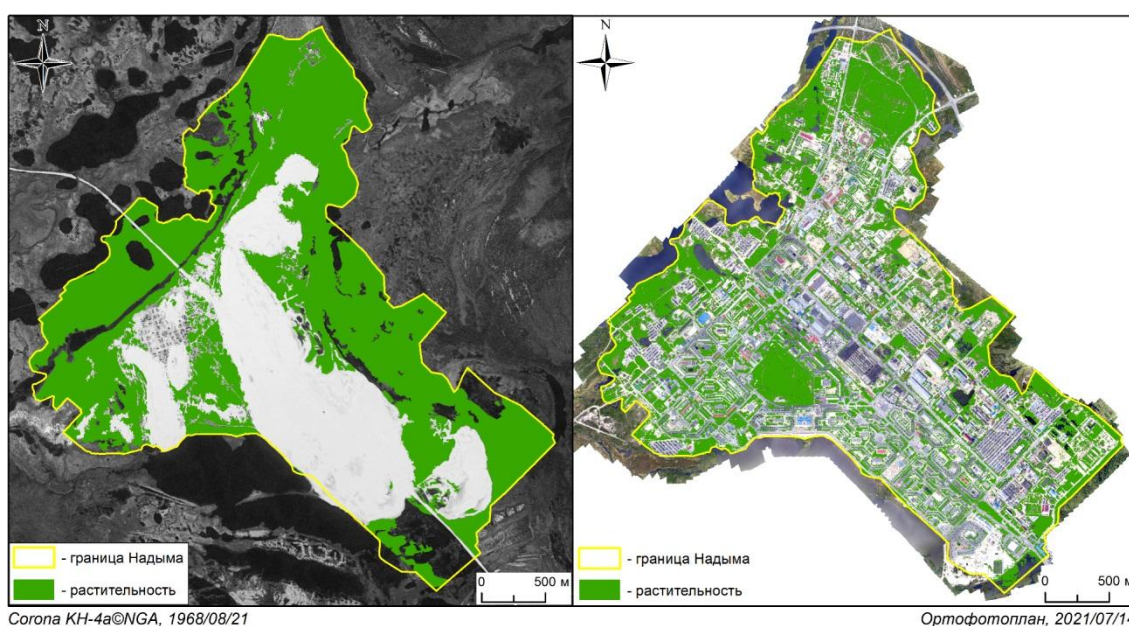


Рисунок 20 – Изменения площади растительного покрова Надыма за 1968-2021 гг.

По результатам классификации большая часть растительности в городе представлена лиственными (8%) и хвойными (14%) породами, а также кустарниками (18%). Участки естественной травянистой растительности занимают суммарно порядка 38%, из которых естественные луга занимают 7%, густые газоны – 6% и разреженные газоны (включая самосев на техногенных пустошах) – 25%. Динамика индекса NDVI на фоне динамики строительства показывает, что после завершения основного периода обустройства города начинается постепенное восстановление растительности, наблюдаемое с 2000 г. по настоящее время. Относительно NDVI и высоты растительности можно сделать вывод, что более высокие значения характерны для западной и северной частей города (рис. 21).

Поведенные расчеты показали, что в шаговой доступности (не далее 400 м) от открытых зеленых пространств живут почти 90% жителей города, а вблизи наиболее крупных парков им Е.Ф. Козлова и Кедровой рощи – 40%. Предложенный показатель «зелености» *GM*, учитывающий среднее значение

NDVI, среднее значение высоты растительности, долю зеленой растительности в общей площади микрорайона и общую потенциальную численность жителей микрорайона, демонстрирует также относительно высокий (4,8) уровень обеспеченности жителей зелеными насаждениями в пределах жилых микрорайонов.

