

Научная статья
УДК 504.05

ДИНАМИКА ЗАРАСТАНИЯ СУХОРОЙНЫХ ПЕСЧАНЫХ КАРЬЕРОВ В СЕВЕРО-ТАЁЖНЫХ УСЛОВИЯХ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ ЗА ПЕРИОД С 1985 ПО 2021 ГГ.

© СС ВУ Сизов О. С.

*Российский государственный университет нефти и газа
(национальный исследовательский университет) имени И. М. Губкина
119991, г. Москва, Ленинский пр-т., д. 65, Российская Федерация
e-mail: kabanin@yandex.ru; ORCID: 0000-0003-1509-8912*

Поступила в редакцию 02.10.2024

После доработки 21.12.2024

Принята к публикации 05.02.2025

Аннотация

Цель. На примере модельного участка в бассейне р. Надым провести дистанционную оценку пространственно-временного распространения сухоройных карьеров и динамику их естественного зарастания за последние 40 лет.

Процедура и методы. Объектами исследования являются сухоройные песчаные карьеры, образованные при строительстве железных и автомобильных дорог, а также магистральных газо- и нефтепроводов. В качестве исходных данных использовались разновременные космические снимки Corona (1968 и 1976 г.), Landsat-5/7/8 (1984–2023 гг.) и Sentinel-2 (2017–2020 гг.). Расчёты ежегодного медианного значения NDVI по архиву данных Landsat за 1985–2021 гг. для каждого карьера выполнены с помощью платформы Google Earth Engine. Методически работа включала оцифровку и атрибутирование линейных объектов инфраструктуры, выявление и определение границ карьеров, определение степени затопления, типа фонового ландшафта и времени образования каждого карьера. Также выполнялись расчёты зональной статистики в ArcGIS Desktop и MS Excel.

Результаты. Выявлено 343 сухоройных песчаных карьера, приуроченных преимущественно к автодорогам и магистральным трубопроводам. Карьеры разделены на 4 поколения, отражающие этапы хозяйственного освоения территории. Пик нарушенности отмечен во время строительства автодороги «Надым–Приозёрный» во второй половине 1980-х гг. Установлено, что успешность зарастания карьеров напрямую зависит от их возраста и типа местоположения. В частности, максимальные значения NDVI (0,63) выявлены для карьеров I поколения, образованные более 70 лет назад в густых зеленомошных лесах; минимальные (0,36) — для молодых карьеров вдоль магистральных трубопроводов на участках лишайниковых редколесий. В карьерах, приуроченных к участкам густых зеленомошных лесов, фоновый уровень NDVI по состоянию на 2021 г. не достигнут, несмотря на наличие благоприятных лесорастительных условий. В то же время в карьерах на участках сухих сосново-лишайниковых редколесий в настоящее время отмечаются сопоставимые или превышающие фоновый уровень значения NDVI за счёт улучшения условий увлажнения.

Теоретическая и/или практическая значимость. В целом установлено, что в современных климатических условиях северной тайги Западной Сибири за последние 40 лет наблюдается устойчивый тренд естественного восстановления растительности в карьерах вне зависимости от эффективности проведения биологического этапа рекультивации. Полученные результаты могут использоваться для оптимизации и повышения эффективности методов восстановления почвенно-растительного покрова на нарушенных территориях в пределах рассматриваемой территории.

Ключевые слова: вегетационный индекс, карьер, магистральный трубопровод, нарушенность, Corona, Landsat

DOI: 10.18384/2712-7621-2025-1-41-52

Original Article

DYNAMICS OF THE OVERGROWTH OF DRY SAND QUARRIES IN THE NORTHERN TAIGA CONDITIONS OF WESTERN SIBERIA FOR THE PERIOD FROM 1985 TO 2021

© CC BY O. Sizov

*Gubkin University**Leninsky Prospect, 65, Moscow 119991, Russian Federation**e-mail: kabanin@yandex.ru; ORCID: 0000-0003-1509-8912*

Received 02.10.2024

Revised 21.12.2024

Accepted 05.02.2025

Abstract

Aim. One of the negative environmental consequences of the active development of the oil and gas industry in the northern part of Western Siberia is the formation of disturbed lands, which occur, among other reasons, during the extraction of sand and sand-gravel mixtures. The aim of this study is to conduct a remote assessment of the spatial and temporal distribution of dry sand quarries and the dynamics of their natural overgrowth over the past 40 years, using a model site in the Nadym River basin as an example.

Methodology. The research objects are dry sand quarries formed during the construction of railways, highways, as well as main gas and oil pipelines. The initial data included multi-temporal satellite images from Corona (1968 and 1976), Landsat-5/7/8 (1984–2023), and Sentinel-2 (2017–2020). Calculations of the annual median NDVI values for each quarry, based on the Landsat data archive from 1985 to 2021, were performed using the Google Earth Engine platform. Methodologically, the work involved digitizing and attributing linear infrastructure objects, identifying and delineating the boundaries of the quarries, determining the degree of flooding, background landscape type, and the formation time of each quarry. Zonal statistics calculations were also performed using ArcGIS Desktop and MS Excel software.

Results. A total of 343 dry sand quarries were identified, primarily located along highways and main pipelines. Based on their age, the quarries are divided into four generations, reflecting different stages of the region's economic development. The peak of land disturbance was observed during the construction of paved roads in the second half of the 1980s. It was found that the success of quarry revegetation directly depends on their age and location type. Specifically, the highest NDVI values (0,63) were found in first-generation quarries formed more than 70 years ago in dense mossy forests, while the lowest values (0,36) were observed in younger quarries located along pipelines in lichen woodland areas. In quarries situated in dense green moss forests, the background NDVI level as of 2021 had not yet been reached, despite favorable forest growth conditions. Meanwhile, in quarries located in dry pine-lichen woodlands, NDVI values comparable to or exceeding the background level were recorded due to improved moisture conditions.

Research implications. Overall, it was established that in the modern climatic conditions of the northern taiga in Western Siberia, there is a statistically stable trend of natural vegetation recovery in quarries over the past 40 years, regardless of the effectiveness of the biological stage of reclamation. The results obtained can be used to optimize and improve the efficiency of methods for restoring soil and vegetation cover on disturbed areas within the studied region.

