Трансформация экосистем
Ecosystem Transformation

ISSN 2619-0931 Online
www.ecosysttrans.com

DOI: https://doi.org/10.23859/estr-250825
EDN: https://elibrary.ru/atwrbi
УДК 528.88+574.42

Научная статья

Динамика восстановления растительности на песчаном субстрате в северной тайге Западной Сибири (природный парк «Нумто», Ханты-Мансийский автономный округ – Югра)

В.А. Глазунов*, А.В. Фахретдинов, С.А. Николаенко

Институт проблем освоения Севера Тюменского научного центра СО РАН, 626026, Россия, г. Тюмень, ул. Малыгина, д. 86

**v_gl@inbox.ru*

Аннотация. Восстановление растительного покрова на техногенно нарушенных территориях севера Западной Сибири является актуальной проблемой в связи с масштабным освоением месторождений углеводородного сырья. Представлены результаты исследований формирования растительности на площадке под строительство аэропорта у д. Нумто (природный парк «Нумто», Западная Сибирь), образовавшейся в 1993 г. на месте соснового кустарничкового-лишайникового леса на песчаном субстрате (площадь 5.51 га). Выделено 4 стадии зарастания: без растительности, моховая, кустарничково-моховая, сосново-кустарничково-мохово-лишайниковая. По прошествии 30 лет после образования площадки доля участков без растительности составляет менее 21%. Сообщества пионерной стадии образованы только одним видом мха *Polytrichum strictum*. Следующая стадия характеризуется поселением кустарничков (*Empetrum nigrum*) и формированием песчаных бугров. Более 60% площади занимают моховые и кустарничково-моховые сообщества. Наиболее быстро развивается растительность по периферии участка, где сформировался древесный ярус из *Pinus sylvestris* (от 4 до 8 м высотой), появился лишайниковый покров и сообщество приобрело вид, близкий к исходному. По данным спектральных индексов происходит постепенное восстановление растительных сообществ на нарушенном участке на фоне положительного тренда приземной температуры атмосферного воздуха и годовой суммы осадков.

Ключевые слова: антропогенная трансформация, дистанционное зондирование, зарастание, сукцессия, DI′, NDVI

Финансирование. Работа выполнена в рамках государственного задания Института проблем освоения Севера Тюменского научного центра СО РАН, № FWRZ-2026-0022.

Благодарности. Авторы выражают благодарность директору природного парка «Нумто» Л.А. Матвеевой и всему коллективу и за предоставленную возможность работы на территории Парка и всестороннее содействие в проведении исследований.

ORCID:
В.А. Глазунов, https://orcid.org/0000-0003-0344-024X
А.В. Фахретдинов, https://orcid.org/0000-0002-8975-9771
С.А. Николаенко, https://orcid.org/0000-0002-4545-9240

Для цитирования: Глазунов, В.А. и др., 2026. Динамика восстановления растительности на песчаном субстрате в северной тайге Западной Сибири (природный парк «Нумто», Ханты-Мансийский автономный округ – Югра). *Трансформация экосистем* **9** (4), 171–191. https://doi.org/10.23859/estr-250825

Поступила в редакцию: 25.08.2025
Принята к печати: 25.11.2025
Опубликована онлайн: 20.11.2026

DOI: https://doi.org/10.23859/estr-250825
EDN: https://elibrary.ru/atwrbi
UDC 528.88+574.42

Article

Dynamics of vegetation restoration on a sandy substrate in the northern taiga of Western Siberia (Numto Nature Park, Khanty-Mansi Autonomous Okrug – Yugra, Russia)

V.A. Glazunov*, A.V. Fakhretdinov, S.A. Nikolaenko

Institute of Problems of Northern Development, Tyumen Scientific Centre, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Malygina St. 86, Tyumen, 626026 Russia

**v_gl@inbox.ru*

Abstract. Restoring the vegetation in anthropogenically disturbed areas of northern Western Siberia is a pressing issue due to the large-scale development of oil and gas fields. Development of eroded sandy soil in the airport construction area near Numto settlement (Numto Nature Park, Western Siberia) is an example of manifestation of such disturbances. In 1993, 5.51 hectares of pine dwarf shrub-lichen forest on a sandy substrate were taken for the construction area. Since that time, the area experienced four stages of succession: (1) no vegetation, (2) moss, (3) dwarf shrub-moss, and (4) pine-dwarf shrub-moss-lichen. Thirty years after natural restoration has started, the share of the area without vegetation currently is less than 21%. Pioneer stage communities are formed by one species only, bog haircap moss *Polytrichum strictum.* At the next stage, dwarf shrubs (*Empetrum nigrum*) settle and sand hillocks are formed. More than 60% of the area is occupied by moss and dwarf shrub-moss communities. Vegetation develops most rapidly on the periphery of the area, where the tree layer of Scots pine *Pinus sylvestris* (4–8-m high) has formed, a lichen cover has appeared, and the community resembles the pristine one. According to the remote sensing spectral indicators, plant communities are gradually recovering in the disturbed area, amid a positive trend in surface air temperature and annual precipitation.

Keywords: anthropogenic transformation, remote sensing, overgrowing, succession, DI′, NDVI

Funding. The study was performed within the framework of the State Assignment for the Institute of Northern Development Problems of the Tyumen Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, no. FWRZ-2026-0022.

Acknowledgements. The authors express sincere gratitude to L.A. Matveeva, the Director of the Numto Nature Park, for her invaluable support. Special thanks go to the park staff for comprehensive assistance during the studies.

ORCID:
V.A. Glazunov, https://orcid.org/0000-0003-0344-024X
A.V. Fakhretdinov, https://orcid.org/0000-0002-8975-9771
S.A. Nikolaenko, https://orcid.org/0000-0002-4545-9240

To cite this article: Glazunov, V.A. et al., 2026. Dynamics of vegetation restoration on a sandy substrate in the northern taiga of Western Siberia (Numto Nature Park, Khanty-Mansi Autonomous Okrug – Yugra, Russia). *Ecosystem Transformation* **9** (4), 171–191. https://doi.org/10.23859/estr-250825

Received: 25.08.2025
Accepted: 25.11.2025
Published online: 20.11.2026

Введение

Одной из важных экологических проблем, связанных с масштабным освоением месторождений углеводородного сырья на севере Западной Сибири, является трансформация и деградация растительного покрова. Особого внимания требуют экосистемы, слабо устойчивые к антропогенному (в первую очередь механическому) воздействию: редкостойные северотаежные леса на песчаных почвах и верховые болотные комплексы на многолетнемерзлых породах. При этом изучению изменений растительного покрова под влиянием как климатических факторов, так и техногенных нарушений до настоящего времени уделялось недостаточное внимание, несмотря на продолжительный период наблюдений за состоянием многолетнемерзлых пород (Бобрик и др., 2015; Москаленко, 1999). Одним из широко распространенных типов антропогенной трансформации, связанной с добычей нефти и газа, является активизация эоловых процессов, в первую очередь на междуречных плоских и полого-увалистых равнинах и террасах, сложенных мелкими и пылеватыми песчаными грунтами. На этих участках появляются и увеличивают свою площадь песчаные раздувы, в пределах которых создаются максимально неблагоприятные условия для формирования растительного покрова. В подходящих литологических и ландшафтных условиях песчаные обнажения образуются даже при слабых техногенных нагрузках (Соромотин и Сизов, 2007). Имеется ряд работ, посвященных восстановлению растительности на нарушенных территориях в подзоне северной тайги, преимущественно на песчаных карьерах (Капитонова и др., 2017; Конева и Лащинский, 2014; Проскурякова, 2002; Сизов, 2025; Сизов и Лоботросова, 2016 и др.). Актуальными задачами остаются изучение характера и динамики восстановления растительности на таких участках, а также планирование на этой основе эффективных рекультивационных мероприятий, включая подбор ассортимента используемых видов растений.

Наиболее полную картину характера и скорости восстановления на нарушенных территориях можно получить при сочетании традиционных наземных методов мониторинга и данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), доступность которых резко увеличилась в последние десятилетия. Возрастающая роль методов ДЗЗ в изучении растительного покрова в целом и прежде всего в таких труднодоступных районах, как север Западной Сибири, связана с возможностью получения оперативного доступа к информации о наземном объекте, предоставляемой спутниковыми системами с различным разрешением для обширных территорий за разные промежутки

времени. Преимуществами использования ДЗЗ являются меньшие экономические затраты, чем при проведении полевых наземных работ, и возможность получения дополнительной экологической информации для изучаемой территории (Duguay et al., 2005).

Весьма информативным подходом при оценке динамики растительного покрова является применение методов управляемой классификации спутниковых снимков совместно с вегетационными индексами, что позволяет определять пространственное расположение границ растительных сообществ и отслеживать их изменения по площадным характеристикам и количественным данным о степени развития фитомассы (Воробьев и др., 2016). Согласно Д.А. Каверину с соавторами (2016), растительные сообщества на грунтах с разными геокриологическими условиями хорошо дифференцируются при использовании показателя NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) и индекса нарушенности DI (Disturbance Index). Проводятся исследования по детектированию изменения лесного покрова на основе подпиксельной разницы спектрально-отражательных свойств проективного покрытия древесного полога по данным разновременных снимков (Ховратович и др., 2019), задействованию радарных вегетационных индексов (DpRVI – Dual polarimetric Radar Vegetation Index) для оценки лесовосстановления (Дмитриев и др., 2024), выявлению рубок отдельных деревьев по теням на спутниковых изображениях сверхвысокого разрешения (Александин и др., 2019) и т.д. Большая вариативность дистанционных методов изучения трансформации растительного покрова позволяет проводить геоботанические наблюдения в условиях воздействия природных и техногенных деструктивных факторов.

В качестве объекта для изучения особенностей восстановления растительного покрова на песчаных субстратах выбрана площадка аэропорта у д. Нумто, строительство которого было начато в 1993 г. и заморожено после расчистки участка. В настоящее время эта территория расположена в границах природного парка окружного значения «Нумто», созданного в 1997 г. с целью сохранения окружающей природной среды как места проживания и ведения традиционной деятельности коренных малочисленных народностей Севера. Центральный элемент природного парка – оз. Нумто, относительно крупный по площади водоем, являющийся истоком р. Надым и имеющий важное экологическое, природоохранное и историко-культурное значение (Валеева и др., 2008).