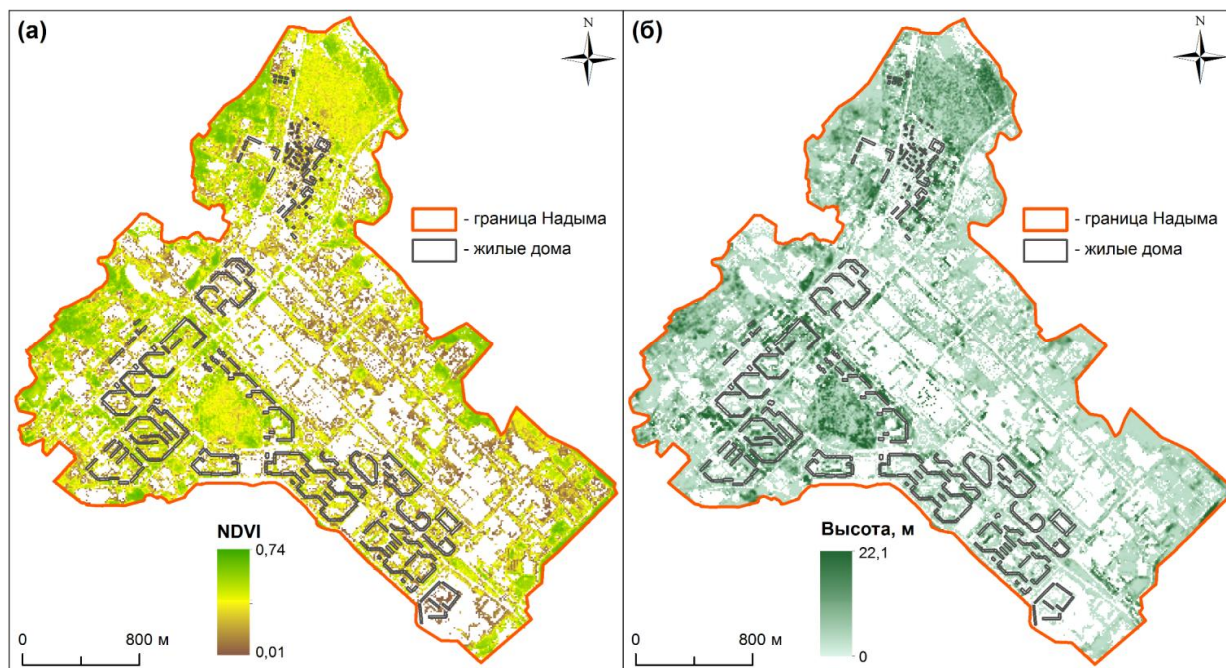


Рисунок 21 – Распределение NDVI (а) и высоты растительности (б) на территории г. Надым

Результаты исследования показывают, что Надым является относительно успешным примером развития городской инфраструктуры с использованием природных ресурсов субарктических эоловых морфолитосистем Западной Сибири. Прямое использование эоловых массивов реализуется через размещение (площадка для строительства) и создание (материал для строительства) объектов промышленной и жилой инфраструктуры. Опосредованное использование включает техногенный перенос песчаного материала для создания искусственных оснований в пределах неустойчивых геоморфологических систем (мерзлые болота, поймы рек). Наиболее востребованным геоэкологическим свойством эоловых морфолитосистем является их физическая устойчивость – отсутствие многолетнемерзлых пород в приповерхностном слое песчаных массивов (кровля мерзлоты опущена до глубин 30-50 м) в сочетании с высокой дренирующей способностью песчаных отложений формирует их преимущество перед окружающими криогенными ландшафтами. Средообразующие свойства проявляется в формировании рекреационных зон и разнообразных экосистемных услуг в пригородной зоне. На фоне наблюдаемых климатических изменений на севере Западной Сибири предполагается повышение геоэкологической значимости эоловых морфолитосистем прямо пропорционально развитию заболачивания и деградации многолетней мерзлоты.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По итогам исследования пространственно-временных закономерностей развития эоловых морфолитосистем в постледниковых обстановках Западной Сибири в контексте общей истории развития рельефа территории и современного хозяйственного освоения получены следующие выводы:

1. Пространственное распространение и организованность эоловых морфолитосистем на севере Западной Сибири обусловлены рельефообразующим воздействием неоднократных неоплейстоценовых покровных оледенений. В исследовании обоснована концепция криогидроэолового морфолитогенеза в постледниковых материковых обстановках высоких широт, предполагающая закономерную иерархическую зависимость и физически обусловленную последовательность возникающих геоморфологических процессов. Необходимыми условиями активизации эолового морфолитогенеза являются наличие устойчивого ветрового воздействия и переменный гидрологический режим водных объектов, при этом развеванию подвергаются преимущественно доступные «зрелые» пески (в исходном или переотложенном состоянии), имеющие водно-ледниковое происхождение.