Keywords: vegetation index, quarry, main pipeline, disturbance, Corona, Landsat

DOI: 10.18384/2712-7621-2025-1-41-52

ВВЕДЕНИЕ

Механические нарушения являются одной из наиболее актуальных экологических проблем, связанных с развитием нефтегазового комплекса на севере Западной Сибири [11; 12]. Даже частичное повреждение почвенно-растительного покрова нередко приво-

дит к перераспределению тепла и влаги, что значительно увеличивает риск развития неблагоприятных экзогенных процессов: термокарста, солифлюкции, дефляции [2; 3; 13]. Ситуация усложняется тем, что в арктических и субарктических условиях темпы естественного восстановления растительности существенно отстают от скорости развития ин-

фраструктуры, что приводит к неуклонному увеличению фонда нарушенных земель¹ [18].

Наиболее характерными формами техногенного рельефа, связанными с механическим воздействием на исходный ландшафт, являются сухоройные карьеры по добыче песка или песчано-гравийной смеси. Это довольно распространённые объекты для геоботанических и геоэкологических исследований [6; 7; 13; 14], что обусловлено следующими факторами:

- явная выраженность границ в плане, обеспечивающая различимость объектов, как на местности, так и на дистанционных данных;
- наличие типовых форм микрорельефа, которые определяют контрастные условия для различных местоположений (крутой склон, пологий склон, днище);
- тотальное уничтожение почвенно-растительного покрова, позволяющее изучать сукцессию растительных сообществ и формирование почвы, начиная с первичной (инициальной) стадии;
- неравномерность проведения рекультивации, дающая возможность сравнения эффективности искусственных мер и естественных процессов самозарастания.

В большинстве современных публикаций основное внимание уделяется изучению механизмов первичной сукцессии растительности на техногенных местообитаниях на локальных примерах [6; 13; 14; 17].

Целью данной работы является дистанционная оценка пространственно-временного распространения сухоройных карьеров и динамики их естественного зарастания в условиях северной тайги Западной Сибири за последние 40 лет.

ТЕРРИТОРИЯ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование выполнено на примере модельного участка, площадью около 50 тыс. км², расположенного в среднем и нижнем течении р. Надым (рис. 1). В физико-географическом отношении он относится к Надымской северо-таёжной провинции

лесной широтно-зональной области Западно-Сибирской равнины [1; 4] и представляет собой слабонаклонную заболоченную равнину, сложенную водно-ледниковыми, морскими и озёрно-аллювиальными осадками.

Типичными почвами являются торфяно-болотные, глеево-подзолистые и подзолистые, последние отличаются лёгким механическим составом и маломощным гумусовым горизонтом [15]. На заболоченных участках формируются кустарничково-мохово-лишайниковые и травяно-сфагновые плоскобугристые болота с мерзлотой островного типа, в пределах дренированных террас и водоразделов — лиственничные, елово-лиственничные и сосново-лиственничные зеленомошно-кустарничковые или лишайниковые редкостойные леса [4]. В пределах рассматриваемой территории относительно невысока плотность эксплуатируемых нефтегазовых месторождений (Медвежье, Ярудейское, Средне- и Южно-Хулымское), в то же время здесь проходят многочисленные объекты линейной транспортной инфраструктуры.

В качестве объектов исследования рассматриваются сухоройные карьеры (далее — карьеры), образованные при строительстве железных и автомобильных дорог, а также магистральных газо- и нефтепроводов. Такие карьеры, как правило, испытали однократное и кратковременное воздействие, что позволяет с точностью до года определить начало сукцессии, ход которой в дальнейшем не прерывался повторным антропогенным вмешательством (обратная ситуация периодического воздействия характерна для карьеров вблизи населённых пунктов и в пределах месторождений углеводородов). Общая протяжённость исследованных линейных объектов составила около 2 тыс. км (*табл. 1*).

В качестве исходных фактических данных использовались разновременные космические снимки Corona (спутники серии КН, съёмка за 1968 и 1976 г.), данные Landsat-5/7/8 (1984—2023 гг.) и Sentinel-2 (2017—2020 гг.) (все исходные данные находятся в открытом доступе). Методически работа включала выполнение следующих операций:

- оцифровку и атрибутирование линейных объектов инфраструктуры на основе мозаик спутниковых снимков картографических сервисов Яндекс.Карты и ArcGIS Online (слой ESRI Imagery);

¹ Доклад «Об экологической ситуации в Ямало-Ненецком автономном округе в 2022 году». [Электронный ресурс]. URL: <https://dprg.yanao.ru/documents/active/273069/> (дата обращения: 20.09.2024).

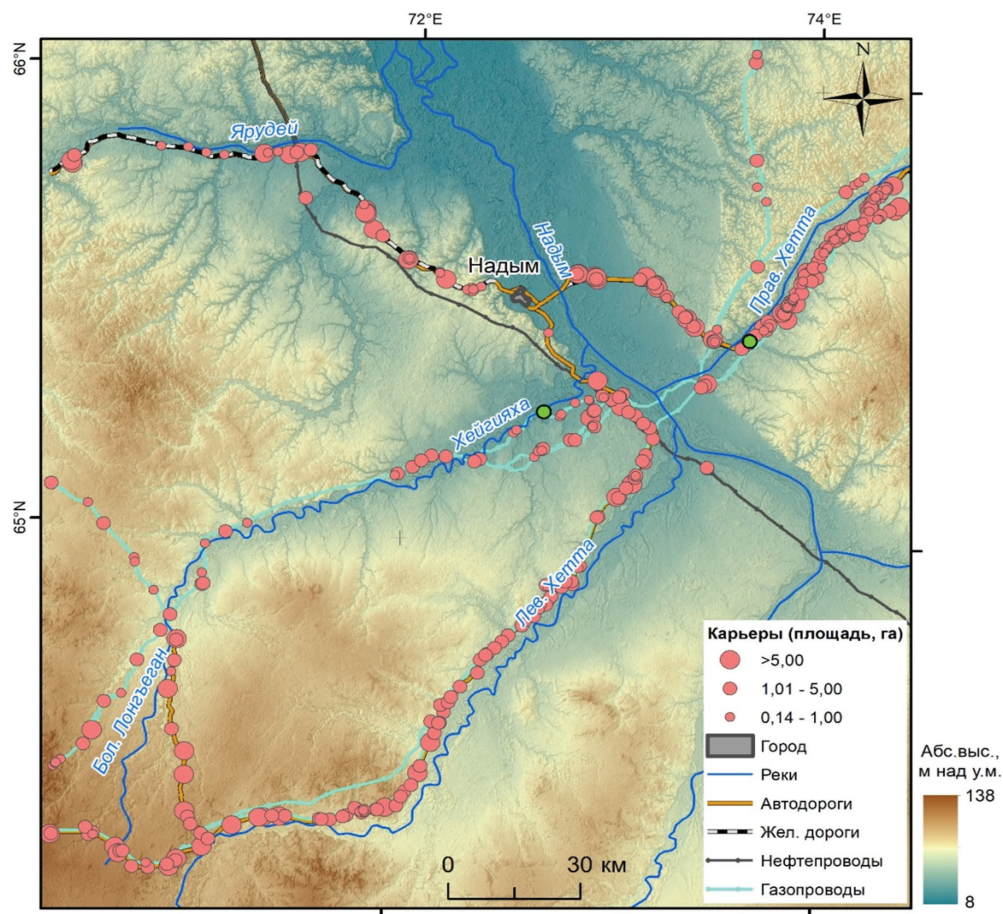


Рис. 1 / Fig. 1. Обзорная карта расположения выявленных карьеров / Overview Map of the Identified Quarries
Источник: данные автора