Материалы и методы

Площадка под строительство аэропорта (для приема и отправки самолетов малой авиации) расположена в восточной части Белоярского района Ханты-Мансийского автономного округа – Югры, в 1 км юго-восточнее д. Нумто и берега оз. Нумто, на правом берегу р.Вошайеган, в подзоне северной тайги (координаты центральной части площадки: N 63.504195° E 71.362985°) (Рис. 1).

Изучение растительного покрова площадки проведено 27 июня 2001 г. и 31 августа 2024 г. В 2001 г. выполнено общее геоботаническое описание на площади 1.5×200 м и описания 10 площадок размером 20×50 см, расположенных вдоль трансекты, ориентированной с севера на юг, через каждые 2 м, попеременно с левой и правой сторон. Проективное покрытие оценивалось по 5-балльной шкале Браун-Бланке и в процентах (Александрова, 1969; Миркин и др., 1989): r – вид встречается очень редко, единичные экземпляры; + – <1%; 1 – 1–5%; 2 – 5–25%; 3 – 25–50%; 4 – 50–75%; 5 – >75%. Поскольку из-за большой погрешности в определении географических координат в 2001 г. установить точное расположение трансекты впоследствии не удалось, в 2024 г. выполнено 5 геоботанических описаний на стандартной площади в 100 м^2 на участках с различным характером зарастания вдоль западной границы площадки. Также проведено флористическое обследование всей площадки и заложено 2 геоботанических профиля: AB и CD. Профили заложены в северной части площадки на расстоянии 100 м друг от друга и пересекают ее с запада на восток (Рис. 2).

Номенклатура видов сосудистых растений приведена по WFO Plant List (Elliott et al., 2025); мохообразных – по N.G. Hodgetts et al. (2020); лишайников – по Н.В. Седельниковой (2017). Метеорологические параметры (приземная температура атмосферного воздуха, сумма осадков за год и по сезонам) приведены по данным ближайшей метеостанции Юильск (87 км ЗСЗ от участка исследования) за период 1993–2024 гг.[1]

[1] Погода и климат. Интернет-ресурс. URL: http://www.pogodaiklimat.ru/today/russia/khanty-mansiys-ao/yuilsk (дата обращения: 22.07.2025)



Рис. 1. Спутниковые снимки места расположения площадки (данные многозональной съемки Landsat 5, 8).

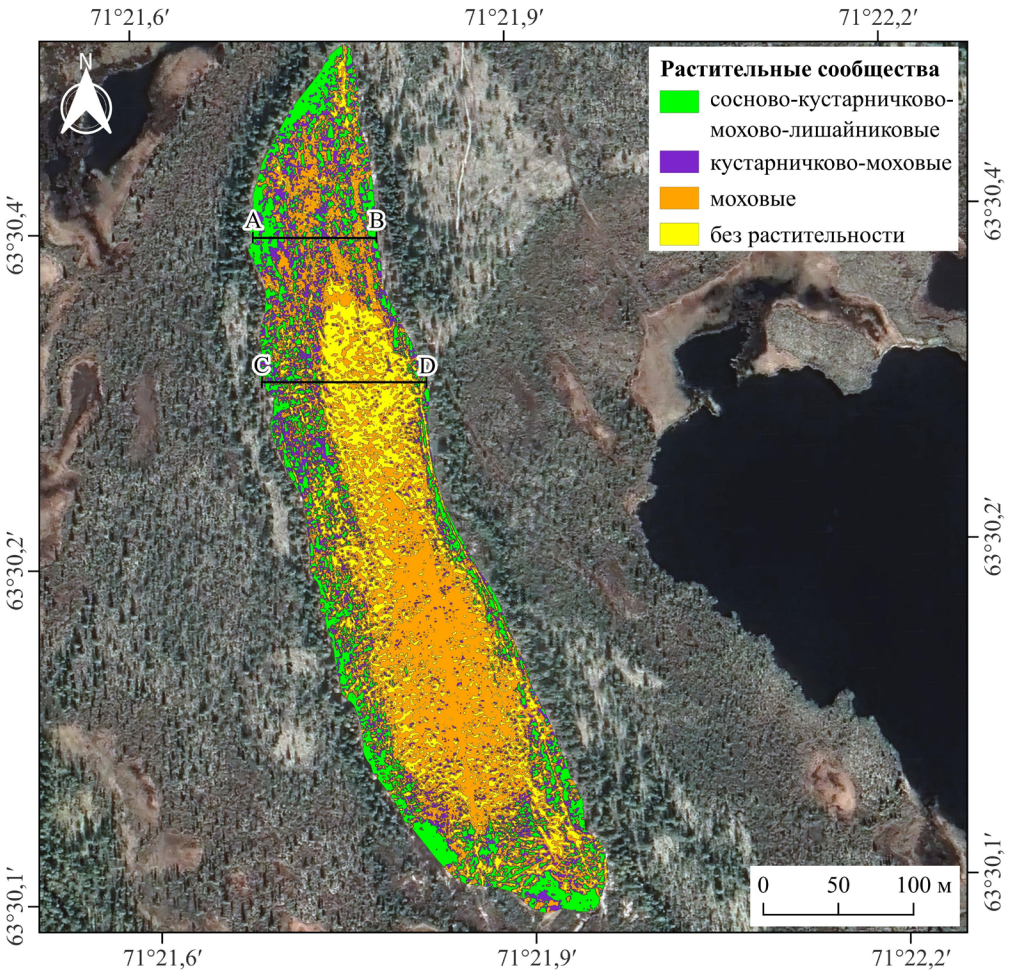

Рис. 2. Карта восстановления растительности на зарастающей площадке аэропорта у д. Нумто, 2024 г.: AB, CD – геоботанические профили.

Карта основных растительных сообществ в пределах площадки создана на основе управляемой классификации спутникового снимка WorldView-2 (пространственное разрешение 2 м/пиксель), относящегося к базе данных Esri World Imagery, в программном комплексе ENVI 5.2. Классифицирование включало следующие этапы: предварительная обработка спутникового снимка, формирование обучающих выборок с привлечением полевых наземных материалов, картографирование с использованием алгоритма «Minimum Distance» (MD), оценка степени достоверности. Векторизация, площадной анализ и оформление карты выполнены в QGIS 3.36.2[2].

Дистанционный анализ динамики восстановления растительного покрова проводился по материалам мультиспектральной спутниковой съемки Landsat 5–9 (пространственное разрешение 30м/пиксель) за 1993 г. (первые сведения о появлении площадки), 2001 г., 2013 г., 2024 г. на поздних стадиях вегетационного периода (начало – середина августа). Использован индекс нарушенности DI, отражающий спектральные признаки отсутствия лесной растительности и их различия с коренным древостоем ненарушенных участков (Healey et al., 2005). Данный индекс рассчитывается по соотношению масштабированныхвеличин трех ортогональных компонент (brightness (B) – «яркость», greenness (G) – «зеленость», wetness (W) – «влажность»), полученных при линейном преобразовании спутниковых снимков по методу Tasseled Cap (Crist and Cicone, 1984):

$$DI = B_r - (G_r + W_r),$$

где B_r, G_r и W_r – масштабированные величины brightness, greenness и wetness. Масштабирование проводится по следующим формулам:

$$B_r = (B - B_\mu)/B_\sigma,$$

$$G_r = (G - G_\mu)/G_\sigma,$$

$$W_r = (W - W_\mu)/W_\sigma,$$

где B, G и W – значения пикселей, B_μ, G_μ и W_μ – средние значения ненарушенного леса, B_σ, G_σ и W_σ – их стандартные отклонения.

Использование масштабированных величин при подсчете индекса позволяет эффективно отслеживать изменения лесной растительности и минимизирует влияние сезонных изменений (Hilker et al., 2009; Masek et al., 2008). Нарушенные участки идентифицируются по более высоким значениям «яркости» и низким значениям «зелености» и «влажности» (Baumann et al., 2014):

Интенсивное самовосстановление с неоднородным растительным покровом может искажать значения DI (Rogan and Mietkiewicz, 2015). Поэтому в нашем исследовании применялся измененный индекс DI′, особенностью которого является удаление из формулы «зеленой» компоненты:

$$DI' = W_r - B_r$$

Измененный индекс обладает повышенной точностью за счет высокой чувствительности к дискретным нарушениям растительности (вырубки, буреломы и т.п.) (Hais et al., 2009). Для удобства анализа полученные значения индекса переводились в положительные значения.

Пространственно-временные изменения количества фотосинтетически активной биомассы на нарушенных участках отслеживались по значениям нормализованного разностного вегетационного индекса NDVI[3]. Комбинированное использование NDVI и DI успешно применялось в ряде исследований (Елсаков, 2014; Каверин и др., 2016; Zhao et al., 2023. Количественные значения всех индексов в тексте представлены в виде среднего значения для площадки ± стандартное отклонение.

[2] Qgis. Интернет-ресурс. URL: https://qgis.org/ (дата обращения: 11.06.2025).

[3] Gis-lab. Интернет-ресурс. URL: https://gis-lab.info/qa/ndvi.html?ysclid=ln1lbsrjpo707462178 (дата обращения: 21.07.2025).

Результаты и обсуждение

Расчистка площадки под аэропорт на месте соснового лишайникового леса с полным уничтожением растительного покрова была проведена в 1993 г., затем строительство было приостановлено; в 1997 г. на территории оставалась строительная техника, которая позднее была вывезена. Участок площадью 5.51 га имеет трапециевидную форму, ориентирован с северо-запада на юго-восток, в длину составляет 480–585 м, в ширину 75–120 м (Рис. 1, 2). К площадке примыкают участки соснового кустарничково-лишайникового леса, с северо-западной и восточной сторон расположены озерно-болотные комплексы. На всем протяжении существования участок практически не подвергался дополнительному антропогенному воздействию. Эпизодически в летнее время используется местным населением для транзитного проезда на снегоходах.