2. Результаты сплошного дистанционного картографирования показали, что наиболее масштабное развитие эолового рельефа (*параболических дюн, котловин выдувания и участков площадной аккумуляции покровных песков*) приурочено к зандровым равнинам, ложбинам стока талых ледниковых вод и участкам осушения ледниково-подпрудных водоемов тазовского (МИС-6) и карского (МИС-4) оледенений, а также участкам аккумуляции холодного аллювия в долинах и дельтах крупных рек. Естественные участки оголенных песков на севере Западной Сибири суммарно занимают порядка 1922 км². Средняя площадь наиболее крупных (более 1 км²) природных котловин выдувания составляет 4,5 км², средняя максимальная высота периферических аккумулятивных валов – 5,61 м, средняя высота поперечных дюн на поверхности котловин – 1,73 м. Среднее сокращение площади 15 выбранных крупных котловин выдувания с 1968 по 2020 гг. составило в среднем 10,3 га (медиана – 6,8 га); смещение периферических валов в 1960-2010-е гг. – 0,3 м/год, поперечных дюн – 0,5 м/год. Критическое обобщение обширного литературного материала позволило установить уникальные морфометрические и морфодинамические особенности эолового рельефа севера Западной Сибири по отношению к другим постледниковым регионам Европы, Северной и Южной Америки.

3. На основе анализа впервые полученных геохронологических данных установлено, что наиболее масштабная активизация эоловых процессов на севере Западно-Сибирской равнины происходила во время последнего криохрона (МИС2) (временные интервалы – 34-25, 22-17 и 16-12 тыс.л.н.). Активизация происходила асинхронно по сравнению с другими постледниковыми регионами Северного полушария, что может быть

обусловлено последовательным смещением с востока на запад (по мере развития дегляциации) климатического фронта, создающего необходимый для повышенных скоростей ветра барический градиент.

4. Эоловые отложения и формы рельефа на севере Западной Сибири характеризуются *устойчивостью к криогенному выветриванию*, подтверждаемую длительным сохранением специфических литологических (химический состав, форма кварцевых зерен) и геоморфологических (дюнные формы рельефа в условиях заболачивания) признаков. Данная особенность позволяет рассматривать эоловый рельеф в постледниковых районах Западной Сибири в качестве своеобразного *палеогеографического маркера*, фиксирующего предельные климатические состояния и специфические обстановки морфолитогенеза. Определение хронологических параметров этих состояний повышает детализацию региональных палеоклиматических реконструкций, а также является основанием для прогнозирования и оценки рисков развития эоловых процессов.

5. Анализ инструментальных гидрометеорологических наблюдений за последние 50 лет показал снижение активности эоловых процессов на севере Западной Сибири, определяемое слабым дефляционным потенциалом ветра и повышенной степенью увлажнения на фоне короткого теплого периода. Пороговое значение скорости ветра для начала эолового переноса в летние месяцы по результатам эмпирических наблюдений составило около 6 м/с (на высоте 10 м), при температуре воздуха – не менее 15°C; относительной влажности воздуха – не более 80%; суммарном количестве осадков за предшествующие сутки – не более 1 мм.

6. Антропогенная активизация дефляции происходит в связи с механическими нарушениями почвенно-растительного покрова в процессе освоения нефтегазовых месторождений. Общая площадь антропогенных участков оголенных песков составила порядка 300 км²: средняя площадь – 2,84 га, максимальная – 4,26 км²; наибольшие значения выявлены в пределах Уренгойского и Суторминского месторождений. Основная часть антропогенных раздувов в пределах месторождений образуется вокруг крупных промышленных узлов (ДНС, ЦДНГ, ЦППН и др.), кустовых площадок и сухоройных карьеров; за пределами месторождений – вдоль трасс магистральных трубопроводов. На примере сухоройных карьеров показано, что восстановлению растительности препятствуют низкая влажность, низкое содержание питательных элементов и органики, а также высокая подвижность субстрата. При этом на 27-30 год после окончания разработки в подобных карьерах происходит восстановление фоновых значений биомассы вне зависимости от наличия рекультивации. Детальный анализ последствий пирогенного воздействия на лесные и лесотундровые ландшафты показал, что в современных климатических условиях природные пожары также не являются значимым фактором эоловой активизации.