Таблица 1 / Table 1

Рассматриваемые объекты линейной инфраструктуры / Considered linear infrastructure objects

Тип объекта	Название объекта	Период строительства	Протяжённость в пределах участка, км
Железная дорога	«Чум – Коротчаево» (Проект 501)	1950–1952	235
	«Надым-Пристань – Пангоды»	1971–1978	
Газопровод магистральный	«Медвежье – Надым – Пунга» (с учётом расширения)	1971–1980	892
	«Уренгой – Помары – Ужгород» (с учётом расширения) ¹	1982–1985	
	«Лонгьюган – Салехард»	1994–2003	
Автодорога с твёрдым покрытием	«Уренгой – Надым»	1985–1987	608
	«Надым – Приозерный» (включая ответвление на пос.Лонгьюган)	1984–1985, 1988–1990	
	«Надым – Салехард» (включая ответвление на Ярудейское месторождение)	2011–2020	
Нефтепровод межпромысловый	«ЦПС Ярудейское месторождение – ПСП НПС Пурпе»	2013–2015	244

Источник: данные автора

¹ Ягельное ЛПУ, в частности, обслуживает газопроводы «Уренгой – Центр I», «Уренгой – Центр II», «Уренгой – Ужгород», «Ямбург – Елец I», «Ямбург – Елец II», «Прогресс», «Ямбург – Тула I», «Ямбург – Тула II», «Ямбург – Поволжье», «СРТО – Урал».

– выявление и оцифровку границ карьеров на основе мозаик указанных выше картографических сервисов;

– определение степени затопления карьеров, а также типа фонового ландшафта (лишайниковое редколесье или густой мохово-кустарничковый лес) на основе мозаик указанных выше картографических сервисов;

– определение времени образования каждого карьера на основе ежегодных безоблачных мозаик Landsat с 1984 по 2023 г. (получены с помощью Google Earth Engine);

– расчёт графиков динамики NDVI для каждого карьера по гармонизированным данным Landsat (обводнённые карьеры в расчётах не учитывались);

– расчёт зональной статистики по выявленным карьерам – абсолютной высоты по ЦМР TanDEM-X 90m DEM, NDVI по данным Sentinel-2 с помощью соответствующего инструмента в ПО ArcGIS Desktop 10.8;

– расчёт площадей и медианных значений NDVI в ПО ESRI ArcGIS Desktop 10.8 и MS Excel 2016.

Расчёты ежегодного медианного значения NDVI с 1985 по 2021 г. по каждому карьере выполнены с помощью платформы Google Earth Engine. Для этого использовались данные Landsat-5/7/8 (уровень обработки L2, коллекция C01) с облачностью менее 50% и минимальными геометрическими и радиометрическими погрешностями. При расчётах учитывался только вегетационный период с 30 июня по 31 августа каждого года. Для при-

ведения значений коэффициентов отражения, полученных сенсорами ТМ (Landsat-5) и ETM+ (Landsat-7), к значениям сенсора OLI (Landsat-8) использовались коэффициенты, опубликованные в работе [16].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Всего в пределах рассматриваемого участка выявлено 343 карьера (рис. 1). Из них 173 (50%) относятся к автодорогам, 108 (31%) – к трубопроводам и 62 (18%) – к железной дороге. По площади большую долю также занимают карьеры у автодорог (697,8 га – 56%), в то время как карьеры у трубопроводов и железных дорог занимают 23 и 21% площади соответственно.

Карьеры в сосново-лиственничных лишайниковых редколесьях составляют 47% общей выборки, при этом 16% из них (25 объектов) в настоящее время обводнены более чем на половину. В свою очередь, доля обводнённых карьеров в густых мохово-кустарничковых лесах составляет 30% (55 из 182), что объясняется влиянием локальных понижений рельефа.

На рисунке 2 хорошо видно, что большая часть карьеров (54%) имеет возраст 35 лет и более (образованы до начала 1990-х гг.).

Абсолютный пик наблюдается в 1987 г., он связан с активным строительством автодорог с твёрдым покрытием. С 2003 по 2010 г. относительно высокую долю составляли карьеры вдоль магистральных трубопроводов, что обу-

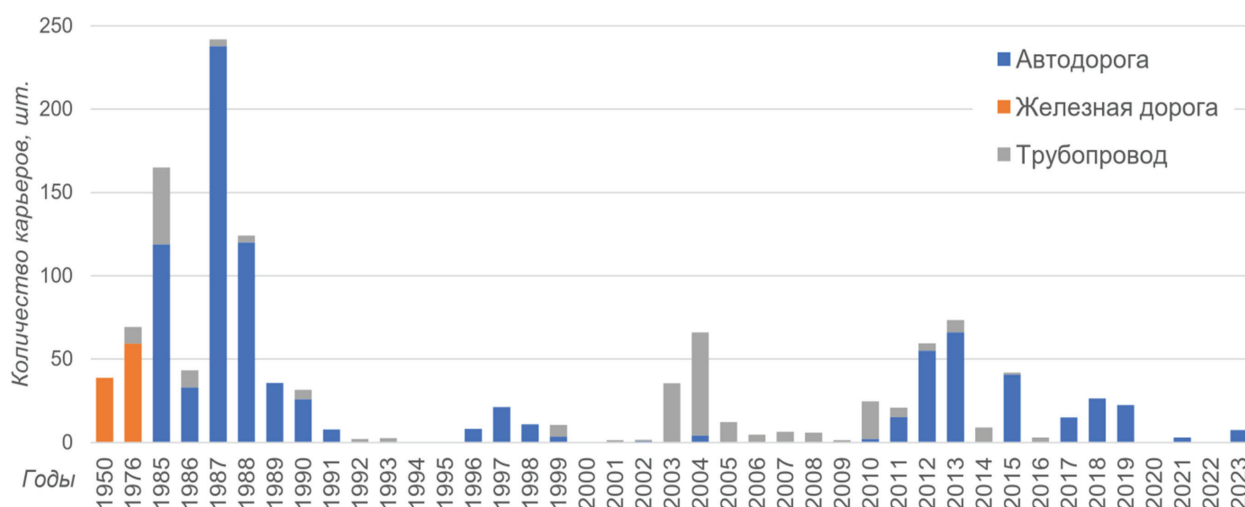


Рис. 2 / Fig. 2. Распределение выявленных карьеров по времени образования / Distribution of identified quarries by formation time