Растительные сообщества по данным наземных наблюдений

В ходе наблюдений установлено, что зарастание площадки происходит пионерными видами мхов и кустарничков; наиболее активно процесс идет по периферии площадки, на участках, граничащих с лесоболотной растительностью. При сравнении спутниковых снимков середины 1990-х и 2020-х гг. можно заметить значительное увеличение общей площади, занимаемой различными группировками растительности, и уменьшение границ песчаной поверхности (Рис. 1). Это подтверждается также результатами геоинформационного анализа – дешифрируемая область нарушений сократилась на 23%.

Быстрому зарастанию площадки препятствуют процессы ветровой эрозии, вследствие которых происходит вынос песка с незадернованных участков. На участках, закрепленных корневой системой кустарничков (водяники), песок сохраняется и задерживается, что приводит к формированию своеобразного микрорельефа из бугров диаметром 1–2 м, чередующихся с понижениями без растительного покрова или только с пятнами мха.

Полевые наблюдения и анализ геоботанических описаний позволяют сделать вывод об успешном процессе самовосстановления растительности на зарастающей площадке. Процесс зарастания идет в направлении от периферии к центру, преимущественно с запада на восток, что, по всей видимости, связано с преобладающим в течение года направлением ветра. В зарастании площадки принимает участие очень ограниченное число видов растений местной флоры, устойчивых к экстремальным экологическим условиям (недостаточному увлажнению и перемещению песчаного субстрата): в 2001 г. выявлено 18 видов (16 – сосудистых растений, 1 – лишайников и 1 – мохообразных), а в 2024 г. – лишь 14 видов (8 – сосудистых растений, 5 – лишайников и 1 – мохообразных). Чужеродные виды отсутствуют. Для удобства сравнения геоботанические описания сведены в общие таблицы (Табл. 1, 2). Флористическое обследование всей площадки в 2024 г. не выявило дополнительных видов, не попавших в геоботанические описания (Табл. 2).

На основе спутниковых снимков и наземных наблюдений 2024 г. подготовлена карта растительности (Рис. 2) и выделено 4 стадии зарастания площадки (Рис. 3):

1) Песчаный субстрат без растительного покрова – 1.15 га (20.9% общей площади);
2) Моховая – 2.36 га, 42.9% (Рис. 3**A**);
3) Кустарничково-моховая – 1.01 га, 18.2% (Рис. 3**B**);
4) Сосново-кустарничково-мохово-лишайниковая – 0.99 га, 18.0% (Рис. 3**C**, **D**).

Пионерная растительность на песчаном субстрате представлена одним видом мха – *Polytrichum strictum*, формирующим пятна в незначительных повышениях микрорельефа в виде плоских бугров до 15–20 см высотой (Рис. 3**A**). Пятна мха постоянно находятся под воздействием перемещающегося песка, в результате чего доля площади участков без растительного покрова меняется. К настоящему времени это самая обширная по площади стадия, занимающая почти 43% общей площади. Наблюдения других исследователей на аналогичных территориях показывают, что большую роль в закреплении песка на ранних стадиях зарастания играет еще один вид мха – *P. piliferum* Hedw. (Капитонова и др., 2017; Конева и Лащинский, 2014). Вероятно, преобладание того или иного вида обусловлено его наличием на прилегающих территориях и влажностью местообитания. На примере песчаных карьеров показано, что *P. strictum* является одним из пионерных видов зарастания увлажненных понижений (Сизов и Лоботросова, 2016).

Сообщества следующей стадии сукцессии формируются благодаря поселяющимся на буграх кустарничкам (преобладает *Empetrum nigrum*, изредка с участием *Vaccinium vitis-idaea* и *Rhododendron tomentosum*), которые закрепляют песчаный субстрат. В результате этого образуются более высокие (до 40–50 см и выше) бугры, покрытые кустарничковой и кустарничково-мохо-

Табл. 1. Геоботанические описания зарастающих площадок (1–10), 27.06.2001 г.

№	Вид	Общее покрытие, баллы	Покрытие по площадкам 20 × 50 см вдоль трансекты, баллы									
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	*Betula nana* L.	2										
2	*Betula pubescens* Ehrh.	2										
3	*Pinus sibirica* Du Tour	1										
4	*Pinus sylvestris* L.	1										
5	*Sorbus aucuparia* L. subsp. *glabrata* (Wimm. & Grab.) Hedl.	1										
6	*Carex globularis* L.	2										
7	*Carex rotundata* Wahlenb.	1										
8	*Carex* sp.	1										
9	*Epilobium angustifolium* L.	1–3										
10	*Empetrum nigrum* L.	3			2			3			2	
11	*Eriophorum angustifolium* Honck. subsp. *angustifolium*	1										
12	*Eriophorum scheuchzerii* Hoppe	1										
13	*Rhododendron tomentosum* Harmaja	2										
14	*Vaccinium myrtillus* L.	1										
15	*Vaccinium uliginosum* L.	1										
16	*Vaccinium vitis-idaea* L.	5		1	2	2		2	1		2	1
17	*Cladonia stellaris* (Opiz) Pouzar & Vězda	1										
18	*Polytrichum strictum* Menzies ex Brid.	3–5	2	3	3	2	3			1	2	4
	Всего	**18**	**1**	**2**	**3**	**2**	**1**	**2**	**1**	**1**	**3**	**2**

Табл. 2. Геоботанические описания зарастающих площадок (1–5), 31.08.2024 г.

№	Вид	Покрытие, баллы (в скобках – покрытие в %); для деревьев и кустарников указана высота				
		1	2	3	4	5
1	*Betula nana* L.			1		
2	*Betula pubescens* Ehrh.	2 м	1–4 м	1–4 м		
3	*Pinus sibirica* Du Tour	0.5 м	0.2 м			
4	*Pinus sylvestris* L.	5–7 м	1.5–8 м	1.5–6 м	2–4 м	0.8 м
5	*Empetrum nigrum* L.	2 (15)	2 (10)	2 (20)	3 (35)	2 (15)
6	*Rhododendron tomentosum* Harmaja	+ (< 1)	1 (1)	1 (< 5)	1 (5)	
7	*Vaccinium uliginosum* L.			1 (1)	R (< 1)	
8	*Vaccinium vitis-idaea* L.	1 (5)	1 (5)	1 (< 5)	1 (5)	1 (1)
9	*Polytrichum strictum* Menzies ex Brid.	1 (5)	4 (60)		2 (15)	2 (15)
10	*Cladonia coccifera* (L.) Willd.		1 (< 5)	1 (< 5)	+ (< 1)	
11	*Cladonia deformis* (L.) Hoffm.			2 (20)	1 (5)	
12	*Cladonia stellaris* (Opiz) Pouzar & Vězda	1 (< 5)	1 (5)	1 (< 5)		
13	*Cladonia uncialis* (L.) Weber ex F.H. Wigg.		+ (< 1)		1 (< 5)	
14	*Flavocetraria nivalis* (L.) Kärnefelt et Thell	+ (< 1)	1 (1)	1 (1)	1 (1)	
	Всего	**9**	**11**	**11**	**10**	**4**

вой растительностью, чередующиеся с менее высокими «моховыми» буграми и участками без растительности (Рис. 3**B**). На роль *Empetrum nigrum* в закреплении песков указывалось и ранее (Конева и Лащинский, 2014), однако отмечено, что образование песчаных бугров, покрытых водяникой – нечастое явление. Строение и формирование подобных «водяниковых» бугров на песчаных отложениях в условиях Субарктики детально изучено на территории Кольского Севера (Захарченко и др., 2010).

Закрепление песчаного субстрата мхом и кустарничками создает условия для поселения травянистых растений и семенного возобновления древесных пород. На сформировавшихся буграх, расположенных ближе к периферийной части площадки, и между ними поселяется *Pinus sylvestris*, появляются пятна лишайников, увеличивается видовое разнообразие и степень проективного покрытия травяно-кустарничкового и мохово-лишайникового ярусов (Рис. 3**C**). Высота деревьев на площадке колеблется в пределах от 0.5 м в центральной части до 2(4) м – в периферийной.

Ближе к границам площадки, особенно в западной части, расположены участки, занимаемые сформировавшимися сосново-кустарничково-мохово-лишайниковыми сообществами (Рис. 3**D**). Распределение их по площадке, по всей видимости, обусловлено преобладанием ветров западного и юго-западного направлений в течение года. Высота деревьев здесь достигает 7–8 м, преобладает *Pinus sylvestris*, появляется *Betula pubescens* высотой от 1 до 4 м и, изредка, *Pinus sibirica* высотой не более 0.2 м. Основу кустарничкового яруса составляют *Empetrum nigrum* (доминирует), *Rhododendron tomentosum*, *Vaccinium vitis-idaea* с участием *V. uliginosum* (не более 1%). По границе площадки может встречаться *Betula nana*. Проективное покрытие мохового-лишай-