7. На севере Западной Сибири растительность создает биологически активный барьер для эолового переноса, что приводит к образованию особого типологического ряда аккумулятивных эолово-фитогенных форм рельефа: *кочек, бугров и валов засыпания*. Вместе с тем, максимальный потенциал эоловой активизации сохраняется именно на участках стабилизированных растительностью развеваемых песков – в результате циклической и линейной сукцессии здесь формируются почвенно-растительные ассоциации сосново- и лиственнично-лишайниковых редколесий на маломощных подзолах, которые характеризуются низкой противодефляционной устойчивостью. По итогам проведенных натуральных экспериментов установлено, что наиболее эффективным и экономически оправданным способом улучшения технологий рекультивации оголенных песков в северо-таежной подзоне Западной Сибири является снижение скорости ветра в приземном слое за счет использования специальных искусственных покрытий и механических заграждений.

8. Особенности возникновения и развития эоловых морфолитосистем определяют их геоэкологические свойства, которые активно используются при организации хозяйственного освоения территории и создании системы жизнеобеспечения молодых городских поселений в неблагоприятных субарктических и арктических условиях. Наиболее значимым геоэкологическим свойством эоловых морфолитосистем является физическая устойчивость, которая обусловлена отсутствием мерзлоты в поверхностном слое и высокой дренируемостью песчаных осадков. Устойчивость эоловых массивов используется напрямую при размещении (строительная площадка) и создании (строительный материал) объектов промышленной и жилой инфраструктуры. Кроме того, устойчивость используется опосредованно путем техногенного переноса эолового материала и создания искусственных песчаных насыпей в пределах неустойчивых геоморфологических систем (мерзлые болота, поймы рек). Повышение геоэкологической значимости эоловых морфолитосистем на севере Западной Сибири прямо зависит от развития заболачивания и деградации многолетней мерзлоты.

Благодарности. Автор выражает искреннюю благодарность д.г.н. Э.А. Лихачевой и д.б.н. А.В. Соромотину за терпение, настойчивую поддержку и неоценимую помощь при подготовке работы.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в российских рецензируемых научных журналах, включённых в Перечень ВАК:

1. **Сизов О.С.** Концепция криогидроэолового рельефообразования в постледниковых материковых обстановках севера Западной Сибири // Региональные геосистемы. – 2025. – Т. 49, № 4. – С. 735–752. (ВАК, 2 категория)
2. Миляев И.А., **Сизов О.С.**, Федоров Р.Ю., Скрицкая М.К. Оценка обеспеченности зеленой инфраструктурой жителей северного нефтегазового города (г. Муравленко, ЯНАО) // Региональные геосистемы. – 2025. – Т. 49, № 3. – С. 500–516. (ВАК, 2 категория)

3. Жаркова В.В., **Сизов О.С.** Сравнительная геоэкологическая оценка развития опасных экзогенных процессов на магистральных трубопроводах РФ // Известия Иркутского государственного университета. Серия: Науки о Земле. – 2025. – Т. 51. – С. 3–18. (*ВАК, 2 категория*)

4. Бочкарев Ю.Н., Дьяконов К.Н., Соромотин А.В., **Сизов О.С.** Дендрохроноиндикация изменения местного климата городской территории Надыма за последние 50 лет // Вестник Московского университета. Серия 5: География. – 2023. – Т. 78, № 5. – С. 125–132. (*Scopus, Q3*)

5. Соромотин А.В., Эзау И.Н., **Сизов О.С.**, Лоботросова С.А., Франк К.А. Микроклиматические особенности песчаных дюн северной тайги Западной Сибири // Метеорология и гидрология. – 2021. – № 8. – С. 88–100. (*Scopus, Q3*)

