



УДК 504.75+504.732
DOI 10.52575/2712-7443-2025-49-3-500-516
EDN MUGQLC

Оценка обеспеченности зеленой инфраструктурой жителей северного нефтегазового города (г. Муравленко, ЯНАО)

Миляев И.А., Сизов О.С., Федоров Р.Ю., Скрицкая М.К.

Тюменский научный центр СО РАН

Россия, 625000, г. Тюмень, ул. Малыгина, 86

kabanin@yandex.ru, iw.miliaew@yandex.ru, r_fedorov@mail.ru, mskritskaya@bk.ru

Аннотация. Исследование направлено на оценку обеспеченности открытыми зелеными пространствами нефтегазового города Муравленко, расположенного на юге Ямало-Ненецкого автономного округа. Методология основана на определении количественных и качественных параметров озеленения с использованием мультиспектральных спутниковых снимков (*WorldView-2*, *Landsat-4/5/7/8*) и расчете вегетационного индекса *NDVI*. В качестве интегрального показателя использовался индекс «зелености» (*GM*), апробированный ранее на примере города Надыма. Результаты показали сокращение площади растительности в городе Муравленко на 61 % за период урбанизации, при этом с конца 1990-х гг. динамика *NDVI* демонстрирует тренд постепенного восстановления фитомассы. Расчет индекса «зелености» выявил значительный дефицит озеленения в пределах жилых микрорайонов (среднее значение – 3,54, медиана – 0,60). Данный недостаток компенсируется шаговой доступностью окружающих город лесных массивов. Рекомендуются проведение регулярного дистанционного мониторинга зеленой инфраструктуры в северных нефтегазовых городах, поскольку озеленение воспринимается местными жителями как важный фактор комфорта и качества городской среды.

Ключевые слова: урбанизация, *NDVI*, озеленение, нефтегазовый город, Западная Сибирь, дистанционное зондирование, индекс «зелености»

Благодарности: исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-27-00022, <https://rscf.ru/project/25-27-00022/>.

Для цитирования: Миляев И.А., Сизов О.С., Федоров Р.Ю., Скрицкая М.К. 2025. Оценка обеспеченности зеленой инфраструктурой жителей северного нефтегазового города (г. Муравленко, ЯНАО). Региональные геосистемы, 49(3): 500–516. DOI: 10.52575/2712-7443-2025-49-3-500-516 EDN: MUGQLC

Assessment of the Green Infrastructure Availability for Residents of a Northern Oil-and-Gas Town (Muravlenko, YaNAO)

Ivan A. Milyaev, Oleg S. Sizov, Roman Yu. Fedorov, Margarita K. Skritskaya

Tyumen Scientific Centre SB RAS

86 Malygin St, Tyumen 625000, Russia

kabanin@yandex.ru, iw.miliaew@yandex.ru, r_fedorov@mail.ru, mskritskaya@bk.ru

Abstract. This study presents a comprehensive assessment of green infrastructure provision in the town of Muravlenko, focusing on its ecological and social dimensions. Using multispectral satellite imagery (*WorldView-2*, *Landsat-4/5/7/8*) and GIS-based analysis, we quantified vegetation dynamics from 1973 to 2024 through the Normalized Difference Vegetation Index. An integrated "greenness" index (*GM*) was used to evaluate spatial disparities in vegetation coverage across 12 residential microdistricts, incorporating *NDVI*

values, vegetation height, and population density. Key findings reveal a 61 % reduction in vegetative cover during initial urbanization, with partial recovery observed post-1997, particularly in park areas (median NDVI 0.43–0.49). Urban greenery is dominated by shrubs and lawns (26.9 % of total area), while tree cover remains limited (12 %). The GM index highlighted critical deficits in 7 microdistricts (GM <1), though 54 % of residents benefit from proximate forest access (<400 m). The results underscore the need for targeted greening strategies in compact northern cities, emphasizing the "city-in-the-forest" concept to enhance climate resilience. Practical implications include recommendations for adapting national urban development programs to Arctic conditions through native species selection and LiDAR-assisted monitoring. This research provides a replicable framework for assessing green infrastructure in resource-extraction cities and towns, balancing quantitative remote sensing with socio-ecological priorities in extreme environments.

Keywords: urbanization, NDVI, greening, oil-and-gas city, Western Siberia, remote sensing, greenness index

Acknowledgements: The research was financially supported by the Russian Science Foundation, project no. 25-27-00022, <https://rscf.ru/en/project/25-27-00022/>.

For citation: Milyaev I.A., Sizov O.S., Fedorov R.Yu., Skritskaya M.K. 2025. Assessment of the Green Infrastructure Availability for Residents of a Northern Oil-and-Gas Town (Muravlenko, YaNAO). *Regional Geosystems*, 49(3): 500–516 (in Russian). DOI: 10.52575/2712-7443-2025-49-3-500-516 EDN: MUGQLC

Введение

Растительность в пределах городской черты, оцениваемая через призму количественных и качественных характеристик, играет важную экосистемную роль в урбанизированном ландшафте и воспринимается местными жителями как один из наиболее важных факторов обеспечения комфортного проживания в искусственно формируемой городской среде [Kuklina et al., 2021]. Особое значение имеет успешное решение задачи озеленения в арктических нефтегазовых городах, где большая часть населения является приезжими из более южных регионов. Интродукция привычных видов древесно-кустарниковой растительности, помимо выполнения геоэкологических функций (стабилизация температурного режима воздуха, снижение шума, аккумуляция и нейтрализация загрязняющих веществ), способствует сокращению периода психологической адаптации к суровым арктическим или субарктическим природным условиям [Campbell et al., 2016].

Исследования городской зеленой инфраструктуры и экосистемных услуг, использующие ландшафтно-экологический подход, по большей части охватывают города, находящиеся в благоприятных природно-климатических условиях [Климанова и др., 2018; 2022]. Вместе с тем проводится изучение геохимических условий и деятельности почвенных микробных сообществ городских арктических почв на примере Мурманска и Апатитов [Korneykova et al., 2022], что свидетельствует об интересе к функционированию городских экосистем арктических городов. Выявлено повышенное содержание органического вещества в почве озелененных урбанизированных территорий [Dvornikov et al., 2021]. В мировой научной литературе по проблематике городской зеленой инфраструктуры отмечается смещение тем исследований в сторону адаптации к изменению климата, наиболее сильно влияющему именно на арктический регион, и применению методов пространственного анализа в изучении закономерностей размещения объектов зеленой инфраструктуры [Jato-Espino et al., 2023]. Данные дистанционного зондирования и современные методы их обработки позволяют проводить точную количественную оценку экологических показателей городского растительного покрова и его доступности для горожан [Сергеева, Пирожков, 2021; Белоусов и др., 2023; Di Palma et al., 2024].