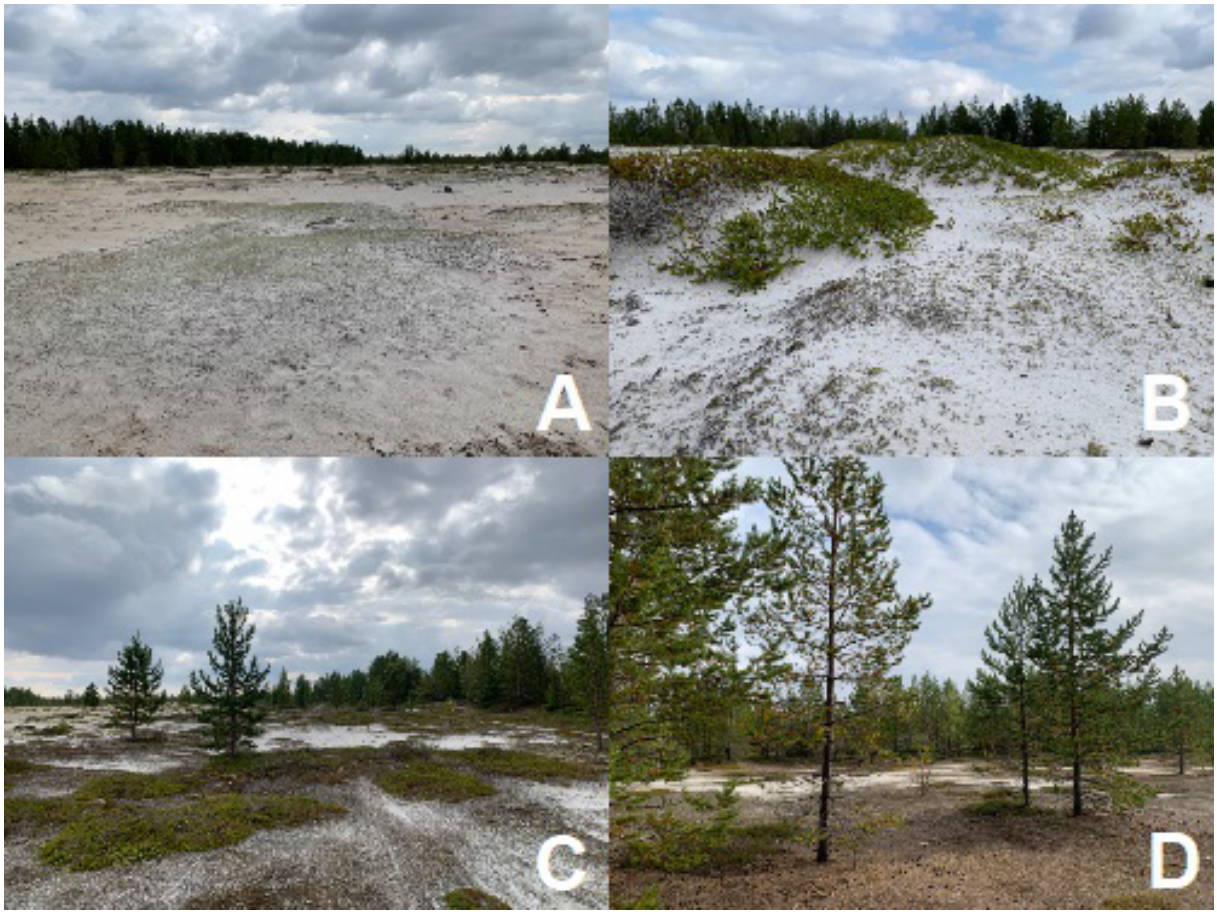

Рис. 3. Стадии зарастания площадки: **A** – пятна *Polytrichum strictum*; **B** – кустарничково-моховая и моховая растительность с бугристым микрорельефом; **C** – кустарничково-моховая растительность с единичными соснами; **D** – сформировавшееся сосново-кустарничково-мохово-лишайниковое сообщество в периферийной части площадки.

никового яруса достигает 70–75%; они имеет мозаичную структуру с различным соотношением видов, *Polytrichum strictum* занимает от 5 до 60%. Лишайники представлены несколькими видами, характерными в том числе и для оголенных субстратов: *Cladonia deformis*, *C. coccifera*, *C. uncialis*, *Flavocetraria nivalis*. Подобные сообщества с древесным ярусом из *Pinus sylvestris* и кустарничково-моховым покровом (*Vaccinium vitis-idaea*, *Polytrichum strictum*) в северной тайге Западной Сибири формируются на склонах зарастающих песчаных карьеров (Сизов и Лоботросова, 2016).

Геоботанический профиль AB длиной 85 м расположен в северной части площадки, где практически отсутствуют участки без растительности. С западной стороны, у границы с ненарушенными лесоболотными фитоценозами, растительность представлена березово-сосново-кустарничково-мохово-лишайниковым сообществом с высотой древесного яруса до 7–8 м (Рис. 4, Табл. 2, описания площадок 1, 2). Напочвенный покров кустарничково-мохово-лишайниковый с участием *Betula nana*, *Rhododendron tomentosum*, *Vaccinium vitis-idaea*. По направлению к центральной части площадки древесный ярус становится все более разреженным, береза в нем отсутствует, высота сосны – от 2 до 4 м, из кустарничков доминирующим видом становится *Empetrum nigrum* (на невысоких буграх), участие лишайников сокращается (Табл. 2, описание площадки 4). В центральной части высота «водяниково-моховых» бугров увеличивается до 50 см, сосна высотой не более 1 м встречается единично. У восточной границы площадки растительность по составу и структуре близка к таковой у западной границы, но с меньшей высотой древесного яруса из сосны (не более 4 м) и практически полным отсутствием лишайников в напочвенном покрове.

Профиль CD длиной 110 м расположен южнее, его периферийные участки аналогичны профилю AB (с восточной стороны – в виде узкой полосы около 10 м шириной), но практически на всей центральной части протяженностью около 80 м древесный ярус не развит, преобладают невысокие плоские бугры с моховой (из *Polytrichum strictum*) растительностью, чередующиеся с

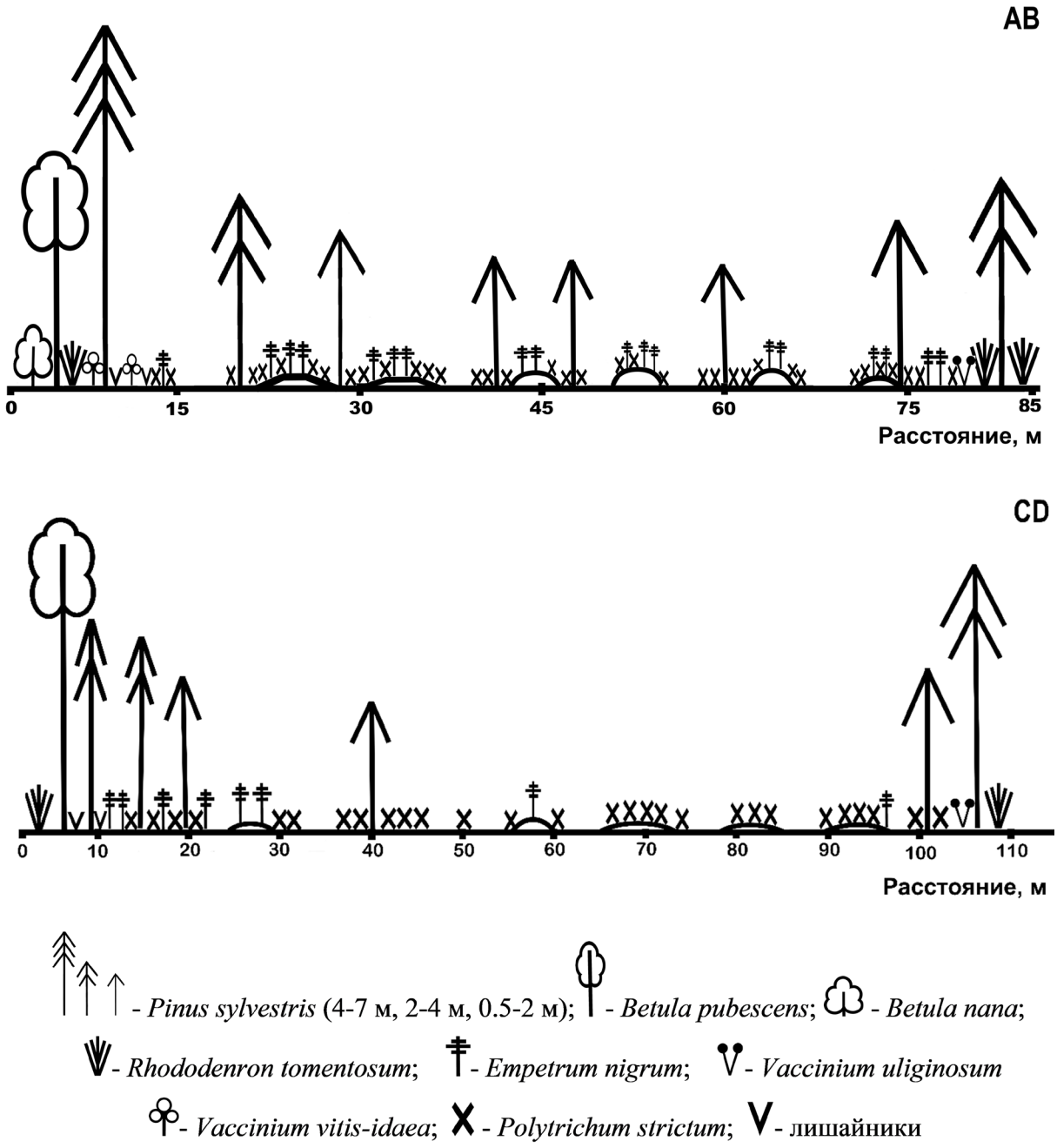

Рис. 4. Геоботанические профили на зарастающей площадке.

участками голого песка. Более высокие бугры с *Empetrum nigrum* встречаются единично, в основном на границе с сосново-кустарничково-мохово-лишайниковой растительностью.