6. **Сизов О.С.**, Юртаев А.А., Соромотин А.В., Копцева Е.М., Вольвах А.О., Абакумов Е.В., Бердников Н.М., Приходько Н.В., Гурьев Д.А. Реконструкция истории формирования торфяно-минеральной гряды пучения в нижнем течении реки Надым // Криосфера Земли. – 2021. – Т. 25, № 2. – С. 3–13. (*Scopus, Q3*)

7. **Сизов О.С.**, Цымбарович П.Р., Ежова Е.В., Соромотин А.В., Приходько Н.В. Оценка постпирогенной динамики тундровой растительности на севере Западной Сибири за последние 50 лет (1968–2018) на основе данных ДЗЗ детального и высокого разрешения // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2020. – Т. 17, № 4. – С. 137–153. (*Scopus, Q3*)

8. Карпухина Н.В., **Сизов О.С.** Методические аспекты гляциоморфологического картографирования в краевой зоне юго-восточного сектора последнего скандинавского ледникового покрова // Геоморфология. – 2020. – № 2. – С. 21–38. (*Scopus, Q2*)

9. **Сизов О.С.**, Идрисов И.Р., Юртаев А.А. Уточнение параметров классификации методом опорных векторов (SVM) при крупномасштабном картографировании арктических ландшафтов (на примере острова Белый, Карское море) // Исследование Земли из космоса. – 2020. – № 3. – С. 77–92. (*Scopus, Q4*)

10. **Сизов О.С.**, Кушнырь О.В. Анализ подходов к систематизации тематических задач, решаемых с помощью данных ДЗЗ // Исследование Земли из космоса. – 2018. – № 2. – С. 77–86. (*Scopus, Q4*)

11. Зыкина В.С., Зыкин В.С., Вольвах А.О., Овчинников И.Ю., **Сизов О.С.**, Соромотин А.В. Строение, криогенные образования и условия формирования верхнечетвертичных отложений Надымского Приобья // Криосфера Земли. – 2017. – Т. XXI, № 6. – С. 14–25. (*Scopus, Q3*)

12. **Сизов О.С.**, Лоботросова С.А. Особенности восстановления растительности в пределах участков развееваемых песков северотаежной подзоны Западной Сибири // Криосфера Земли. – 2016. – Т. XX, № 3. – С. 3–14. (*Scopus, Q3*)

Статьи в зарубежных рецензируемых научных журналах, входящих в WoS/Scopus

13. Talucci A.C., Loranty M.M., Holloway J.E., Rogers B.M., Alexander H.D., Baillargeon N., Baltzer J.L., Berner L.T., Breen A., Brodt L., Buma B., Dean J., Delcourt C.J.F., Diaz L.R., Dieleman C.M., Douglas T.A., Frost G.V., Gaglioti B.V., Hewitt R.E., Hollingsworth T., Jorgenson M.T., Lara M.J., Loehman R.A., Mack M.C., Manies K.L., Minions C., Natali S.M., O'Donnell J.A., Olefeldt D., Paulson A.K., Rocha A.V., Saperstein L.B., Shestakova T.A., Sistla S., **Sizov O.**, Soromotin A., Turetsky M.R.,

Veraverbeke S., Walvoord M.A. Permafrost-wildfire interactions: active layer thickness estimates for paired burned and unburned sites in northern high latitudes // *Earth System Science Data*. – 2025. – Vol. 17. – P. 2887–2909. (*Scopus, Q1; Web of Science, Q1*)

14. Soromotin A.V., Lanza G.R., **Sizov O.S.**, Lobotrosova S.A., Abakumov E.V., Zverev A.O., Yakimov A.S., Konstantinov A.O., Kurasova A.O., Prihodko N.V., Salavatulin V.M., Varentsov M.I., Alharbi S.A., Alotaibi Kh.D., Kuzyakov Ya. Cyclic and linear trajectories of ecosystem evolution on sand dunes in Siberian taiga: a comprehensive analysis // *Science of the Total Environment*. – 2024. – Vol. 928. – P. 172265. (*Scopus, Q1; Web of Science, Q1*)

15. Kuklina V., **Sizov O.**, Fedorov R., Butakov D. Dealing with sand in the Arctic city of Nadym // *Ambio*. – 2023. – Vol. 52. – P. 1–13. (*Scopus, Q1; Web of Science, Q1*)