Источник: составлено автором

словлено проведением капитального ремонта на отдельных участках. В целом, можно выделить 4 поколения карьеров:

1. карьеры, образованные в начале 1950-х гг. при строительстве железной дороги «Чум–Коротчаево» (Проект 501);
2. карьеры, образованные вдоль строящихся газопроводов и железной дороги во время начального промышленного освоения территории (1971–1976 гг.);
3. карьеры середины и конца 1980-х гг., появившиеся во время масштабного строительства магистральных газопроводов и автомобильной дороги от г. Новый Уренгой до границы с ХМАО;
4. современные карьеры (менее 25 лет), появление которых связано с локальным

ремонтom инфраструктуры и появлением отдельных новых линейных объектов.

Карьеры преимущественно имеют относительно небольшую площадь (медианное значение площади по всей выборке – 2,1 га; доля объектов до 1,6 га – 42,3%). При этом 26 объектов (7,6%), к которым относятся в основном современные карьеры вдоль автодорог, имеют площадь более 10 га (рис. 3). В целом прослеживается тенденция увеличения средней площади карьера с уменьшением возраста.

Большая часть выявленных карьеров приурочена к нижнему геоморфологическому уровню (до 45 м над у.м. – 71,1% объектов). Преимущественно это участки второй надпойменной террасы или более высокой озёрно-аллювиальной равнины (рис. 4). Ме-

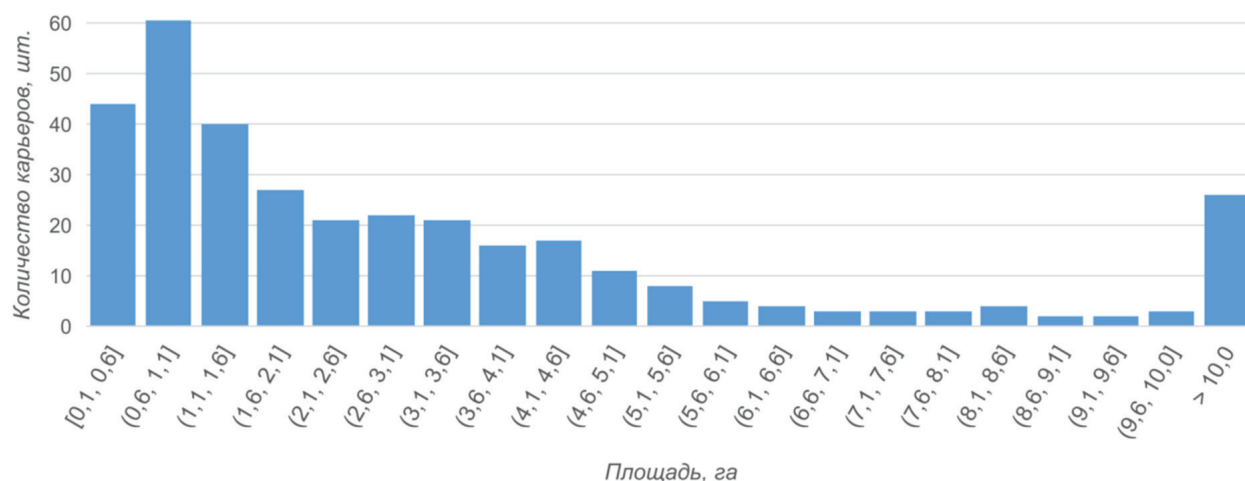


Рис. 3 / Fig. 3. Распределение выявленных карьеров по площади / Distribution of identified quarries by area

Источник: составлено автором

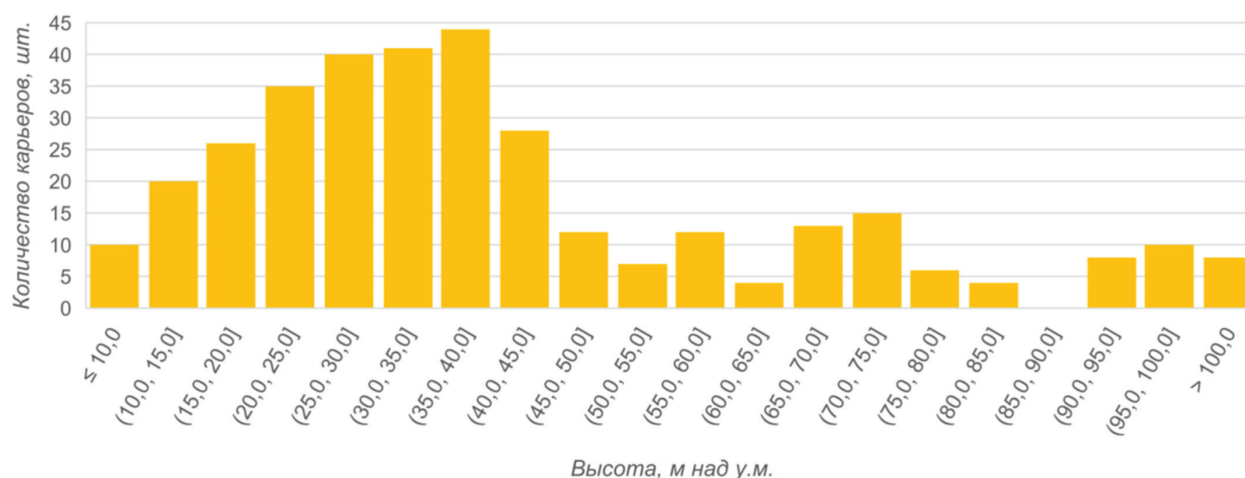


Рис. 4 / Fig. 4. Распределение выявленных карьеров по абсолютной высоте / Distribution of identified quarries by absolute elevation

Источник: составлено автором

дианное значение высоты по всей выборке объектов составляет 34,9 м.