В процессе активного развития централизованной урбанизации на севере Западной Сибири, связанной с освоением нефтегазовых ресурсов, вопросы озеленения в обязательном порядке учитывались при разработке генеральных планов вновь создаваемых городов [Яковлев, 1987]. Как правило, предлагались типовые, нередко адаптированные к северным условиям решения по созданию открытых зеленых пространств, исходя из текущих на



момент проектирования нормативов обеспеченности. При этом под обеспеченностью зачастую понимался обобщенный показатель удельной площади зеленых насаждений применительно ко всему городу ($\text{м}^2/\text{чел.}$) [Оль и др., 1968].

В настоящее время существуют возможности более комплексной оценки обеспеченности растительностью для каждого района или микрорайона города (вплоть до каждого отдельного дома), учитывающей неоднородность ее пространственного распределения и ключевые геоботанические показатели (количество фитомассы, высота растительности) по отношению к неоднородности распределения населения, что было продемонстрировано в отношении г. Надыма [Сизов и др., 2022]. Результаты подобной оценки могут быть востребованы при определении основных направлений развития и улучшения городской среды, а также в рамках текущего мониторинга экологической обстановки [Соромотин и др., 2008; Об утверждении Программы ..., 2024]. Целью данного исследования является оценка обеспеченности зеленой инфраструктурой жителей г. Муравленко, расположенного на юге Ямало-Ненецкого автономного округа (ЯНАО), в рамках предложенного ранее на примере г. Надыма подхода по определению интегрального индекса «зелености» городских микрорайонов.

Объекты и методы исследования

Город Муравленко расположен на локальной возвышенности (абсолютные высоты до 150 м) в пределах северо-таежной подзоны Пуровской низменности (преобладающие породы – сосна, кедр, лиственница с примесью березы) [Физико-географическое районирование..., 1973]. Территория характеризуется резко континентальным климатом: среднегодовая температура января составляет $-23,4^\circ\text{C}$, июля $+15^\circ\text{C}$; зимой температура может опускаться до -56°C . Средняя дата образования устойчивого снежного покрова – 12 октября; разрушения – 10 мая. По периферии города находятся несколько небольших озер ледниково-термокарстового происхождения; многолетняя мерзлота в верхней части грунтовой толщи отсутствует.

Муравленко представляет собой типичный пример централизованной урбанизации советского периода. Дело в том, что падение добычи нефти на основных крупных месторождениях Среднего Приобья в конце 1970-х гг. привело к необходимости разработки более северных запасов [Стась, 2013]. На этом этапе для сохранения темпов освоения Западно-Сибирской нефтегазовой провинции принимается решение о создании новых опорных городских поселений, рассчитанных не более чем на 80 тыс. чел. (чаще всего они образовывались на базе вахтовых поселков) [Куцев, 1982; Колева и др., 2013]. Муравленко, в частности, начал формироваться на месте рабочего поселка в рамках освоения вновь открытых крупных месторождений углеводородов (Муравленковского, Суторминского, Крайнего и др.) (первый строительный десант – конец 1982 года, статус города – с 1990 года). Позднее здесь были размещены нефтедобывающие управления «Суторминскнефть» и «Муравленковскнефть», два управления буровых работ, трест «Ноябрьскнефтегазстрой», девять строительных управлений, семь транспортных управлений и баз, газоперерабатывающий и асфальтобетонный заводы, а также ряд других предприятий и организаций [Быковский, 1999]. Социальная сфера на момент получения городского статуса была представлена четырьмя средними школами, девятью дошкольными учреждениями, концертным залом, домом культуры, библиотекой, больницей, четырьмя поликлиниками и др.

Общая площадь муниципального образования Муравленко составляет 91520 га, однако в данном исследовании рассматривается только основная застроенная часть города площадью 891 га. Численность населения по состоянию на 1 января 2024 года составляет 29581 чел. [Численность постоянного населения ..., 2024]. Как и в большинстве других малых молодых городов Тюменского Севера, застройка Муравленко велась по принципу компактности. Ее основу составили 12 микрорайонов (общая площадь 227 га) с многоквартирными и частными жилыми домами, высотой от 2 до 7 этажей (большинство в конце 1980-х гг.) (рис. 1).

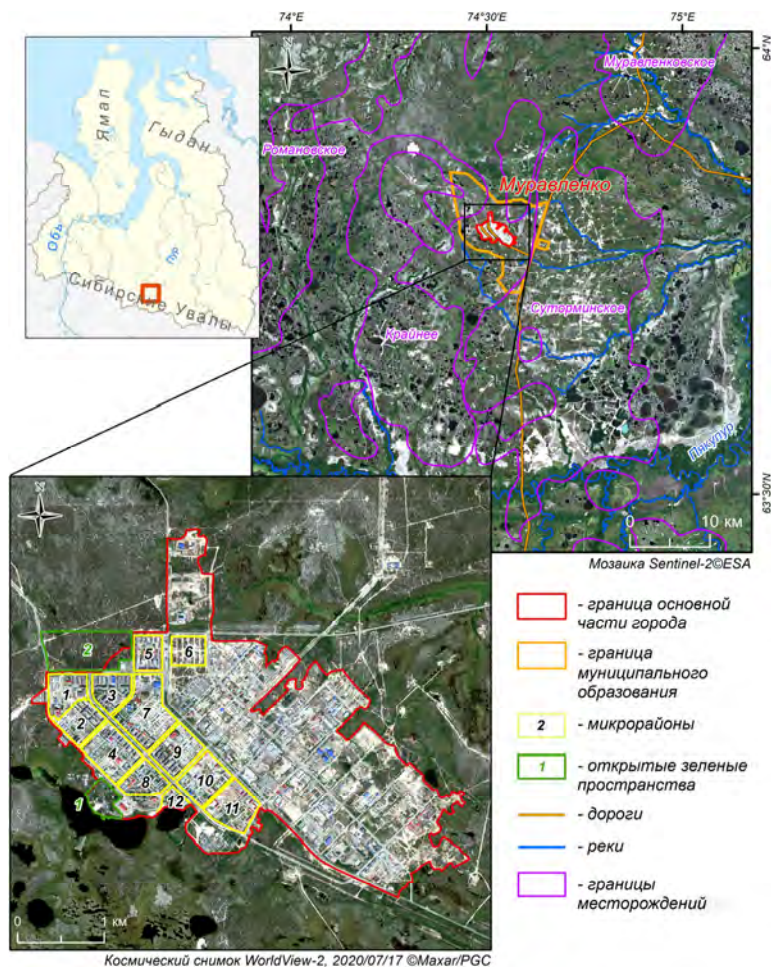


Рис. 1 Обзорная карта города Муравленко
Fig. 1. The town of Muravlenko, overview map