16. Esau I., Pettersson L.H., Cancet M., Chapron B., Chernokulsky A., Donlon C., **Sizov O.**, Soromotin A., Johannesen J.A. The Arctic amplification and its impact: a synthesis through satellite observations // *Remote Sensing*. – 2023. – Vol. 15, No. 5. – P. 1354. (*Scopus, Q1; Web of Science, Q1*)

17. **Sizov O.S.**, Fedorov R.Yu., Pechkina Yu.A., Kuklina V.V., Michugin M., Soromotin A.V. Urban trees in the Arctic city: case of Nadym // *Land*. – 2022. – Vol. 11, No. 4. – P. 531. (*Scopus, Q1; Web of Science, Q2*)

18. Kuklina V., **Sizov O.**, Rasputina E., Bilichenko I., Krasnoshtanova N., Bogdanov V., Petrov A.N. Fires on Ice: Emerging Permafrost Peatlands Fire Regimes in Russia's Subarctic Taiga // *Land*. – 2022. – Vol. 11, No. 3. – P. 322. (*Scopus, Q1; Web of Science, Q2*)

19. Kuklina V., **Sizov O.**, Bogdanov V., Krasnoshtanova N., Morozova A., Petrov A.N. Combining community observations and remote sensing to examine the effects of roads on wildfires in the East Siberian boreal forest // *Arctic Science*. – 2022. – Vol. 9, No. 2. – P. 393–407. (*Scopus, Q1; Web of Science, Q2*)

20. Esau I., Miles V., Soromotin A., **Sizov O.**, Varentsov M., Konstantinov P. Urban heat islands in the Arctic cities: an updated compilation of in situ and remote-sensing estimations // *Advances in Science and Research*. – 2021. – Vol. 18. – P. 51–57. (*Scopus, Q2*)

21. Kuklina V., **Sizov O.**, Fedorov R. Green spaces as an indicator of urban sustainability in the Arctic cities: Case of Nadym // *Polar Science*. – 2021. – Vol. 29. – P. 100672. (*Scopus, Q2; Web of Science, Q3*)

22. Fedorov R., Kuklina V., **Sizov O.**, Soromotin A., Prihodko N., Pechkin A., Krasnenko A., Lobanov A., Esau I. Zooming in on Arctic urban nature: green and blue space in Nadym, Siberia // *Environmental Research Letters*. – 2021. – Vol. 16, Iss. 7. – P. 075009. (*Scopus, Q1; Web of Science, Q1*)

23. **Sizov O.** Predictive Mapping of Glacial and Fluvioglacial Landforms in the Nadym River Basin (North of West Siberia) with TanDEM-X DEM // *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*. – 2021. – Vol. 14. – P. 5656–5666. (*Scopus, Q1; Web of Science, Q1*)

24. **Sizov O.**, Ezhova E., Tsymbarovich P., Soromotin A., Prihodko N., Petäjä T., Zilitinkevich S., Kulmala M., Bäck J., Köster K. Fire and vegetation dynamics in northwest Siberia during the last 60 years based on high-resolution remote sensing // *Biogeosciences*. – 2021. – Vol. 18, Iss. 1. – P. 207–228. (*Scopus, Q1; Web of Science, Q1*)

25. **Sizov O.**, Volvakh A., Molodkov A., Vishnevskiy A., Soromotin A., Abakumov E. Lithological and geomorphological indicators of glacial genesis in the upper Quaternary

strata, Nadym River basin, Western Siberia // *Solid Earth*. – 2020. – Vol. 11, No. 6. – P. 2047–2074. (*Scopus, Q1; Web of Science, Q2*)

26. **Sizov O.**, Konstantinov A., Volvakh A., Molodkov A. Timing and sedimentary record of Late Quaternary fluvio-aeolian successions of the Tura-Pyshma interfluvium (SW Western Siberia, Russia) // *Geosciences*. – 2020. – Vol. 10, No. 10. – P. 396. (*Scopus, Q2; Web of Science, Q3*)