Актуальный уровень зарастания по всей выборке объектов можно показать на примере гистограммы медианных значений NDVI, полученных для каждого карьера по данным Sentinel-2 (съемки 2017–2020 гг., разрешение 10 м). График (рис. 5) демонстрирует в целом нормальное распределение значений (меди-

на по всей выборке – 0,5) с плавным ростом и более резким спадом. При разделении карьеров по типам линейных объектов и типам растительности (рис. 6) можно отметить, что максимальным медианным значением NDVI (0,63) характеризуются карьеры первого поколения, образованные более 70 лет назад в густых лесах. Минимальный уровень биомассы фиксируется для относительно молодых

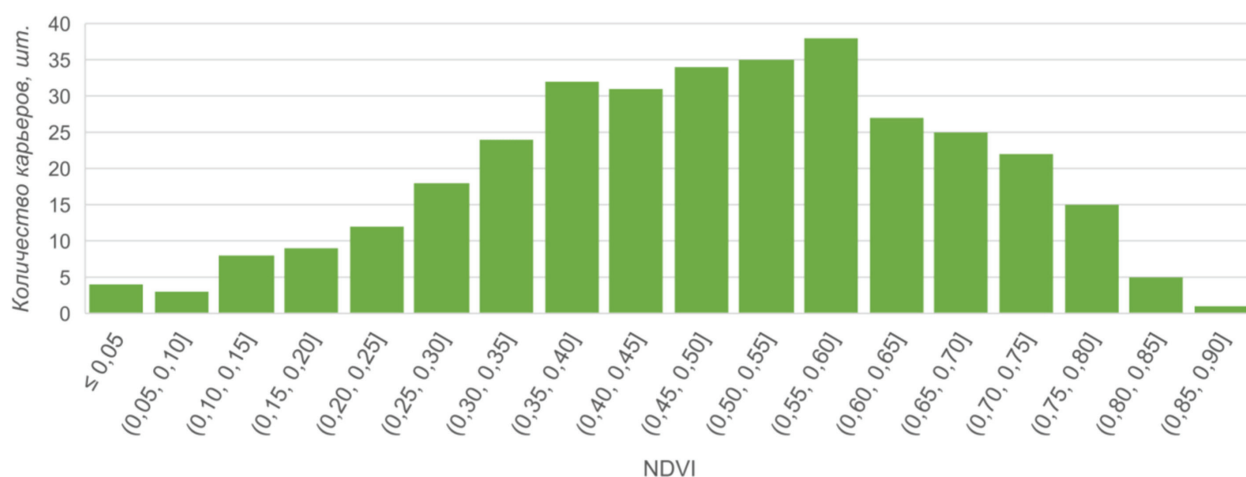


Рис. 5 / Fig. 5. Распределение выявленных карьеров по медианным значениям NDVI / Distribution of identified quarries by median NDVI

Источник: составлено автором

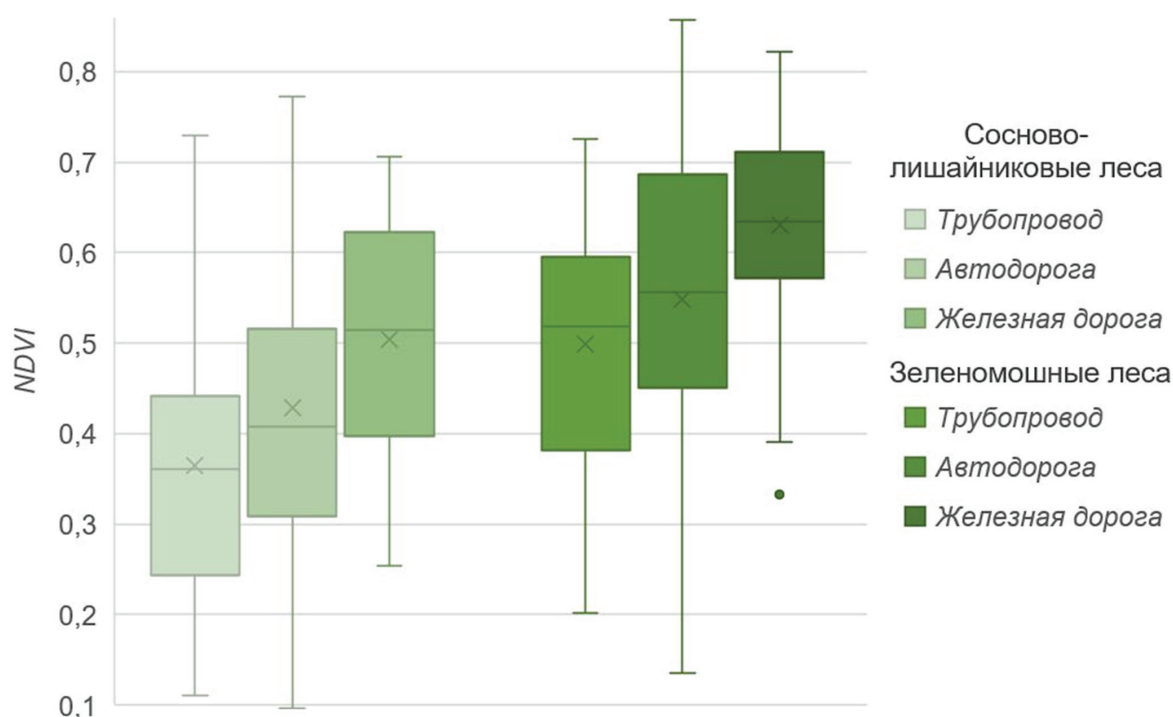


Рис. 6 / Fig. 6. Распределение значений NDVI в пределах карьеров за 2020 г. относительно типа ландшафта и типа линейной инфраструктуры / Distribution of NDVI within quarries in 2020 relative to landscape type and type of linear infrastructure

Источник: составлено автором

карьеров вдоль магистральных трубопроводов на участках лишайниковых редколесий (медиана NDVI 0,36).

Можно предположить, что уровень зарастания карьеров напрямую зависит от их возраста и типа фоновой растительности, определяемой составом верхней толщи почвообразующих пород. Для наглядного подтверждения для каждого карьера рассчитаны графики динамики NDVI за последние 40 лет (рис. 7). Для сравнения динамики зарастания используются фоновые участки в густых (9 объектов) и разреженных (10 объектов) лесах.

В густых лесах наблюдается более однородное распределение значений NDVI для всей выборки, медиана за весь период составила 0,71. В лишайниковых редколесьях участки существенно различаются по объёму фитомассы, графики показывают разброс значений от 0,3 до 0,6 при медиане 0,41. На уменьшение NDVI прямо влияет снижение густоты лесного покрова, в этом случае увеличивается площадь лишайников с высоким альбедо.