В черте городской застройки озеленение велось в основном вдоль улиц, а также в пределах небольших скверов и бульваров. При этом использовали преимущественно местные породы деревьев и кустарников, среди которых – сосна обыкновенная, береза повислая, рябина сибирская, ольха, ивы разных видов [Рекомендации по созданию..., 2024]. Работы по озеленению осложнялись тем, что местные почвы характеризовались небольшим содержанием органического вещества, поэтому применяли особые методы пересадки саженцев и различные виды органических и минеральных удобрений [Быковский, 1999].

В пределах городской застройки Муравленко общественные пространства преимущественно представлены небольшими скверами и бульварами. Наиболее крупным из общественных пространств города является Парк культуры и отдыха (ПКиО) «Место рождения», площадь которого составляет около 12 га. Парк рассчитан на проведение массовых культурных мероприятий (на его территории установлена сцена) и на семейный отдых (в парке оборудованы детские площадки). Близость озера с песчаным пляжем, а также большое количество зеленых насаждений привлекают большое количество жителей: в летнее время на озере организован прокат лодок и катамаранов; в зимнее – устраиваются катания на оленьих упряжках и снегоходах. Обустройство парка началось в 1995 году; в настоящее время рекреационная функциональность парка активно расширяется. В частности, после завершившегося в 2023 году первого этапа реконструкции здесь появились скамейки с подогревом и мощение пешеходных зон антискользящей плиткой. К парку ведет благоустроенная пешеходная зона, получившая название Парковый бульвар.



В центре города расположен сквер Молодежный, который выполняет функцию центральной площади для проведения официальных мероприятий и праздников. Здесь установлен скалодром, «сухой» фонтан, высажены новые деревья и кустарники (рябина, акация и др.).

В 2021 году возле Соборной мечети открыт Сквер дружбы народов, который символизирует культурное единение представителей разных национальностей, проживающих в городе. Для этого в сквере установлены тематические скульптуры и арт-объекты. Сквер дружбы народов образует единую рекреационную зону с открытым ранее в 2020 году сквером Лазурным. Функционально сквер ориентирован на семейный отдых – здесь установлена детская площадка и различные скульптурные композиции. В 2022 году был значительно обновлен Сквер Победы, который включает монумент Воину-Освободителю, барельеф «Вечный огонь», а также стенды, посвященные Брестской крепости и 12 городам-героям. В южной части города находится сквер Ямальский, где дорожной плиткой выложена стилизованная карта городов ЯНАО. Рядом на Аллее лицейстов создан ряд тематических арт-объектов, посвященных образованию и науке. Из открытых спортивных сооружений Муравленко следует выделить стадион, ориентированный на занятия спортом для широкого круга желающих.

Вдоль северо-западной границы города в прилегающем лесном массиве обустроены Лесная аллея и лыжная трасса. Лесная аллея создана в 2022 году при поддержке компании «Газпромнефть-Ноябрьскнефтегаз» – здесь был установлен сенсорный сад, а также экологические арт-объекты, представляющие собой малые архитектурные формы, украшенные природным материалом (шишками, мхом и растениями). Поблизости в 2023 году обустроена лыжно-роллерная трасса длиной в 3 км, которая рассчитана на использование в зимнее и летнее время.

В целом можно отметить, что за последние годы (2020–2024) в рамках реализации проекта «Формирование комфортной городской среды» национального проекта «Жилье и городская среда» [2018] произошла заметная активизация работ по благоустройству открытых городских пространств Муравленко.

Другая отличительная особенность состоит в том, что наиболее востребованные у населения объекты зеленой инфраструктуры расположены в лесных массивах и у водоемов, которые непосредственно граничат с городской застройкой. Эта особенность определяет важное экологическое и рекреационное значение окружающих Муравленко естественных ландшафтов, формируя особую атмосферу «города в лесу».

Таким образом, развитие рекреационного потенциала города тесно связано с дальнейшим благоустройством как внутренних, так и внешних открытых зеленых пространств.

Исследование пространственного распределения растительности в пределах города Муравленко выполнено с использованием мультиспектрального спутникового снимка *WorldView-2*: дата съемки – 17 июля 2020 г., максимальное разрешение – 0,52 м, сцена – 10300100AA0FC700, источник – *Maxar/Polar Geospatial Center (PGC)*, США. Снимок представлен в значениях отраженной радиации (*reflectance*), что позволяет сразу рассчитать вегетационный индекс *NDVI* (*normalized difference vegetation index*), характеризующий состояние растительного покрова

Формирование маски и классификация растительности производили на основе подходов объектно-ориентированного дешифрирования [Karan et al., 2025]. Методика работ включала выполнение следующей последовательности операций:

- 1) сегментация снимка *WorldView-2* в *Orfeo Toolbox* с расчетом средних значений каналов (синий, зеленый, красный, ближний инфракрасный) для каждого сегмента;
- 2) расчет *NDVI* по снимку *WorldView-2* в *ArcGIS 10.8* и выделение маски растительности (диапазон значений *NDVI* 0,2–0,98);
- 3) вычисление зональной статистики средних и максимальных значений *NDVI*, а также относительной высоты растительности в пределах каждого сегмента в *ArcGIS 10.8*;

4) классификация типов поверхности в среде *R* (пакеты *sf*, *terra*, *randomForest*, *caret*) с применением алгоритма *Random Forest* [Breiman, 2001] к предварительно созданной в *ArcGIS* обучающей выборке (средние значения *NDVI* выборки сегментов растительности $> 0,2$, относительная высота – $0,01\text{--}25$ м) [Сизов и др., 2022].

В процессе классификации выделяли следующие классы: хвойные породы, лиственные породы, кустарники и газоны, оголенные пески, водоемы, здания и сооружения, дороги, тени. Точность классификации оценивалась с помощью 1000 случайно распределенных тестовых точек с построением матрицы ошибок. Итоговая общая точность составила $0,758$, коэффициент Каппа – $0,704$. Для независимого наземного определения классов использовались общедоступные фотопанорамы сервисов Яндекс.Карты и *Google Maps*.