При сравнении данных 2001 и 2024 гг. можно выделить два направления формирования растительного покрова на зарастающей площадке: значительное увеличение общей площади, занимаемой различными группировками растительности, и снижение разнообразия видов, участвующих в формировании пионерной флоры (Табл. 1, 2). Метеоусловия 2001–2002 гг. отличались высокими суммами осадков и низкими температурами воздуха как в целом за год, так и за летний период (Табл. 3), что способствовало развитию на площадке мезо- и гигрофитных видов растений, впоследствии исчезнувших в более засушливые годы с минимумом осадков и высокой температурой (2006–2009 гг.) при общем снижении уровня грунтовых вод и обмелении оз. Нумто (Московченко, 2017). В 2024 г. не отмечены *Sorbus aucuparia* subsp. *glabrata*, *Epilobium angustifolium*, а также ряд видов, характерных для более увлажненных субстратов: *Carex globularis*, *C. rotundata*, *Eriophorum angustifolium*, *E. scheuchzerii*, *Vaccinium myrtillus* (Табл. 1). В настоящее время эти виды встречаются только на прилегающей территории, однако не исключено их повторное появление на зарастающей площадке в годы с более влажными погодными условиями. Существенно снизилось участие *Vaccinium vitis-idaea*, увеличилось разнообразие и площадь покрытия лишайниками на участках со сформировавшимся древесным ярусом. Растительность в целом в настоящее время имеет более ксерофитный характер. В пределах изученной площадки не зарегистрированы травянистые виды растений, характерные для начальных стадий сукцессий на песчаном субстрате как в аналогичных (*Calamagrostis epigejos* (L.) Roth), так и в более влажных (*Oreojuncus trifidus* (L.) Záv.Drábk. & Kirschner) местообитаниях лесотундры и северной тайги. *Calamagrostis epigejos* – палеарктический лесной и луговой вид, широко распространенный по нарушенным местообитаниям. *Oreojuncus trifidus* – арктоальпийский вид, в естественных северотаежных сообществах не встречающийся, но проявляющий высокую активность на нарушенных песчаных субстратах (Капитонова и др., 2017; Конева и Лащинский, 2014).

С учетом продолжающегося освоения нефтяных месторождений в южной и центральной частях природного парка «Нумто» (ближайшие объекты нефтедобычи в настоящее время расположены на расстоянии 20–30 км) и строительства в д. Нумто, в ближайшее время в пределах площадки возможно появление чужеродных видов растений, активно распространяющихся по нарушенным местообитаниям (Глазунов и Николаенко, 2025).

Табл. 3. Значения метеопараметров и их линейные тренды за период 1993–2024 гг. в районе расположения площадки. Прочерк означает отсутствие данных.

Год	Приземная температура атмосферного воздуха, °C					Сумма осадков, мм				
	зима	весна	лето	осень	за год	зима	весна	лето	осень	за год
1993	–18.3	–5.70	15.5	–4.70	–3.30	–	–	–	–	–
2001	–24.9	–3.67	14.0	–3.90	–4.10	79	187	243	137	660
2013	–21.6	–6.17	15.1	–1.23	–3.00	71	99	169	177	547
2024	–19.4	–6.37	15.4	1.00	–1.70	80	137	194	98	515
				Линейный тренд						
1993–2024	0.08	0.07	0.05	0.09	0.07	0.8	2.18	1.21	0.11	4.18

Изменение растительного покрова по данным ДЗЗ

Восстановление растительного покрова на площадке аэропорта за последние три десятка лет, согласно значениям DI′, не отличается высокими темпами. Закономерное снижение индекса наблюдается лишь с 2001 г. (Рис. 5), когда была отмечена сравнительно меньшая степень увлажнения по сравнению с годом создания площадки (показатель «влажности» составил −11.4 ± 2.55 в 1993 г. и −13.3 ± 2.85 в 2001 г.). Это повлияло на значение индекса, несмотря на максимальную величину показателя «яркости» в начале рассматриваемого периода (16.1 ± 4.05 в 1993 г. и 14.8 ± 3.73 в 2001 г.). Небольшое изменение индекса за исследуемый период может быть связано с малыми спектральными различиями поверхности нарушенной площадки и прилегающей редкостойной сосновой лишайниковой растительности. Согласно S.P. Healey et al. (2005), более явный контраст между значениями характерен для участков с преобладанием темнохвойных пород.

Пространственно-временной анализ DI′ показывает, что растительный покров быстрее развивается на периферийных участках, граничащих с естественными растительными сообществами. Так, на Рис. 6 видно, что к 2024 г. индекс снижается в краевых частях площадки, что соответствует появлению большего числа пикселей в зеленых и синих оттенках цвета.

Обратную тенденцию демонстрирует NDVI с минимальным значением в 2001 г. (0.13 ± 0.02) и максимальным в 2024 г. (0.23 ± 0.07). Наблюдается отрицательная высокая корреляционная связь между DI′ и NDVI ($r \geq -0.97$ при $p < 0.05$). Немного более благоприятные условия развития растительности по сравнению с 2021 г. отмечались в 1993 г. (0.14 ± 0.01), что подтверждается также при анализе компоненты «зеленость» (−5.66 ± 0.83 в 1993 г. и −14 ± 2.7 в 2001 г.). Изменение NDVI во многом обусловлено варьированием среднегодовой приземной температуры атмосферного воздуха ($r = 0.96$ при $p < 0.05$), однако летняя температура в меньшей степени влияет на изменчивость вегетационного индекса ($r = 0.50$). По данным значений NDVI отмечается положительная динамика коренной лесной растительности, прилегающей к площадке, с первого рассматриваемого года (0.46 ± 0.07 в 1993 г., 0.52 ± 0.07 в 2001 г., 0.57 ± 0.04 в 2013 г., 0.62 ±

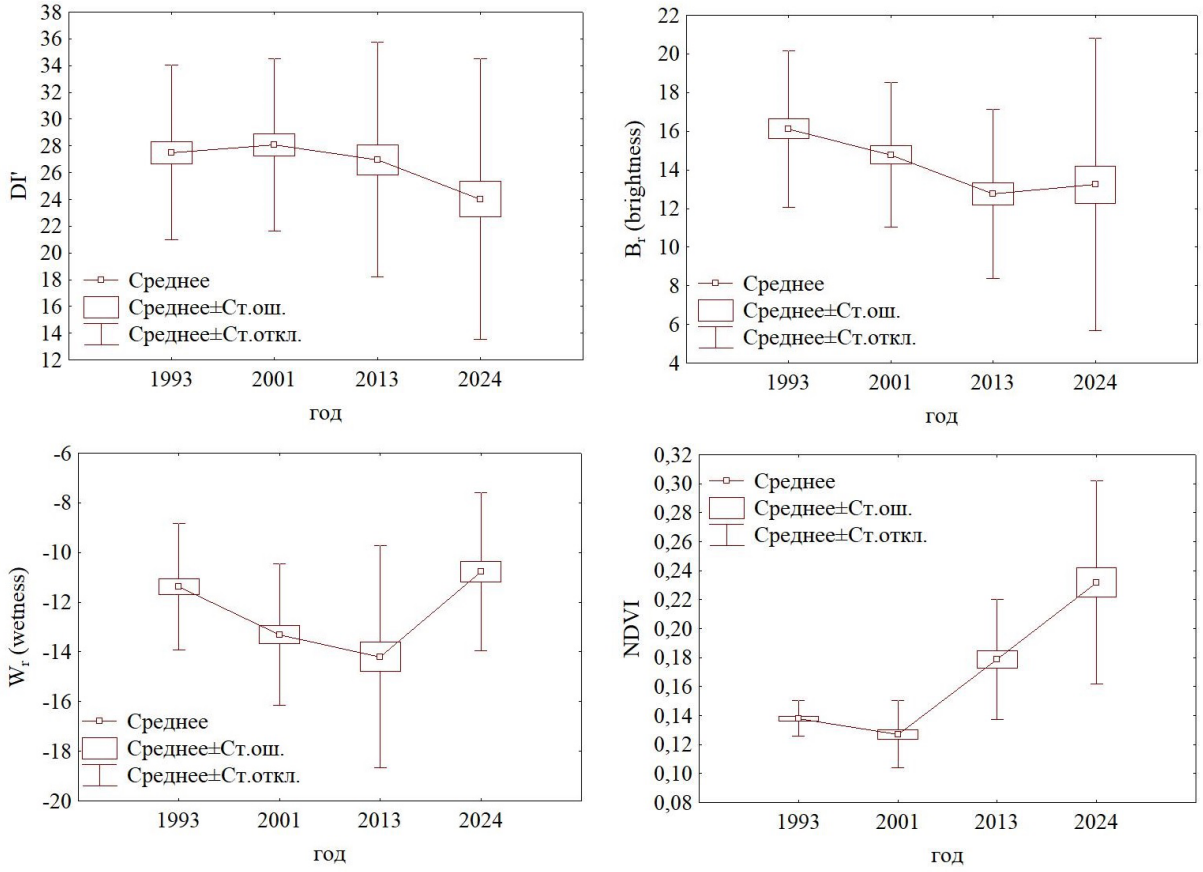

Рис. 5. Статистические параметры спектральных показателей растительного покрова.