27. **Sizov O.**, Agoltsov A., Rubtsova N. Methodological issues of elaborating and implementing remote environmental monitoring of oil and gas exploration applying satellite images: the Priobskoye oil field (Yugra, Russia) // *Energy Procedia*. – 2014. – Vol. 59. – P. 51–58. (*Scopus*)

Статьи в российских рецензируемых научных журналах, включённых в Перечень ВАК (прочие специальности)

28. **Сизов О.С.** Картографическая оценка морфометрических и морфодинамических характеристик наиболее крупных котловин выдувания на севере Западной Сибири // *Геодезия и картография*. – 2025. – № 5. – С. 28–38. (*ВАК, 1 категория; Scopus, Q3*)

29. **Сизов О.С.** Особенности развития техногенной нарушенности на севере Западной Сибири в связи с добычей и транспортировкой нефти и газа // *Экология и промышленность России*. – 2025. – Т. 29, № 3. – С. 58–65. (*ВАК, 1 категория; Scopus, Q4*)

30. **Сизов О.С.** Динамика зарастания сухоройных песчаных карьеров в северо-таёжных условиях Западной Сибири за период с 1985 по 2021 гг. // *Географическая среда и живые системы*. – 2025. – № 1. – С. 41–52. (*ВАК, 2 категория; Scopus, Q4*)

31. **Сизов О.С.** Оценка современных климатических условий развития ветровой эрозии на территории Западной Сибири // *Проблемы региональной экологии*. – 2024. – № 5. – С. 35–43. (*ВАК, 2 категория*)

32. **Сизов О.С.**, Федоров Р.Ю., Соромотин А.В. Оценка эффективности мер по ветрозащите населения города Надым // *Экология урбанизированных территорий*. – 2023. – № 3. – С. 93–102. (*ВАК, 2 категория*)

33. Жаркова В.В., **Сизов О.С.**, Лобжанидзе Н.Е. Применение беспилотных летательных аппаратов для экологического мониторинга магистральных систем нефтепроводов // *Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе*. – 2023. – № 5 (314). – С. 59–65. (*ВАК, 2 категория*)

34. **Сизов О.С.**, Федоров Р.Ю., Печкина Ю.А., Мичугин М.С., Куклина В.В., Соромотин А.В., Федаш А.В. Оценка обеспеченности зеленой инфраструктурой жителей арктического города (на примере Надыма) // *Арктика: экология и экономика*. – 2022. – Т. 12, № 4. – С. 475–490. (*ВАК, 1 категория; Scopus, Q2*)

35. **Сизов О.С.**, Лобжанидзе Н.Е. Пространственное распределение естественного и антропогенного эолового рельефа на севере Западной Сибири // *Геодезия и картография*. – 2022. – № 8. – С. 22–32. (*ВАК, 1 категория; Scopus, Q3*)

36. Жеребятьева Н.В., **Сизов О.С.** Особенности видового разнообразия и структуры растительного покрова на эоловых формах рельефа в долине р. Надым // *Географическая среда и живые системы*. – 2022. – № 2. – С. 6–24. (*ВАК, 2 категория; Scopus, Q4*)