Оценка динамики параметра *NDVI* с 1985 по 2024 год проводилась в пределах территории всего города, ПККиО «Место рождения» и Лесной аллеи. Для расчета использовали архив данных *Landsat-4/5/7/8* (уровень обработки L2), представленных на платформе *Google Earth Engine* [Gorelick et al., 2017]. В ходе анализа был выбран период максимальной вегетации с 15 июля по 15 августа каждого года, что позволило минимизировать сезонные колебания. Получение снимков *Landsat 1-3 MSS* и их последующая атмосферная коррекция методом *Dark Object Subtraction (DOS-1)* [Mather, Koch, 2022] позволили расширить период наблюдений до 1973 года.

Высота растительности получена из набора данных *Global Canopy Height Maps* также с помощью *Google Earth Engine*. Набор содержит информацию о высоте кроны деревьев в глобальном масштабе с пространственным разрешением в 1 м [Tolan et al., 2024].

В качестве геоинформационной основы для оценки обеспеченности зеленой инфраструктурой жителей города Муравленко использовались скорректированные авторами векторные данные *OpenStreetMap*, включающие жилые здания, общественные пространства и улицы. Фактическая информация о жилых зданиях (жилая площадь, этажность, год постройки, адрес) получена из справочной системы ГИС ЖКХ [Информационный ресурс..., 2016], а данные по снесенным строениям уточнены на основе муниципальных документов [Об утверждении схемы ..., 2024]. Общественные пространства классифицированы по типам (парки, скверы, спортивные площадки) и дополнены названиями.

Для пространственного анализа также созданы слои функциональных зон и микрорайонов города, основанные на картах генерального плана муниципального образования [Генеральный план ..., 2017].

С целью составления детальной карты плотности населения получено расчетное значение жителей для каждого дома исходя из доступных значений жилой площади и следующих нормативных требований [СП 42.13330.2016, 2016]: 1) 20 м^2 на 1 чел. в многоквартирных домах; 2) 60 м^2 на 1 чел. в частных домах.

Расчетная численность жителей Муравленко составила 29929 чел., что хорошо согласуется с фактической официальной оценкой в 29581 чел. по состоянию на 1 января 2024 г. [Численность постоянного населения..., 2024]. Таким образом, расчетный метод анализа пространственного распределения населения может быть признан валидным в рамках данной работы.

Пространственный анализ результатов классификации, обработку разнородных пространственных данных, создание и оформление тематических карт осуществляли с помощью ПО *ArcGIS 10.8*.

Результаты и их обсуждение

Архивный космический снимок *Corona KH-2* 1961 года наглядно демонстрирует, что до начала строительства вся территория города (891 га) представляла собой достаточно однородный участок северной тайги без включения речных долин, болот или озер (рис. 2). Результаты дешифрирования актуального (2020 год) снимка *WorldView-2* показали, что за период освоения городского пространства площадь растительного покрова сократилась на 61 % (до 346 га).

Наиболее активно сокращение растительности отмечается с 1986 по 1991 год во время основной фазы строительства жилых зданий и сооружений (рис. 3). Расчеты показывают практически трехкратное снижение индекса *NDVI* для всей территории города (с 0,36 до 0,12, медианное значение) и существенное снижение для территории ПКиО (с 0,31 до 0,21, медианное значение).

Однако уже приблизительно с 1997 года начинается постепенный прирост фитомассы – на текущий момент медианное значение *NDVI* в пределах всей основной территории города вплотную приблизилось к исходному (0,29–0,30 в 2023–2024 гг.). В то же время медианное значение *NDVI* в пределах ПКиО с 2009 года стабильно превышает исходный уровень и в настоящее время достигает 0,43–0,49 (2020–2024 г.). Примечательно, что в пределах участка Лесной аллеи, который не испытал негативного антропогенного воздействия за время строительства и обустройства города, с 2012 года также наблюдается рост значений *NDVI* вплоть до 0,50 в 2024 году.

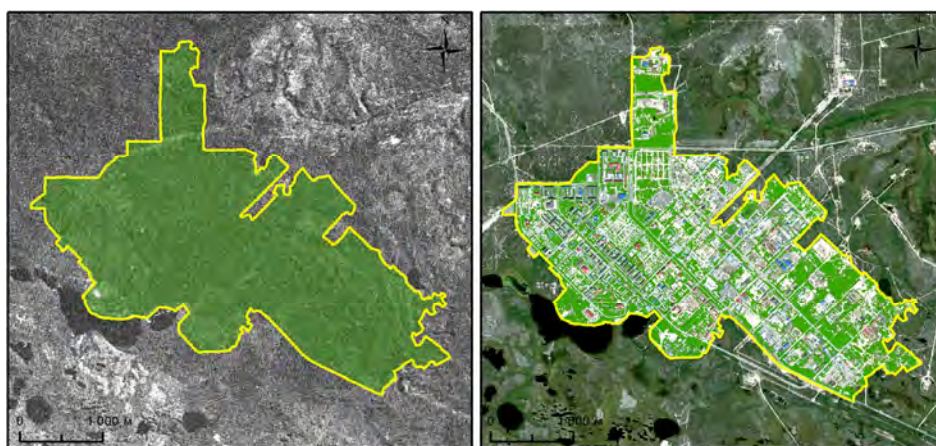


Рис. 2. Участок расположения города Муравленко, желтой линией показаны современные границы основной части города, зеленым показана маска растительности (слева – космический снимок Corona KH-2 от 16 июня 1961 г., © USGS; справа – космический снимок WorldView-2 от 17 июля 2020 г., © Maxar/PGC)

Fig. 2. Location of Muravlenko, the yellow line shows the modern boundaries of the main part of the city, the vegetation mask is shown in green (left – Corona KH-2 satellite image from June 16, 1961, © USGS; right – WorldView-2 satellite image from July 17, 2020, © Maxar/PGC)



Рис. 3. Динамика жилищного строительства относительно динамики *NDVI* в пределах территории города Муравленко и основных зеленых пространств

Fig. 3. Dynamics of residential construction in comparison to the *NDVI* dynamics within the town and main green spaces

Анализ данных дистанционного зондирования Земли показал, что по состоянию на 2020 год общая площадь зеленой инфраструктуры внутри городской черты Муравленко (скверы, парки, аллеи, бульвары) составляла 19,29 га ($6,6 \text{ м}^2/\text{чел.}$). При этом если учитывать всю маску растительного покрова, то значение будет существенно выше ($118 \text{ м}^2/\text{чел.}$).