Карьеры I и II поколений, образованные в 50–70-х гг. XX в. вдоль железной дороги и магистральных газопроводов на участках густых зеленомошных лесов, демонстрируют устойчивый тренд увеличения фитомассы за весь период наблюдения. Тем не менее фоновый уровень в обоих случаях не достигнут, т. е. формирующаяся в карьерах лесная растительность по показателям сомкнутости крон и общему объёму фитомассы уступает фоновым лесам.

В карьерах III и IV поколений, образованных в зеленомошных лесах, также прослеживается последовательный рост значе-

ний NDVI с 0,2 до 0,58, что отражает наличие благоприятных лесорастительных условий. К таким условиям относится, прежде всего, повышенное увлажнение [5] — доля полностью или частично затопленных карьеров именно в этой возрастной категории выше среднего значения (39%).

Для карьеров на участках сосново-лишайниковых редколесий, наблюдается аналогичный рост значений NDVI вне зависимости от возраста:

- с 0,35 до 0,56 — для карьеров I поколения;
- с 0,3 до 0,55 — для карьеров II поколения;
- с 0,22 до 0,44 — для карьеров III и IV поколений.

Уровень NDVI в пределах карьеров I и II поколений (возраст от 50 лет и старше) по состоянию на 2021 г. превышает фоновые значения более чем на 30%. Одним из основных благоприятных факторов для этого является улучшение условий увлажнения. В карьерах III поколения (старше 30 лет) фоновый уровень NDVI достигается на 27–30 год после окончания разработки. При этом можно отметить, что из 75 карьеров значения NDVI в большинстве случаев (71%) превышают фоновый уровень (по состоянию на 2021 г.).

Таким образом, результаты расчётов показывают, что в отработанных карьерах на рассматриваемой территории с течением времени наблюдается неуклонное естественное восстановление растительности либо заболачивание (с частичным или полным обводнением). В карьерах на участках с зеленомошными лесами уровень фоновых значений NDVI на момент окончания наблюдений не достигнут, поскольку плотность молодого

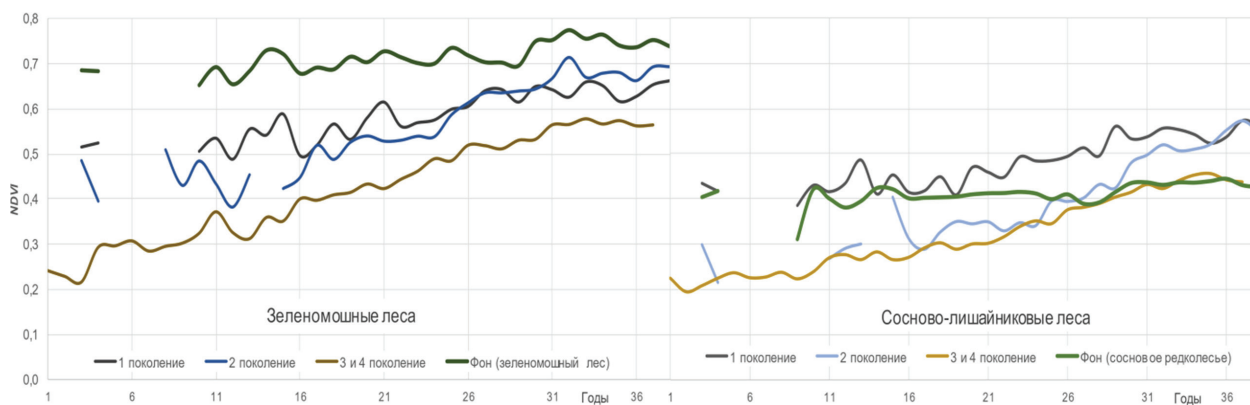


Рис. 7 / Fig. 7. Сводные графики динамики NDVI (медианное значение) по каждому поколению карьеров с разделением по типам растительности (графики приведены к году образования каждого карьера)

Источник: составлено автором

древостоя меньше изначальной. В то же время в карьерах на участках с лишайниковыми редколесьями (I, II и III поколения), несмотря на относительно медленное восстановление растительности, в настоящее время отмечаются сопоставимые или превышающие фоновый уровень значения NDVI.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Выборочные полевые наблюдения показали, что видовой состав растительности в пределах карьеров на рассматриваемой территории практически не зависит от зональных особенностей. В целом, здесь отмечается низкая сомкнутость крон деревьев, при этом 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%).

Основным негативным экзогенным процессом в пределах зарастающих карьеров является дефляция. Доля оголённых песков здесь колеблется от 6,5 до 25%. Наиболее подвержены ветровой эрозии склоны карьеров I и III поколений (17–21%), особенно склоны, обращённые навстречу доминирующим ветрам). Повышенная доля развеваемых песков отмечается также в пределах днищ карьеров III поколения (17–25%), даже на фоне высоких геоботанических показателей и явных следов искусственного восстановления лес-

ной растительности. Минимальную площадь оголённые участки занимают в пределах карьеров IV поколения (6,5% для склонов и 13,7% для днищ). Можно также отметить, что днища карьеров I поколения, несмотря на относительно низкие геоботанические показатели, имеют сниженную долю оголённых песков за счёт сплошного развития лишайникового покрова. При этом важно отметить, что в пределах карьеров I поколения рекультивация не проводилась.

Проведённые ранее комплексные исследования физико-химических показателей верхней части почвенно-грунтового слоя в карьерах III поколения выявили в целом кислую среду почвообразования [10]. Общей особенностью является низкое содержание органики (повсеместно менее 1%), а также значение окислительно-восстановительного потенциала в пределах 220–330 мВ.

При общем песчаном субстрате материнских пород основное влияние на дифференциацию физико-химических показателей рассматриваемых участков оказывают условия увлажнения, которые определяются характером микрорельефа [10]. Повышенная дренированность на пологих склонах постепенно приводит к обеднению химического состава верхней толщи, способствуют развитию дефляции, в то время как при формировании гидроморфных условий даже на оголённых песчаных участках относительно недавно образованных карьеров наблюдается постепенное накопление фосфора и калия в процессе заболачивания (рис. 8).