37. Бродт Л.В., Приходько Н.В., Соромотин А.С., **Сизов О.С.** Постпирогенная трансформация растительного покрова в тундровой зоне за 5 лет // Проблемы региональной экологии. – 2022. – № 2. – С. 62–66. (ВАК, 2 категория)
38. Федоров Р.Ю., **Сизов О.С.**, Куклина В.В., Лобанов А.А., Соромотин А.В., Печкин А.С., Печкина Ю.А., Эзау И.Н. Возможности применения концепции «зимнего города» в российской Арктике (на примере города Надым) // Арктика: экология и экономика. – 2021. – Т. 11, № 2. – С. 291–303. (ВАК, 1 категория; Scopus, Q2)
39. **Сизов О.С.**, Соромотин А.В., Лоботросова С.А., Лобжанидзе Н.Е., Приходько Н.В. Нарушенность почвенно-растительного покрова на севере Западной Сибири: пространственное распространение и способы рекультивации // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. – 2020. – № 4 (307). – С. 40–46. (ВАК, 2 категория)
40. **Сизов О.С.**, Вольвах А.О., Вишневецкий А.В., Соромотин А.В. Литологические и геоморфологические признаки генезиса верхней толщи четвертичных отложений в нижнем течении р. Надым // Проблемы региональной экологии. – 2020. – № 3. – С. 84–97. (ВАК, 2 категория)
41. **Сизов О.С.** Дистанционное картографирование ледниковых и водно-ледниковых форм рельефа в бассейне р. Надым (север Западной Сибири) // Географический вестник. – 2020. – № 2 (53). – С. 6–23. (ВАК, 1 категория)
42. **Сизов О.С.**, Лоботросова С.А., Соромотин А.В. Оценка физико-химических свойств верхних органо-минеральных горизонтов песчаных обнажений на севере Западной Сибири (на примере среднего течения р. Надым) // Географическая среда и живые системы. – 2020. – № 1. – С. 31–52. (ВАК, 2 категория; Scopus, Q4)
43. **Сизов О.С.**, Зубкова К.И. Оценка заозеренности Западно-Сибирской равнины на основе глобального массива данных о водной поверхности Global Surface Water // Геодезия и картография. – 2018. – Т. 79, № 12. – С. 8–21. (ВАК, 1 категория; Scopus, Q3)
44. **Сизов О.С.** Дискуссионные вопросы актуализации методики среднемасштабного геоморфологического картографирования (на примере п-ова Ямал) // Проблемы региональной экологии. – 2018. – № 5. – С. 172–179. (ВАК, 2 категория)
45. **Сизов О.С.**, Лоботросова С.А., Соромотин А.В. Лишайниковые сосняки северной тайги Западной Сибири как индикатор ледниковых условий рельефообразования // Проблемы региональной экологии. – 2017. – № 2. – С. 60–68. (ВАК, 2 категория)
46. Меньшиков С.Н., Мельников И.В., Осокин А.Б., Смоллов Г.К., Беленов А.В., Абросимов А.В., **Сизов О.С.** Мониторинг опасных экзогенных процессов на месторождениях п-ова Ямал с использованием результатов космической съемки // Газовая промышленность. – 2016. – № 7–8. – С. 39–44. (ВАК, 2 категория)
47. Ильященко В.А., **Сизов О.С.** Оценка эффективности рекультивации нефтезагрязненных земель в Среднем Приобье Западной Сибири с использованием современных методов пространственного анализа геоэкологических данных // Проблемы региональной экологии. – 2016. – № 3. – С. 120–124. (ВАК, 2 категория)

48. Соромотин А.В., Хотеев В.В., **Сизов О.С.**, Питерских А.С. Комплексное геоэкологическое описание городской среды г. Муравленко // Экология урбанизированных территорий. – 2008. – № 2. – С. 34–40. (ВАК, 2 категория)

49. Соромотин А.В., **Сизов О.С.** Активизация эоловых процессов на севере Западной Сибири в связи с возросшим антропогенным воздействием // Проблемы региональной экологии. – 2007. – № 4. – С. 12–15. (ВАК, 2 категория)

Монографии и разделы в коллективных монографиях:

50. **Сизов О.С.** Геоэкологические аспекты современных эоловых процессов северотаежной подзоны Западной Сибири [Электронный ресурс]. Новосибирск: Академическое изд-во «Гео», 2015. 124 с.

51. Селин В.А., Аракчеев А.Н., Емельянов К.С., **Сизов О.С.**, Цымбарович П.Р., Славко В.Д. Исследование Арктики космическими методами // Национальный атлас Арктики. М.: Росреестр, 2017 – С. 450-453.

52. Kuklina V., Fedorov R., **Sizov O.**, Rasputina E. Green spaces in the context of changing human-environment relations in Siberian cities // Design and the Built Environment of the Arctic. London – New York: Routledge, 2024. pp. 121-140.

Патенты Российской Федерации:

53. Соромотин А.В., Приходько Н.В., Степанюк Е.С., **Сизов О.С.** Способ укрепления поверхности деградированной почвы. Патент на изобретение RU 2787505 С1, 09.01.2023.

54. Соромотин А.В., Приходько Н.В., Степанюк Е.С., **Сизов О.С.** Способ восстановления лишайникового покрова. Патент на изобретение RU 2793437 С1, 03.04.2023

Подписано в печать