Важно отметить, что большую часть растительности составляют кустарники и газоны (26,9 % от основной площади города), тогда как насаждения хвойных и лиственных пород составляет всего 7,6 и 4,4 % от площади города соответственно (рис. 4а). Наиболее ценные хвойные деревья сохранились в основном по периферии в западной, восточной и северной частях города, в то время как в пределах жилых микрорайонов они встречаются единично. По всей видимости, на стадии строительства не стояла задача сохранения исходного древостоя, что привело в итоге к необходимости проводить озеленение на нарушенных территориях. Слабую эффективность проведенных мероприятий косвенно подтверждает сохранение высокой доли оголенных песков (17,6 % по состоянию на 2020 год). Ситуацию также усугубляют работы по сносу временных жилых зданий, которые приводят к вторичному уничтожению частично сформировавшейся растительности.

Общее распределение фитомассы в пределах города отличается неравномерностью (рис. 4б). Наименьшие значения *NDVI* в промышленной зоне свидетельствуют о том, что озеленение здесь практически отсутствует. С другой стороны, вдоль границ города отмечаются максимальные объемы фитомассы, что напрямую можно связать с уменьшением степени антропогенного воздействия.



Рис. 4. Классификация типов поверхности (а) и распределение *NDVI* (b) в городе Муравленко на 17.07.2020

Fig. 4. Land cover classification (a) and distribution of *NDVI* (b) in the town of Muravlenko as of 17.07.2020

Анализ состояния зеленых насаждений в пределах жилых микрорайонов показывает в целом высокое среднее значение *NDVI* (0,46; расчет в пределах маски растительности) при относительно низком проективном покрытии (диапазон 22–54 %, среднее значение 34 %) (рис. 5). Разница между микрорайонами при этом незначительная – стандартное отклонение значений *NDVI* в среднем составляет 0,18. Для сравнения в пределах ПКиО среднее значение *NDVI* достигает 0,49 (растительность занимает 77 % парка). Однако если проводить расчет с учетом всей площади микрорайонов, то среднее значение *NDVI* снижается до 0,21, что показывает явный дефицит удельной площади озеленения.

По проективному покрытию заметна значительная разница между старыми (дома постройки 1991 года и раньше) и новыми микрорайонами: в первом случае среднее значение составляет 26,6 %, во втором – 41,4 %. Аномальное соотношение полученных значений может являться признаком вторичной нарушенности почвенно-растительного покрова в процессе демонтажа деревянных временных барачков, поскольку после этого мероприятия по озеленению не проводятся.

Комплексную обеспеченность зелеными пространствами внутри микрорайонов города («зеленость» микрорайонов), согласно [Сизов и др., 2022], можно представить следующим образом:

$$GM = ((NDVI_{mean} \times H_{Veg_{mean}} \times PG) / PM) \times 100,$$

где GM – показатель «зелености», $NDVI_{mean}$ – среднее значение $NDVI$ в пределах микрорайона, $H_{Veg_{mean}}$ – среднее значение высоты растительности в пределах микрорайона, PG – доля зеленой растительности в общей площади микрорайона, PM – общая потенциальная численность жителей микрорайона.

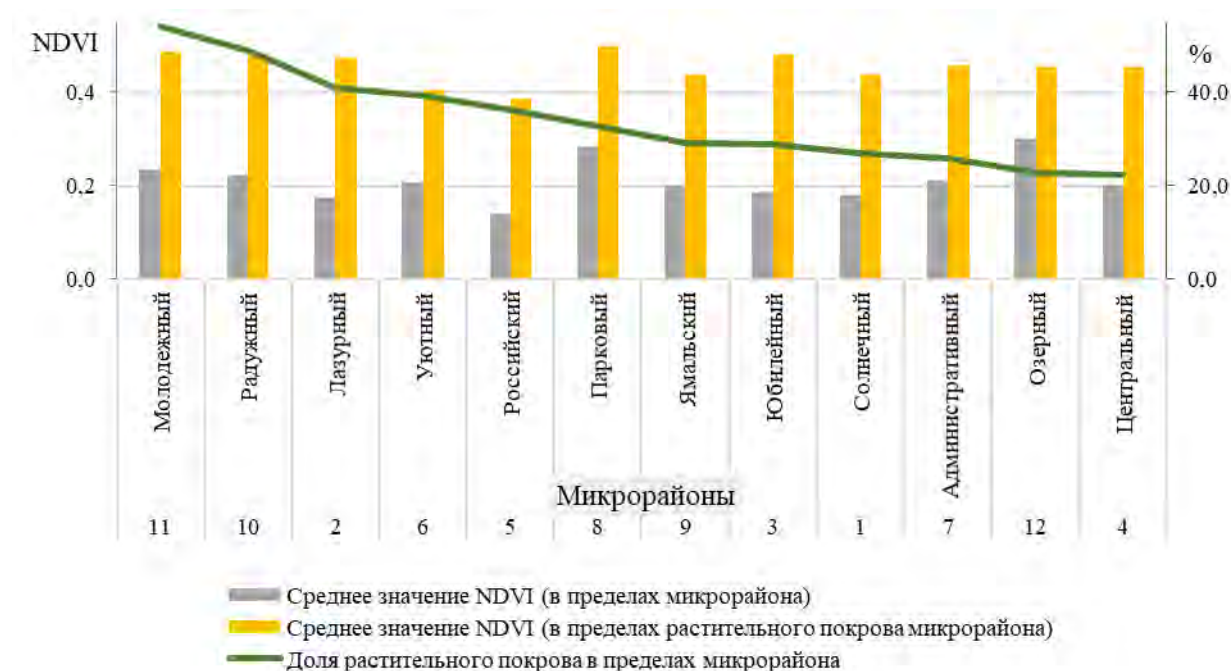


Рис. 5. Состояние зеленых насаждений в жилых микрорайонах Муравленко на 17.07.2020
Fig. 5. Condition of vegetation cover in residential microdistricts of Muravlenko as of 17.07.2020

Проведенные расчеты (рис. 6а, табл.) показали, что средняя обеспеченность зелеными пространствами в пределах микрорайонов составила 3,54 (медиана – 0,60). Максимальные значения в микрорайонах Уютный (19,01) и Озерный (14,29) связаны с низкой плотностью населения (преобладание малоэтажной застройки и частных домов) и периферийным положением относительно основной городской застройки. Для трех микрорайонов (Молодежный, Парковый и Радужный) получены значения GM около 2, что соответствует нижней границе необходимой обеспеченности зелеными пространствами [Сизов и др., 2022]. Для остальных семи микрорайонов значения GM существенно меньше 1 (диапазон 0,35–0,65), что свидетельствует о явном дефиците озеленения. При этом статистическая связь обеспеченности со средним возрастом домов микрорайона не прослеживается.