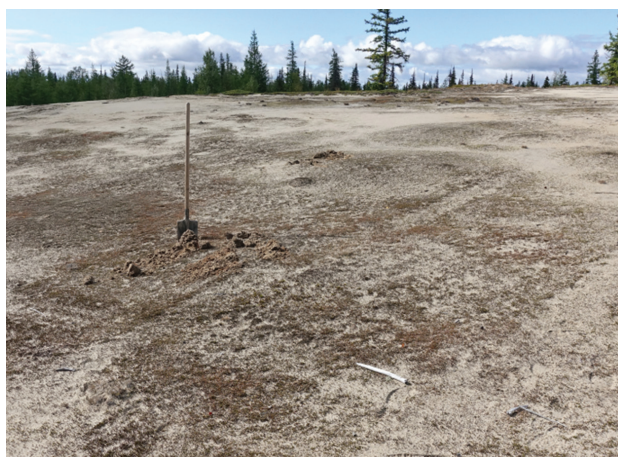


Рис. 8 / Fig. 8. Проявление дефляции (слева) и заболачивания (справа) в карьерах третьего поколения / Manifestation of deflation (left) and waterlogging (right) in third-generation quarries

Источник: фото О. С. Сизова, 2021

— Морфометрические измерения показали, что доля склонов в общей площади минимальна у карьеров IV поколения (17%), в то время как у карьеров III поколения она достигает 40% и более. Максимальными значениями углов наклона (до 25° на примере модельного участка в бассейне р. Надым в результате сплошного картографирования выявлено 343 сухоройных песчаных карьера, приуроченных преимущественно к автодорогам и магистральным трубопроводам;

— по возрастному признаку выделяют 4 поколения карьеров, связанных с различными этапами хозяйственного освоения территории; пик нарушенности отмечен во время строительства автодороги с твёрдым покрытием во второй половине 1980-х гг.;

— максимальным медианным значением NDVI (0,63) характеризуются карьеры I поколения, образованные более 70 лет назад в густых зеленомошных лесах; минимальные

медианные значения NDVI (0,36) выявлены для молодых карьеров вдоль магистральных трубопроводов на участках лишайниковых редколесий;

— в карьерах, приуроченных к участкам густых зеленомошных лесов, фоновый уровень NDVI не достигнут, несмотря на наличие благоприятных лесорастительных условий;

— в карьерах, приуроченных к участкам сухих сосново-лишайниковых редколесий отмечаются сопоставимые или превышающие фоновый уровень значения NDVI.

Успешность зарастания карьеров напрямую зависит от их возраста и типа местоположения. В современных климатических условиях северной тайги Западной Сибири на основе динамики значений NDVI выявлен статистически устойчивый тренд естественного восстановления растительности в карьерах вне зависимости от эффективности проведения биологического этапа рекультивации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Атлас Ямало-Ненецкого автономного округа. М.: ГУГК, 2004. 304 с.
2. Восстановление земель на Крайнем Севере / отв. ред. И. Б. Арчегова. Сыктывкар: Коми научный центр УрО РАН, 2000. 152 с.
3. Ермилов О. М., Грива Г. И., Москвин В. И. Воздействие объектов газовой промышленности на северные экосистемы и экологическая стабильность геотехнических комплексов в криолитозоне. Новосибирск: СО РАН, 2002. 148 с.
4. Ильина И. С., Лапшина Е. И., Лавренко Н. Н. Растительный покров Западно-Сибирской равнины. Новосибирск: Наука, 1985. 248 с.
5. Коронатова Н. Г. Особенности и условия восстановления почвенно-растительного покрова на карьерах Западной Сибири // Вестник Томского государственного университета. 2003. № 7. С. 135–141.
6. Коронатова Н. Г., Миляева Е. В. Сукцессия фитоценозов при зарастании выработанных карьеров в подзоне северной тайги Западной Сибири // Сибирский экологический журнал. 2011. № 5. С. 697–705.
7. Лоботросова С. А. Сукцессии растительного покрова эоловых форм рельефа в северной тайге Западной Сибири (на примере бассейна реки Надым): дис. ... канд. биол. наук. Тюмень: ИКЗ ТюмНЦ СО РАН, 2020. 193 с.
8. Нарушенность почвенно-растительного покрова на севере Западной Сибири: пространственное распространение и способы рекультивации / О. С. Сизов, А. В. Соромотин, С. А. Лоботросова, Н. Е. Лобжанидзе, Н. В. Приходько // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2022. Т. 4. № 307. С. 40–46. DOI: 10.33285/2411-7013-2022-4(307)-40-46
9. Седых В. Н. Леса и нефтегазовый комплекс. Новосибирск: Наука, 2011. 138 с.
10. 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. DOI: 10.18384/2712-7621-2020-1-31-52
11. Соромотин А. В. Воздействие добычи нефти на таежные экосистемы Западной Сибири. Тюмень: ТюмГУ, 2010. 320 с.
12. 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.
13. Сумина О. И. Формирование растительности на техногенных местообитаниях Крайнего Севера России. Санкт-Петербург: Информ-Навигатор, 2013. 340 с.
14. Сумина О. И., Копцева Е. М. Разнообразие и динамика растительности карьеров в лесотундре Западной Сибири (окрестности г. Лабытнанги, Ямало-Ненецкий АО) // Растительность России. 2004. № 6. С. 83–103.
15. Хренов В. Я. Почвы криолитозоны Западной Сибири: морфология, физико-химические свойства, геохимия. Новосибирск: Наука, 2011. 214 с.