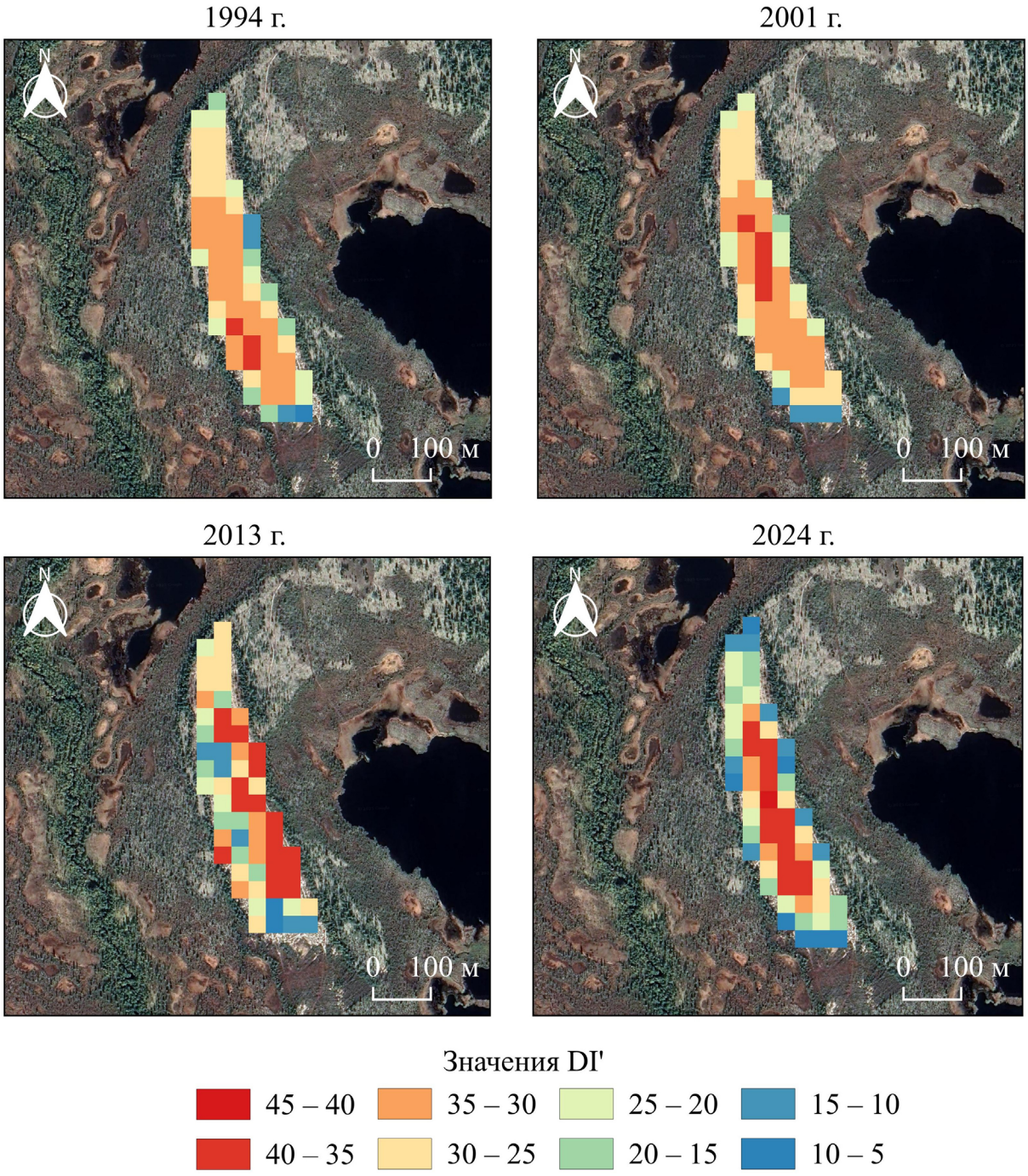

Рис. 6. Изменения значений DI′ на исследуемой площадке за период 1993–2024 гг.

0.06 в 2024 г.). Такая тенденция согласуется с выводами о возрастании вегетационного индекса, полученными в ряде работ по таежной зоне Западной Сибири (Ботвич и др., 2023; Титкова и Виноградова, 2019; Фахретдинов, 2023). Кроме этого, карты трендов $NDVI_{max}$ (Miles and Esau, 2016) свидетельствуют о том, что данный район относится к немногочисленным территориям региона, где наблюдается рост индекса (≈ 10%).

В целом анализ спектральных показателей выявил улучшение условий произрастания растительного покрова на нарушенной площадке на фоне положительного тренда приземной температуры атмосферного воздуха и сумм осадков во все периоды года. Однако самозарастание сопровождается высокой пространственной неоднородностью растительных сообществ, на что указывает увеличение стандартного отклонения во второй половине исследуемого периода (Рис. 5). Схожие результаты получены при исследовании сукцессии растительности на примере сухоройных песчаных карьеров в северотаежной подзоне Западной Сибири (Сизов, 2025), где было показано, что участки лишайниковых редколесий существенно различаются по объему фитомассы, а уменьшение NDVI прямо связано со снижением густоты лесного покрова.

Заключение

Изучение растительного покрова на площадке аэропорта у д. Нумто показало, что на протяжении 30 лет с момента расчистки территории и появления открытого песчаного субстрата достаточно успешно идут процессы самовосстановления. К 2024 г. суммарная доля участков без растительности составляет менее 21%. Выделено 4 стадии зарастания песчаного субстрата: без растительности, моховая, кустарничково-моховая, сосново-кустарничково-мохово-лишайниковая. Доминирующим пионерным видом является *Polytrichum strictum*, формирующий пятна различного размера в повышениях микрорельефа; моховые сообщества занимают в настоящее время более 42% от общей площади. Более активному зарастанию препятствует ветровая эрозия, вследствие которой происходит вынос и перемещение песка с незадернованных участков.

Следующая стадия связана с закреплением на песке кустарничков, преимущественно *Empetrum nigrum*, и формированием более высоких бугров с кустарничковой и кустарничково-моховой растительностью. Затем на буграх и рядом с ними поселяются древесные породы (*Pinus sylvestris*, редко *Betula pubescens*), появляются лишайники, увеличивается видовое разнообразие и проективное покрытие травяно-кустарничкового и мохово-лишайникового ярусов. Видовой состав сообществ первичных стадий зарастания определяется окружающими лесоболотными сообществами естественной растительности и насчитывает небольшое число видов (от 1 до 11 на 100 м^2) сосудистых растений, мохообразных и лишайников, способных произрастать в экстремальных условиях недостаточного увлажнения на песчаном субстрате. Мезо- и гигрофитные растения, появившиеся на площадке в относительно влажные и прохладные годы (*Carex globularis*, *C. rotundata*, *Epilobium angustifolium*, *Eriophorum angustifolium*, *E. scheuchzerii*, *Vaccinium myrtillus*), впоследствии, в более засушливых условиях, исчезли из состава растительных сообществ.

На периферийных участках площадки формируются сосново-кустарничково-мохово-лишайниковые сообщества с разреженным древесным ярусом высотой до 6–8 м. По флористическому составу и структуре они близки к естественному исходному сосновому кустарничково-лишайниковому лесу и занимают к настоящему времени лишь 18% общей площади.

Результаты наземных геоботанических наблюдений подтверждаются анализом спектральных показателей на спутниковых снимках: слабая тенденция восстановления древесных пород прослеживается по малой отрицательной величине тренда DI′ и возрастанию значений NDVI. Более полную информацию при анализе DI′ дает рассмотрение динамики отдельных компонент данного индекса (Brightness и Wetness). В целом условия произрастания растительности улучшаются при положительном тренде приземной температуры атмосферного воздуха и сумм осадков во все периоды года, однако фиксируемое количество фотосинтетически активной биомассы в настоящее время ниже фоновых значений. Скорость восстановления растительности выше на участках, граничащих с естественными лесными и болотными фитоценозами.

Список литературы

Александрова, В.Д., 1969. Классификация растительности. Обзор принципов классификации и классификационных схем в разных геоботанических школах. Наука, Ленинград, СССР, 275 с.

Алексанин, А.И., Ким, В., Морозов, М.А., Фомин, Е.В., 2019. Обнаружение рубок отдельных деревьев по теням на основе снимков прибора «Геотон» спутника «Ресурс-П». *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса* **16** (5), 174–182. http://www.doi.org/10.21046/2070-7401-2019-16-5-174-182

Бобрик, А.А., Гончарова, О.Ю., Матышак, Г.В., Рыжова, И.М, Москаленко, Н.Г., Пономарева, О.Е., Огнева, О.А., 2015. Взаимосвязь геокриологических условий и гидротермических параметров почв плоскобугристых торфяников севера Западной Сибири (стационар Надым). *Криосфера Земли* **19** (4), 31–38.

Ботвич, И.Ю, Высоцкая, Г.С., Иванов, С.А., Письман, Т.И, Шевырногов, А.П., 2023. Динамика трендов NDVI растительности Западной Сибири в условиях климатических изменений (по спутниковым данным). *Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Техника и технологии* **16** (2), 244–251.

Валеева, Э.И., Московченко, Д.В., Арефьев, С.П., 2008. Природный комплекс парка «Нумто». Наука, Новосибирск, Россия, 280 с.

Воробьев, О.Н., Курбанов, Э.А., Полевщикова, Ю.А., Лежнин, С.А., 2016. Оценка динамики и нарушенности лесного покрова в Среднем Поволжье по снимкам Landsat. *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса* **3** (4), 124–134.

Глазунов, В.А., Николаенко, С.А., 2025. Чужеродные виды растений природного парка «Нумто» (Западная Сибирь) и пути их проникновения. *Сборник материалов Международной научной конференции «Фундаментальные и прикладные аспекты исследований биологических инвазий».* Минск, Беларусь, 40–41.

Дмитриев, А.В., Кирбижекова, И.И., Чимитдоржиев, Т.Н., 2024. Анализ возможности применения радарного индекса DpRVI для оценки лесовосстановления. *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса* **21** (5), 173–187. http://www.doi.org/10.21046/2070-7401-2024-21-5-173-187

Елсаков, В.В., 2014. Визуализация данных климатических изменений растительных сообществ мезенской и Канинской тундр по материалам спутниковых съёмок. *Теоретическая и прикладная экология* **1**, 83–86.

Захарченко, А.В., Изерская, Л.А., Цынарева, Л.К., Тучак, В.Н., 2010. Биогенное почвообразование под минеральными кочками *Empetrum nigrum* в псевдофибровых подзолах. *Вестник Томского государственного университета. Биология* **4** (12), 5–20.

Каверин, Д.А., Кулюгина, Е.Е., Шахтарова, О.В., Щанов, В.М., 2016. Влияние растительного покрова на глубину сезонного протаивания в тундровых почвах предгорных ландшафтов кряжа Пай-Хой (юго-запад Югорского полуострова). *Криосфера Земли* **20** (4), 69–78.

Капитонова, О.А., Селиванов, А.Е., Капитонов, В.И., 2017. Структура растительных сообществ начальных стадий сукцессий на антропогенных песчаных обнажениях лесотундры и северной тайги Западной Сибири. *Сибирский экологический журнал* **24** (6), 731–745. http://www.doi.org/10.15372/SEJ20170606

Конева, В.В., Лащинский, Н.Н., 2014. Сообщества *Cladonia oxneri* Rass. на техногенных раздувах в северной тайге Западной Сибири. *Turczaninowia* **17** (1), 77–82.

Миркин, Б.М., Розенберг, Г.С., Наумова, Л.Г., 1989. Словарь понятий и терминов современной фитоценологии. Наука, Москва, СССР, 223 с.

Москаленко, Н.Г., 1999. Антропогенная динамика растительности равнин криолитозоны России. Наука, Новосибирск, Россия, 280 с.