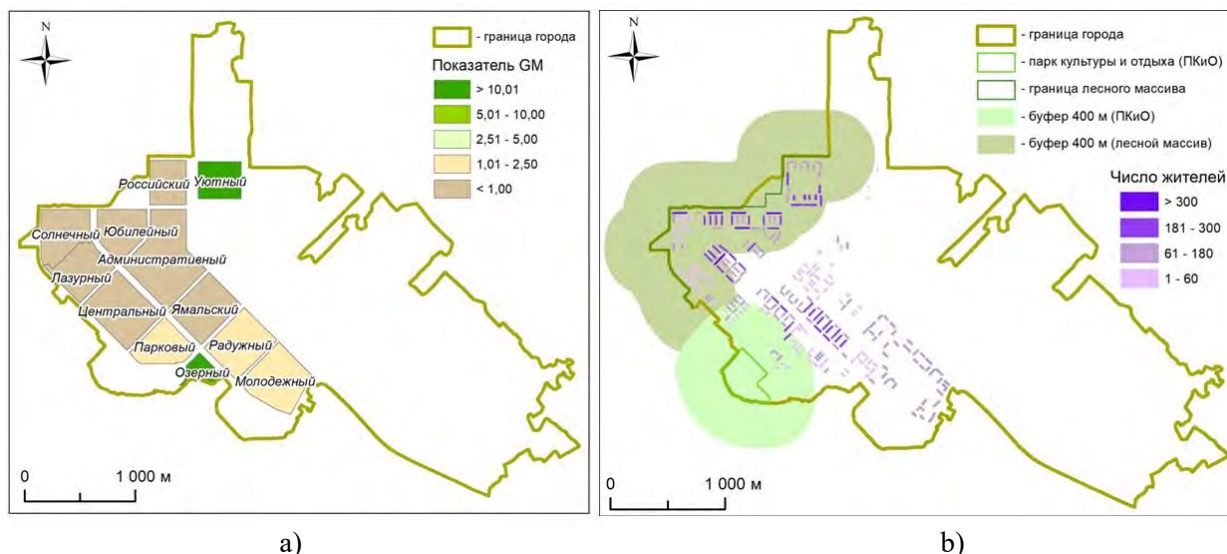


Рис. 6. Обеспеченность микрорайонов Муравленко зелеными пространствами (a) и их доступность (b)
Fig. 6. Provision of microdistricts in the town of Muravlenko with green spaces (a) and their availability (b)

Основные демографические и геоботанические показатели жилых микрорайонов Муравленко
Main demographic and geobotanical indicators of microdistricts in the town of Muravlenko

№	Название микрорайона	Площадь, га		Средний год постройки домов ¹	Потенциальная численность жителей, чел.	NDVI, среднее значение
1	Административный	36,74		1988	2360	0,21
2	Лазурный	17,55		1992	4237	0,18
3	Молодежный	23,24		2012	2112	0,24
4	Озерный	5,90		1991	157	0,30
5	Парковый	14,76		1989	1381	0,29
6	Радужный	21,43		2006	2185	0,22
7	Российский	13,02		2003	3593	0,14
8	Солнечный	18,53		1991	2845	0,18
9	Уютный	13,02		2021	180	0,21
10	Центральный	25,75		1988	3166	0,20
11	Юбилейный	16,49		1994	4336	0,19
12	Ямальский	20,96		1986	3378	0,20
№	NDVI (в пределах участков растительности)			Ср. высота растительности, м	Доля растительности, %	Индекс «зелености» (GM)
	Среднее	Медиана	Ст. отклонение			
1	0,46	0,44	0,20	2,84	25,78	0,65
2	0,48	0,43	0,19	2,19	40,90	0,37
3	0,49	0,45	0,19	3,44	54,06	2,07
4	0,46	0,48	0,19	3,25	22,92	14,29
5	0,50	0,52	0,19	3,41	32,65	2,30
6	0,48	0,42	0,19	3,50	48,99	1,73
7	0,38	0,39	0,17	2,87	36,35	0,41
8	0,44	0,40	0,18	2,44	26,83	0,41
9	0,40	0,33	0,12	4,17	39,41	19,01
10	0,45	0,45	0,18	2,44	22,38	0,35
11	0,48	0,45	0,17	2,80	28,75	0,35
12	0,44	0,44	0,19	3,14	29,08	0,54

Примечание: 1 – без учета снесенных.



Выявленный недостаток озеленения в пределах жилых микрорайонов повышает экосистемную роль и привлекательность окружающих город лесных массивов. Анализ их доступности показал (рис. 6b), что благодаря компактной застройке Муравленко в пределах шаговой доступности (буферная зона 400 м) от фонового леса и благоустроенного ПКиО проживает больше половины (54 %) населения города. В определенной мере это способствует удовлетворению рекреационных потребностей жителей, однако создает значительный ландшафтный контраст между зонами отдыха и основной жизнедеятельности. Наиболее удалена от лесных массивов центральная часть города, где в настоящее время проводится активное развитие объектов зеленой инфраструктуры (преимущественно скверов).

Современные оценки показывают, что требования к условиям комфортного проживания и экосистемным ресурсам в северных нефтегазовых городах неуклонно растут вслед за ростом благосостояния местных жителей [Гончаров и др., 2020]. В частности, в Стратегии развития Муравленко отмечается высокое психологическое и имиджевое значение озеленения улиц и открытых общественных пространств города для его жителей, выявленное в ходе специально проведенных социологических опросов [Стратегия социально-экономического развития ..., 2011]. Кроме того, наличие лесопарковой зоны в окрестностях города рассматривается как уникальный рекреационный ресурс, увеличивающий привлекательность городской среды по сравнению с другими населенными пунктами ЯНАО.

В условиях сурового субарктического климата, значительной удаленности от Большой земли и монопрофильного уклада экономики благоустройство города сопряжено с решением целого ряда технических и социально-экологических проблем, не имеющих аналогов в других регионах. Тем не менее, результаты данного исследования фиксируют значительные позитивные изменения в части обновления и расширения объектов зеленой инфраструктуры Муравленко благодаря последовательной реализации проекта «Формирование комфортной городской среды» национального проекта «Жилье и городская среда» (2020–2024 гг.) [2018].