16. Characterization of Landsat-7 to Landsat-8 reflective wavelength and normalized difference vegetation index continuity / D. P. Roy, V. Kovalsky, H. K. Zhang, E. F. Vermote, L. Yan, S. S. Kumar, A. Egorov // *Remote Sensing of Environment*. 2016. Vol. 185. № 185. P. 57–70. DOI: 10.1016/j.rse.2015.12.024
17. Cyclic and linear trajectories of ecosystem evolution on sand dunes in Siberian taiga: A comprehensive analysis / A. V. Soromotin, G. R. Lanza, O. S. Sizov, S. A. Lobotrosova, E. V. Abakumov, A. O. Zverev, A. S. Yakimov et al. // *Science of The Total Environment*. 2024. Vol. 928. P. 172265. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2024.172265
18. Forbes B. C., Sumina O. I. Comparative ordination of low Arctic vegetation recovering from disturbance: reconciling two contrasting approaches for field data collection // *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*. 1999. Vol. 31. № 4. P. 389–399.
19. Kapitonova O., Aksarina K. On some physical and chemical properties of soils of sandy outcrops of the West Siberian northern regions // *Environmental dynamics and global climate change*. 2019. Vol. 10. № 1. P. 28–37. DOI: 10.17816/edgcc10533
1. *Atlas Yamalo-Nenetskogo avtonomnogo okruga* [Atlas of the Yamalo-Nenets Autonomous Okrug]. Moscow, GUGK Publ., 2004. 304 p.
2. Archevov I. B., ed. *Vosstanovleniye zemel na Kraynem Severe* [Land Restoration in the Far North]. Syktyvkar, Komi nauchnyy tsentr UrO RAN Publ., 2000. 152 p.
3. Ermilov O. M., Griva G. I., Moskvina V. I. *Vozdeystviye ob'yektov gazovoy promyshlennosti na severnyye ekosistemy i ekologicheskaya stabil'nost' geotekhnicheskikh kompleksov v kriolitozone* [The Impact of Gas Industry Facilities on Northern Ecosystems and Environmental Stability of Geotechnical Complexes in the Cryolithozone]. Novosibirsk, Izd-vo SO RAN, 2002. 148 p.
4. Ilyina I. S., Lapshina E. I., Lavrenko N. N. *Rastitelnyy pokrov Zapadno-Sibirskoy soblyudeniya* [Vegetation Cover of the West Siberian Plain]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1985. 248 p.
5. Koronotova N. G. [Features and conditions of restoration of soil and vegetation cover in quarries of Western Siberia]. In: *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta* [Bulletin of Tomsk State University], 2003, no. 7, pp. 135–141.
6. Koronotova N. G., Milyaeva E. V. [Succession of phytocenoses during overgrowing of worked-out quarries in the northern taiga subzone of Western Siberia]. In: *Sibirskiy ekologicheskiy zhurnal* [Siberian Ecological Journal], 2011, no. 5, pp. 697–705.
7. Lobotrosova S. A. *Suktsessii rastitel'nogo pokrova eolovykh form relyefa v severnoy tayge ekonomicheskoy Sibiri (na primere basseyna reki Nadym): dis. ... kand. biol. nauk* [Successions of vegetation cover of aeolian landforms in the northern taiga of Western Siberia (on the example of the Nadym River basin): Cand. Sci. thesis in Biological sciences]. Tyumen, 2020. 193 p.
8. Sizov O. S., Soromotin A. V., Lobotrosova S. A., Lobzhanidze N. E., Prikhodko N. V. [Disturbance of soil and vegetation cover in the north of Western Siberia: spatial distribution and methods of reclamation]. In: *Zashchita okruzhayushchey sredy v neftegazovom komplekse* [Environmental protection in the oil and gas complex], 2022, vol. 4, no. 307, pp. 40–46. DOI: 10.33285/2411-7013-2022-4(307)-40-46
9. Sedykh V. N. *Lesa i neftegazovyy kompleks* [Forests and oil and gas complex]. Novosibirsk, Nauka Publ., 2011. 138 p.
10. Sizov O. S., Lobotrosova S. A., Soromotin A. V. [Assessment of physicochemical properties of the upper organo-mineral horizons of sandy outcrops in the north of Western Siberia (using the middle reaches of the Nadym River as an example)]. In: *Geograficheskaya sreda i zhivyye sistemy* [Geographical environment and living systems], 2020, no. 1, pp. 31–52. DOI: 10.18384/2712-7621-2020-1-31-52
11. Soromotin A. V. *Vozdeystviye dobychi nefti na tayezhnyye ekosistemy Sibiri* [Impact of oil production on taiga ecosystems of Western Siberia]. Tyumen, Izd-vo TyumGU Publ., 2010. 320 p.
12. Soromotin A. V., Sizov O. S. [Activation of aeolian processes in the north of Western Siberia due to increased anthropogenic impact]. In: *Problemy regionalnoy ekologii* [Problems of Regional Ecology], 2007, no. 4, pp. 12–15.
13. Sumina O. I. *Formirovaniye rastitelnosti na tekhnogennykh mestakh obitaniya Kraynego Severa Rossii* [Formation of vegetation in technogenic habitats of the Russian Far North]. St. Petersburg, Inform-Navigator, 2013. 340 p.
14. Sumina O. I., Koptseva E. M. [Diversity and dynamics of vegetation of quarries in the forest-tundra of Western Siberia (the environs of Labytnangi, Yamalo-Nenets Autonomous Okrug)]. In: *Rastitelnost Rossii* [Vegetation of Russia], 2004, no. 6, pp. 83–103.
15. Khrenov V. Ya. *Pochvy kriolitozony Sibiri: morfologiya, fiziko-khimicheskiye svoystva, khimiya geoiya* [Soils of the cryolithozone of Western Siberia: morphology, physicochemical properties, geochemistry]. Novosibirsk, Nauka Publ., 2011. 214 p.
16. Roy D. P., Kovalsky V., Zhang H. K., Vermote E. F., Yan L., Kumar S. S., Egorov A. Characterization of Landsat-7 to Landsat-8 reflective wavelength and normalized difference vegetation index continuity. In: *Remote Sensing of Environment*, 2016, vol. 185, no. 185, pp. 57–70. DOI: 10.1016/j.rse.2015.12.024
17. Soromotin A. V., Lanza G. R., Sizov O. S., Lobotrosova S. A., Abakumov E. V., Zverev A. O., Yakimov A. S. et al. Cyclic and linear trajectories

- of ecosystem evolution on sand dunes in Siberian taiga: A comprehensive analysis. In: *Science of The Total Environment*, 2024, vol. 928, pp. 172265. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2024.172265
18. Forbes B. C., Sumina O. I. Comparative ordination of low Arctic vegetation recovering from disturbance: reconciling two contrasting approaches for field data collection. In: *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, 1999, vol. 31, no. 4, pp. 389–399.
19. Kapitonova O., Aksarina K. On some physical and chemical properties of soils of sandy outcrops of the West Siberian northern regions. In: *Environmental dynamics and global climate change*, 2019, vol. 10, no. 1, pp. 28–37. DOI: 10.17816/edgcc10533
-

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Сизов Олег Сергеевич — кандидат географических наук, доцент кафедры геоэкологии факультета геологии и геофизики нефти и газа Российского государственного университета нефти и газа имени И. М. Губкина;
e-mail: kabanin@yandex.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Oleg S. Sizov — PhD (Geography), Assoc. Prof., Department of Geoecology, Faculty of Geology and Geophysics of Oil and Gas, Gubkin Russian State University of Oil and Gas;
e-mail: kabanin@yandex.ru

ПРАВИЛЬНАЯ ССЫЛКА НА СТАТЬЮ

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.
DOI: 10.18384/2712-7621-2025-1-41-52

FOR CITATION

Sizov O. S. The dynamics of overgrowth of dry sand quarries in the northern taiga conditions of Western Siberia for the Period from 1985 to 2021. In: *Geographical Environment and Living Systems*, 2025, no. 1, pp. 41–52.
DOI: 10.18384/2712-7621-2025-1-41-52