Московченко, Д.В., 2017. Гидрография и гидрологический режим. В: Московченко, Д.В. (ред.), *Парк «Нумто»: природа и историко-культурное наследие*. ОАО «Сургутнефтегаз», РИИЦ «Нефть Приобья», Сургут, Россия, 9–11.

Проскурякова, О.Б., 2002. Закономерности восстановления продуцентов нарушенных экосистем севера Западной Сибири. *Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата биологических наук*. Тюмень, Россия, 23 с.

Седельникова, Н.В., 2017. Видовое разнообразие лихенобиоты Западной Сибири и оценка участия видов лишайников в основных ее горных и равнинных фитоценозах. Гео, Новосибирск, Россия, 611 с.

Сизов, О.С., 2025. Динамика зарастания сухоройных песчаных карьеров в северо-таежных условиях Западной Сибири за период с 1985 по 2021 гг. *Географическая среда и живые системы* **1**, 41–52. http://www.doi.org/10.18384/2712-7621-2025-1-41-52

Сизов, О.С., Лоботросова, С.А., 2016. Особенности восстановления растительности в пределах участков развеваемых песков северотаежной подзоны Западной Сибири. *Криосфера Земли* **20** (3), 3–13.

Соромотин, А.В., Сизов, О.С., 2007. Активизация эоловых процессов на севере Западной Сибири в связи с возросшим антропогенным воздействием. *Эволюция и динамика геосистем* **4**, 12–15.

Титкова, Т.Б., Виноградова, В.В., 2019. Изменения климата в переходных природных зонах севера России и их проявление в спектральных характеристиках ландшафтов. *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса* **16** (5), 310–323. http://www.doi.org/10.21046/2070-7401-2019-16-5-310-323

Фахретдинов, А.В., 2023. Современная динамика растительности полярных и приполярных районов Западной Сибири по данным дистанционного зондирования Земли. *Известия Русского географического общества* **155** (3–4), 136–144. http://www.doi.org/10.31857/S0869607123030059

Ховратович, Т.С., Барталев, С.А., Кашницкий, А.Б., 2019. Метод детектирования изменений лесов на основе подпиксельной оценки проективного покрытия древесного полога по разновременным спутниковым изображениям. *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса* **16** (4), 102–110. http://www.doi.org/10.21046/2070-7401-2019-16-4-102-110

Baumann, M., Ozdogan, M., Wolter, P.T., Krylov, A., Vladimirova, N., Radeloff, V.C., 2014. Landsat remote sensing of forest windfall disturbance. *Remote Sensing of Environment* **143**, 171–179. http://www.doi.org/10.1016/j.rse.2013.12.020

Crist, E.P., Cicone, R.C., 1984. A physically-based transformation of Thematic Mapper data-the TM Tasseled Cap. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* **22**, 256–263.

Duguay, C.R., Zhang, T., Leverington, D.W., Romanovsky, V.E., 2005. Satellite remote sensing of permafrost and seasonally frozen ground. *Geophysical Monograph Series* **163**, 91–118. http://www.doi.org/10.1029/163GM06

Elliott, A., Hyam, R., Watson, M., Wrankmore, E., Hartley, H. et al., 2025. World Flora Online Plant List June 2025 (2025-06). Data set (дата обращения: 30.06.2025). https://doi.org/10.5281/zenodo.15704590

Hais, M., Jonášová, M., Langhammer, J., Kučera, T., 2009. Comparison of two types of forest disturbance using multitemporal Landsat TM/ETM+ imagery and field vegetation data. *Remote Sensing of Environment* **113** (4), 835–845. http://www.doi.org/10.1016/j.rse.2008.12.012

Healey, S.P., Healey, S.P., Cohen, W.B., Zhiqiang, Y., Krankina, O.N., 2005. Comparison of tasseled cap-based Landsat data structures for use in forest disturbance detection. *Remote Sensing of Environment* **97** (3), 301–310. http://www.doi.org/10.1016/j.rse.2005.05.009

Hilker, T., Wulder, M.A., Coops, N.C., Linke, J., McDermid, G. et al., 2009. A new data fusion model for highspatial- and temporal-resolution mapping of forest disturbance based on Landsat and MODIS. *Remote Sensing of Environment* **113** (8), 1613–1627.

Hodgetts, N.G., Söderström, L., Blockeel, T.L., Caspari, S., Ignatov, M.S. et al., 2020. An annotated checklist of bryophytes of Europe, Macaronesia and Cyprus. *Journal of Bryology* **42** (1), 1–116. http://www.doi.org/10.1080/03736687.2019.1694329

Masek, J.G., Huang, C.Q., Wolfe, R., Cohen, W., Hall, F., Kutler, J., Nelson, P., 2008. North American forest disturbance mapped from a decadal Landsat record. *Remote Sensing of Environment* **112** (6), 2914–2926. http://www.doi.org/10.1016/j.rse.2008.02.010

Miles, V.V., Esau, I., 2016. Spatial heterogeneity of greening and browning between and within bioclimatic zones in northern West Siberia. *Environmental Research Letters* **11** (11), 115002. http://www.doi.org/10.1088/1748-9326/11/11/115002

Rogan, J., Mietkiewicz, N., 2015. Land cover change detection. In: Thenkabail, P.S. (ed.), *Land Resources Monitoring, Modeling and Mapping with Remote Sensing*. CRC Press, Boca Raton, FL, USA, 579–603. http://www.doi.org/10.1201/b19322-30

Zhao, G., Xu, E., Yi, X., Guo, Y., Zhang, K., 2023. Comparison of forest restorations with different burning severities using various restoration methods at Tuqiang Forestry Bureau of Greater Hinggan Mountains. *Remote Sensing* **15** (10), 2683. http://www.doi.org/10.3390/rs15102683

References

Aleksandrova, V.D., 1969. Klassifikaciya rastitel'nosti. Obzor principov klassifikacii i klassifikacionnykh skhem v raznykh geobotanicheskikh shkolakh [Vegetation classification: A review of classification principles and classification schemes in different geobotanical schools]. Nauka, Leningrad, Russia, 275 p. (In Russian).

Aleksanin, A.I., Kim, V., Morozov, M.A., Fomin, E.V., 2019. Obnaruzhenie rubok otdel'nykh derev'ev po teniam na osnove snimkov pribora «Geoton» sputnika «Resurs-P» [Individual tree logging detection by shadows in Geoton sensor imagery of the Resurs-P satellite]. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniia Zemli iz kosmosa [Modern Problems of Remote Sensing of the Earth From Space]* **16** (5), 174–182. (In Russian). http://www.doi.org/10.21046/2070-7401-2019-16-5-174-182

Baumann, M., Ozdogan, M., Wolter, P.T., Krylov, A., Vladimirova, N., Radeloff, V.C., 2014. Landsat remote sensing of forest windfall disturbance. *Remote Sensing of Environment* **143**, 171–179. http://www.doi.org/10.1016/j.rse.2013.12.020

Bobrik, A.A., Goncharova, O.Yu., Matyshak, G.V., Ryzhova, I.M, Moskalenko, N.G., Ponomareva, O.E., Ogneva O.A., 2015. Vzaimosvyaz` geokriologicheskikh uslovii i gidrotermicheskikh parametrov pochv

ploskobugristykh torfyanikov severa Zapadnoi Sibiri (stacionar Nadym) [nterrelationship between geocryological conditions and soil hydrothermal parameters in flat-mounded peatlands of northern Western Siberia (Nadym research station)]. *Kriosfera Zemli [Earth Cryosphere]* **19** (4), 31–38. (In Russian).

Botvich, I.Y., Vysotskaya, G.S., Ivanov, S.A., Pisman, T.I., Shevyrnogov, A.P., 2023. Dinamika trendov NDVI rastitel`nosti Zapadnoi Sibiri v usloviyakh klimaticheskikh izmenenii (po sputnikovym dannym) [Dynamics of NDVI trends for vegetation in western Siberia under the conditions of climate change (according to satellite data)]. *Zhurnal Sibirskogo federal`nogo universiteta. Seriya: Tekhnika i tekhnologii [Journal of Siberian Federal University. Engineering & Technologies]*. **16** (2), 244–251. (In Russian).

Crist, E.P., Cicone, R.C., 1984. A physically-based transformation of Thematic Mapper data-the TM Tasseled Cap. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* **22**, 256–263.

Dmitriev, A.V., Kirbizhekova, I.I., Chimitdorzhiev, T.N., 2024. Analiz vozmozhnosti primeneniia radarnogo indeksa DpRVI dlia otsenki lesovosstanovleniia [Analysis of the Dual-pol Radar Vegetation Index potential for reforestation assessment]. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniia Zemli iz kosmosa [*of the Resurs-P satellite]. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniia Zemli iz kosmosa [Modern Problems of Remote Sensing of the Earth From Space]* **21** (5), 173–187. (In Russian). http://www.doi.org/10.21046/2070-7401-2024-21-5-173-187

Duguay, C.R., Zhang, T., Leverington, D.W., Romanovsky, V.E., 2005. Satellite remote sensing of permafrost and seasonally frozen ground. *Geophysical Monograph Series* **163**, 91–118. http://www.doi.org/10.1029/163GM06

Elliott, A., Hyam, R., Watson, M., Wrankmore, E., Hartley, H. et al., 2025. World Flora Online Plant List June 2025 (2025-06). Data set (дата обращения: 30.06.2025). https://doi.org/10.5281/zenodo.15704590

Elsakov, V.V., 2014. Vizualizatsiia dannykh klimaticheskikh izmenenii rastitel'nykh soobshchestv mezenskoi i Kaninskoi tundr po materialam sputnikovykh s'emok [Visualization of climate change data of plant communities of the Mezen and Kanin tundra based on satellite imagery]. *Teoreticheskaia i prikladnaia ekologiia [Theoretical and Applied Ecology]* **1**, 83–86. (In Russian).