Ключевой особенностью территориальной организации Муравленко является его компактная планировка, которая значительно ограничивает возможности создания новых общественных пространств в черте города. Поэтому в качестве одного из наиболее рациональных землеустроительных подходов активно применяется повышение интенсивности использования сложившейся городской среды путем преобразования неиспользуемых пространств в парковки, скверы, детские и спортивные площадки, а также благоустройства и озеленения тротуаров и пешеходных бульваров. Важную роль при этом играет целенаправленная деятельность по сносу аварийных деревянных зданий, что позволяет проводить реновацию сразу всей освобождаемой территории микрорайона.

На примере Муравленко подтвердилось выявленное ранее положительное воздействие условий арктического города на состояние и динамику прироста растительного покрова [Бочкарев и др., 2023]. Этому, с одной стороны, способствует непосредственное проведение мероприятий по развитию зеленых пространств на регулярной основе. Высаживаются растения, обладающие более высокой вегетирующей способностью по отношению к местным видам. С другой стороны, положительное влияние оказывает сглаживание температурных аномалий в зимний («острова тепла») и летний сезоны, повышенное содержание углекислого газа и стихийное уничтожение подлеска [Варенцов и др., 2022].

Вместе с тем, результаты расчетов показали, что жилые микрорайоны Муравленко характеризуются в целом сниженными значениями «зелености» (среднее – 3,54, медиана – 0,60) по сравнению с более северным Надымом (среднее – 4,78, медиана – 1,67) [Сизов и др., 2022]. В частности, это проявляется в том, что внутри микрорайонов Муравленко практически отсутствует древесная растительность, а газоны и кустарники находятся в угнетенном состоянии. Кроме того, в процессе сноса жилых домов образуются обширные

песчаные пустоши, на которых не предполагается проведение озеленения, а естественное возобновление растительности затруднено в силу бедного состава дерново-подзолистых почв. Участки оголенных песков создают дополнительные риски пылевого загрязнения воздуха и снижают экосистемный потенциал города.

В этом отношении существенно возрастает ценность естественных лесных массивов, непосредственно окружающих Муравленко с севера и северо-запада. Именно здесь в настоящее время происходит активное создание дополнительных элементов рекреационной инфраструктуры (тюбинговая, лыжная и лыжероллерная трассы, места для отдыха, смотровая площадка, стихийные пляжи и др.). В процессе их формирования важно максимально сохранить имеющиеся естественные участки древесной растительности, органично вписав в них новые объекты. Для этого может быть предложен комплекс мер в рамках концептуального подхода «города в лесу», когда высокая (шаговая) доступность естественных ландшафтов фактически стирает устойчивую границу городской территории. Среди таких мер можно отметить оборудование экологических троп, мест для разведения костра, мест для складирования мусора, организацию освещения, проведение фитосанитарных процедур и др.

Оценка обеспеченности зеленой инфраструктурой арктических нефтегазовых городов играет важную роль при градостроительном планировании, позволяя в полной мере учесть региональные экологические потребности местных жителей с учетом неоднородности их распределения. Используемая в данном исследовании методика оценки на основе показателя *GM* [Сизов и др., 2022] доказала свою эффективность и, соответственно, может на регулярной основе применяться для других нефтегазовых городов. Расширение практики применения показателя *GM* позволит проводить региональные обобщения, а также своевременно выявлять наиболее проблемные участки. Повышение детальности и достоверности результатов оценки обеспеченности возможно с привлечением данных лидарной и мультиспектральной съемки с беспилотных летательных аппаратов [Tolan et al., 2024].

В целом устойчивое развитие открытых зеленых пространств в пределах городской черты следует воспринимать как один из ключевых факторов повышения жизнестойкости северных нефтегазовых городов [Замятина и др., 2022].

Заключение

Проведенное исследование позволило выявить следующие особенности обеспеченности зеленой инфраструктурой жителей Муравленко:

1) активная застройка города в 1980–1990-х гг. привела к сокращению площади растительного покрова на 61 %, однако с конца 1990-х гг. динамика *NDVI* демонстрирует тренд постепенного восстановления общего количества фитомассы;

2) на основе расчета индекса «зелености» выявлен значительный дефицит озеленения в пределах жилых микрорайонов (среднее значение – 3,54, медиана – 0,60) – древесная растительность здесь практически отсутствует, а газоны и кустарники находятся в угнетенном состоянии;

3) недостаток открытых зеленых пространств в значительной мере компенсируется для большей части (54 %) жителей шаговой (до 400 м) доступностью естественных лесных массивов, окружающих город с севера и северо-запада.

В связи с продолжением в городе работ по обновлению жилого фонда, сопровождаемых неизбежным вторичным нарушением почвенно-растительного покрова, обоснованным выглядит развитие концепции «города в лесу», предполагающей тесную интеграцию близлежащих природных ландшафтов в урбанизированную среду (развитие экотроп, создание новых объектов для активного отдыха и т. д.).

В дальнейшем рекомендуется проведение регулярных оценок динамики обеспеченности зеленой инфраструктурой как важного фактора повышения устойчивости



городской среды, с привлечением более детальных материалов дистанционной съемки (лидарной, мультиспектральной). Подобные исследования позволят своевременно выявлять проблемы реализуемых мероприятий по озеленению, а также определять перспективные сценарии реализации потенциальных экосистемных и рекреационных потребностей городских жителей.