Fakhretdinov, A.V., 2023. Sovremennaya dinamika rastitel'nosti polyarnykh i pripolyarnykh raionov Zapadnoi Sibiri po dannym distantsionnogo zondirovaniya Zemli [Contemporary dynamics in vegetation of the polar and subpolar regions of Western Siberia using remote sensing data]. *Izvestiya Russkogo geograficheskogo obshchestva [Regional Research of Russia]* **155** (3–4), 136–144. (In Russian). http://www.doi.org/10.31857/S0869607123030059

Glazunov, V.A., Nikolaenko, S.A., 2025. Chuzherodnye vidy rastenii prirodnogo parka «Numto» (Zapadnaya Sibir') i puti ikh proniknoveniya [Alien Plant Species in the Numto Nature Reserve (Western Siberia) and Their Pathways]. *Sbornik materialov Mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii "Fundamental'nye i prikladnye aspekty issledovanii biologicheskikh invazii" [Proceedings of the International Scientific Conference "Fundamental and Applied Aspects of Biological Invasion Research"]*. Minsk, Belarus, 40–41. (In Russian).

Hais, M., Jonášová, M., Langhammer, J., Kučera, T., 2009. Comparison of two types of forest disturbance using multitemporal Landsat TM/ETM+ imagery and field vegetation data. *Remote Sensing of Environment* **113** (4), 835–845. http://www.doi.org/10.1016/j.rse.2008.12.012

Healey, S.P., Healey, S.P., Cohen, W.B., Zhiqiang, Y., Krankina, O.N., 2005. Comparison of tasseled cap-based Landsat data structures for use in forest disturbance detection. *Remote Sensing of Environment* **97** (3), 301–310. http://www.doi.org/10.1016/j.rse.2005.05.009

Hilker, T., Wulder, M.A., Coops, N.C., Linke, J., McDermid, G. et al., 2009. A new data fusion model for highspatial- and temporal-resolution mapping of forest disturbance based on Landsat and MODIS. *Remote Sensing of Environment* **113** (8), 1613–1627.

Hodgetts, N.G., Söderström, L., Blockeel, T.L., Caspari, S., Ignatov, M.S. et al., 2020. An annotated checklist of bryophytes of Europe, Macaronesia and Cyprus. *Journal of Bryology* **42** (1), 1–116. http://www.doi.org/10.1080/03736687.2019.1694329

Kapitonova, O.A., Selivanov, A.E., Kapitonov, V.I., 2017. Structure of plant communities in the early succession stages on anthropogenic sandy outcrops of the forest tundra and northern taiga of Western Siberia. *Contemporary Problems of Ecology* **10** (6), 651–663. https://doi.org/10.1134/S1995425517060063

Kaverin, D.A., Kulyugina, E.E., Shahtarova, O.V. Shchanov, V.M., 2016. Vliianie rastitel'nogo pokrova na glubinu sezonnogo protaivaniia v tundrovykh pochvakh predgornykh landshaftov kriazha Pai-Khoi (iugo-zapad Iugorskogo poluostrova) [The impact of vegetation on thaw depth in tundra soils of submontane landscapes of the Pai-Khoi Ridge (South-West of Yugorsky peninsula]. Kriosfera Zemli *[Earth's Cryosphere]* **20** (4), 69–78. (In Russian).

Khovratovich, T.S., Bartalev, S.A., Kashnitskii, A.V., 2019. Metod detektirovaniia izmenenii lesov na osnove podpiksel'noi otsenki proektivnogo pokrytiia drevesnogo pologa po raznovremennym sputnikovym izobrazheniiam [Forest change detection based on sub-pixel estimation of crown cover density using bitemporal satellite data]. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniia Zemli iz kosmosa [Modern Problems of Remote Sensing of the Earth From Space]* **16** (4), 102–110. (In Russian). http://www.doi.org/10.21046/2070-7401-2019-16-4-102-110

Koneva, V.V., Lashchinskiy, N.N., 2014. Soobshhestva *Cladonia oxneri* Rass. na tekhnogennykh razduvakh v severnoi taige Zapadnoi Sibiri [Lichen communities of *Cladonia oxneri* Rass. on man-made moving sand dunes in West Siberian northern taiga subzone]. *Turczaninowia* **17** (1), 77–82. (In Russian).

Masek, J.G., Huang, C.Q., Wolfe, R., Cohen, W., Hall, F., Kutler, J., Nelson, P., 2008. North American forest disturbance mapped from a decadal Landsat record. *Remote Sensing of Environment* **112** (6), 2914–2926. http://www.doi.org/10.1016/j.rse.2008.02.010

Miles, V.V., Esau, I., 2016. Spatial heterogeneity of greening and browning between and within bioclimatic zones in northern West Siberia. *Environmental Research Letters* **11** (11), 115002. http://www.doi.org/10.1088/1748-9326/11/11/115002

Mirkin, B.M., Rozenberg, G.S., Naumova, L.G., 1989. Slovar` ponyatii i terminov sovremennoi fitocenologii [Dictionary of concepts and terms of modern phytocenology]. Nauka, Moscow, Russia, 223 p. (In Russian).

Moskalenko, N.G., 1999. Antropogennaia dinamika rastitel'nosti ravnin kriolitozony Rossii [Anthropogenic dynamics of vegetation of the plains of the cryolithozone of Russia]. Nauka, Novosibirsk, Russia, 280 p. (In Russian).

Moskovchenko, D.V., 2017. Gidrografiia i gidrologicheskii rezhim [Hydrography and hydrological regime]. In: Moskovchenko, D.V. (ed.), *Park «Numto»: priroda i istoriko-kul'turnoe nasledie [Numto Nature Reserve: Nature and Historical and Cultural Heritage].* Surgutneftegaz, Neft' Priob'ia, Surgut, Russia, 9–11. (In Russian).

Proskuriakova, O.B., 2002. Zakonomernosti vosstanovleniia produtsentov narushennykh ekosistem severa Zapadnoi Sibiri [Patterns of restoration of producers of disturbed ecosystems of the north of Western Siberia]. *PhD in Biology thesis abstract*. Tyumen, Russia, 23 p. (In Russian).

Rogan, J., Mietkiewicz, N., 2015. Land cover change detection. In: Thenkabail, P.S. (ed.), *Land Resources Monitoring, Modeling and Mapping with Remote Sensing*. CRC Press, Boca Raton, FL, USA, 579–603. http://www.doi.org/10.1201/b19322-30

Sedel'nikova, N.V., 2017. Vidovoe raznoobrazie likhenobioty Zapadnoi Sibiri i otsenka uchastiia vidov lishainikov v osnovnykh ee gornykh i ravninnykh fitotsenozakh [Species diversity of lichens of Western Siberia and assessment of participation of lichen species in its main mountain and plain phytocenoses]. Geo, Novosibirsk, Russia, 611 p. (In Russian).

Sizov, O.S., 2025. Dinamika zarastaniya sukhorojnykh peschanykh kar`erov v severo-taezhnykh usloviyakh Zapadnoj Sibiri za period s 1985 po 2021 gg. [The dynamics of overgrowth of dry sand quarries in the northern taiga conditions of Western Siberia for the Period from 1985 to 2021.] *Geograficheskaya sreda i zhivye sistemy [Geographical Environment and Living Systems]* **1**, 41–52. (In Russian). http://www.doi.org/10.18384/2712-7621-2025-1-41-52

Sizov, O.S., Lobotrosova, S.A., 2016. Osobennosti vosstanovleniya rastitel'nosti v predelakh uchastkov razvevaemykh peskov severotaezhnoj podzony Zapadnoj Sibiri [Features of revegetation of drift sand sites in the northern taiga subzone of Western Siberia]. *Kriosfera Zemli [Earth Cryosphere]* **20** (3), 3–13. (In Russian).

Soromotin, A.V., Sizov, O.S., 2007. Aktivizatsiya eolovykh protsessov na severe Zapadnoi Sibiri v svyazi s vozrosshim antropogennym vozdeistviem [Activation of aeolian processes in the north of Western Siberia due to increased anthropogenic impact]. *Evolyutsiya i dinamika geosystem [Evolution and Dynamics of Geosystems]* **4**, 12–15. (In Russian).

Titkova, T.B., Vinogradova, V.V., 2019. Izmeneniya klimata v perekhodnykh prirodnykh zonakh severa Rossii i ikh proyavlenie v spektral'nykh kharakteristikakh landshaftov [Climate changes in transitional natural areas of Russian northern regions and their display in landscape spectral characteristics]. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa [Modern Problems of Remote Sensing of the Earth From Space]* **16** (5), 310–323. (In Russian). http://www.doi.org/10.21046/2070-7401-2019-16-5-310-323

Valeeva, E.I., Moskovchenko, D.V., Aref'ev, S.P., 2008. Prirodnyi kompleks parka «Numto» [Natural complex of the Numto Nature Reserve]. Nauka, Novosibirsk, Russia, 280 p. (In Russian).

Vorobiev, O.N., Kurbanov, E.A., Polevshikova, Y.A., Lezhnin, S.A., 2016. Otsenka dinamiki i narushennosti lesnogo pokrova v Srednem Povolzh'e po snimkam Landsat [Assessment of dynamics and disturbance of forest cover in the Middle Povolzhye by Landsat images]. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniia Zemli iz kosmosa [Modern Problems of Remote Sensing of the Earth From Space]* **13** (4), 124–134. (In Russian).

Zakharchenko, A.V., Izerskaya, L.A., Tsynareva, L.K., Tuchak, V.N., 2010. Biogennoe pochvoobrazovanie pod mineral'nymi kochkami *Empetrum nigrum* v psevdofibrovykh podzolakh [Biogenic formation morphology structure in pseudofibric podzol (spodols) under *Empetrum nigrum* mineral hillocks]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya [Tomsk State University Journal of Biology]* **4** (12), 5–20. (In Russian).

Zhao, G., Xu, E., Yi, X., Guo, Y., Zhang, K., 2023. Comparison of forest restorations with different burning severities using various restoration methods at Tuqiang Forestry Bureau of Greater Hinggan Mountains. *Remote Sensing* **15** (10), 2683. http://www.doi.org/10.3390/rs15102683