Список источников

- Генеральный план муниципального образования город Муравленко Ямало-Ненецкого автономного округа. ООО НИИ «Земля и город». 2017. Электронный ресурс. URL: <https://muravlenko.yanao.ru/activity/34344/> (дата обращения: 18.05.2025)
- Информационный ресурс «ГИС ЖКХ». 2016. Электронный ресурс. URL: <http://dom.gosuslugi.ru/> (дата обращения: 10.04.2025).
- Проект: «Формирование комфортной городской среды» от 01.10.2018. Министерство строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации. Электронный ресурс. URL: https://www.minstroyrf.gov.ru/upload/iblock/b6f/x7e2vfjuizi5w4kjin1pg3myc3lnkegx2/F3-FP_Formirovanie_komfortnoj_gorodskoj_sredy-22.10.2024.pdf (дата обращения: 10.04.2025).
- Об утверждении Программы комплексного развития систем коммунальной инфраструктуры города Муравленко на период с 2024 года до 2035 года: Решение Думы города Муравленко от 19.12.2024 № 357. Электронный ресурс. URL: <https://muravlenko.yanao.ru/documents/active/402678/> (дата обращения: 18.05.2025)
- Об утверждении схемы теплоснабжения муниципального образования город Муравленко на период до 2035 года (корректировка): Постановление от 27 июня 2024 года № 472. Электронный ресурс. URL: <https://muravlenko.yanao.ru/documents/active/358367/> (дата обращения: 18.05.2025)
- Рекомендации по созданию и содержанию зеленых насаждений в населенных пунктах Ямало-Ненецкого автономного округа, а также осуществлению ухода за ними: инструктивно-методическое издание. 2024. Электронный ресурс. URL: <https://dpr.yanao.ru/documents/active/431319/> (дата обращения: 18.05.2025)
- СП 42.13330.2016. Свод правил. Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений. Электронный ресурс. URL: <https://docs.cntd.ru/document/456054209> (дата обращения: 28.02.2025).
- Стратегия социально-экономического развития муниципального образования город Муравленко на период до 2030 года. Москва-Муравленко, 2011. Электронный ресурс. URL: <https://muravlenko.yanao.ru/documents/active/183311/> (дата обращения: 18.05.2025)
- Численность постоянного населения Российской Федерации по муниципальным образованиям на 1 января 2024 года. Росстат. Электронный ресурс. URL: <https://rosstat.gov.ru/compendium/document/13282> (дата обращения: 10.04.2025).

Список литературы

- Белоусов С.К., Евсеев А.В., Красовская Т.М. 2023. Картографирование экосистемных услуг парковых зон Воркуты в целях совершенствования планировочных решений. ИнтерКарто. ИнтерГИС, 29(2): 371–381. <https://doi.org/10.35595/2414-9179-2023-2-29-371-381>
- Бочкарев Ю.Н., Дьяконов К.Н., Соромотин А.В., Сизов О.С. 2023. Дендрохроноиндикация изменения местного климата городской территории Надыма за последние 50 лет. Вестник Московского университета. Серия 5: География, 78(5): 125–132. <https://doi.org/10.55959/MSU0579-9414.5.78.5.12>
- Быковский В.А. 1999. Есть город на Ямале – Муравленко. Екатеринбург, Издательство Екатеринбург, 176 с.
- Варенцов М.И., Репина И.А., Глазунов А.В., Самсонов Т.Е., Константинов П.И., Степаненко В.М., Лыкосов В.Н., Артамонов А.Ю., Дебольский А.В., Печкин А.С., Соромотин А.В. 2022. Особенности пограничного слоя атмосферы г. Надым по данным экспериментальных измерений и вихреразрешающего моделирования. Вестник Московского университета. Серия 5: География, 6: 64–78. <https://doi.org/10.55959/MSU0579-9414-5-2022-6-64-78>

- Гончаров Р.В., Данькин М.А., Замятина Н.Ю., Молодцова В.А. 2020. Соборы в пустыне или опорные базы? Типология населенных пунктов российской Арктики по характеру взаимосвязи с окружающей территорией. *Городские исследования и практики*, 5(1): 33–56. <https://doi.org/10.17323/usp5120209-32>
- Замятина Н.Ю., Котов Е.А., Гончаров Р.В., Бурцева А.В., Гребенец В.И., Медведков А.А., Молодцова В.А., Ключева В.П., Кульчицкий Ю.В., Миронова Б.А., Никитин Б.В., Пилясов А.Н., Поляченко А.Е., Потураева А.В., Стрелецкий Д.А., Шамало И.А. 2022. Оценка потенциала жизнестойкости городов Российской Арктики. *Вестник Московского университета. Серия 5: География*, 5: 52–65.
- Климанова О.А., Букварёва Е.Н., Илларионова О.А., Колбовский Е.Ю. 2022. Оценка экосистемных услуг на муниципальном уровне и ее возможная интеграция в территориальное планирование. *Известия Российской академии наук. Серия географическая*, 86(4): 605–620. <https://doi.org/10.31857/S2587556622040069>
- Климанова О.А., Колбовский Е.Ю., Илларионова О.А. 2018. Экологический каркас крупнейших городов Российской Федерации: современная структура, территориальное планирование и проблемы развития. *Вестник Санкт-Петербургского Университета. Науки о Земле*, 63(2): 127–146. <https://doi.org/10.21638/11701/spbu07.2018.201>
- Колева Г.Ю., Стась И.Н., Шорохова И.И. 2013. Становление индустриально-урбанистического общества на территории Тюменской области. *Тюменский индустриальный университет*, 284 с.
- Куцев Г.Ф. 1982. Новые города: Социологический очерк на материалах Сибири. Москва, Мысль, 269 с.
- Оль Г. А., Римская-Корсакова Т. В., Танкян В. Г. 1968. Планировка и застройка жилых комплексов Крайнего Севера. Ленинград, Стройиздат, 120 с.
- Сергеева О.С., Пирожков С.П. 2021. Разработка методики расчета площади озеленения города с применением данных дистанционного зондирования Земли. *Географический вестник*, 2(57): 170–181. <https://doi.org/10.17072/2079-7877-2021-2-170-181>
- Сизов О.С., Федоров Р.Ю., Печкина Ю.А., Мичугин М. С., Куклина В.В., Соромотин А.В., Федаш А.В. 2022. Оценка обеспеченности зеленой инфраструктурой жителей арктического города (на примере Надыма). *Арктика: экология и экономика*, 12(4): 475–490. <https://doi.org/10.25283/2223-4594-2022-4-475-490>
- Соромотин А.В., Хотеев В.В., Сизов О.С., Питерских А.С. 2008. Комплексное геоэкологическое исследование городской среды г. Муравленко. *Экология урбанизированных территорий*, 2: 34–40.
- Стась И.Н. 2013. Индустриализация Ханты-Мансийского округа как основной фактор развития городов нефтяников во второй половине XX в. *Регионоведческие исследования*, 2(25): 95–104.
- Физико-географическое районирование Тюменской области. 1973. Под ред. Н.А. Гвоздецкого. Москва, Издательство МГУ, 246 с.
- Яковлев А.В. 1987. Градостроительство на Крайнем Севере. Ленинград, Стройиздат, 182 с.
- Breiman L. 2001. Random Forests. *Machine Learning*, 45(1): 5–32. <https://doi.org/10.1023/A:1010933404324>
- Campbell L.K., Svendsen E.S., Sonti N.F., Johnson M.L. 2016. A Social Assessment of Urban Parkland: Analyzing Park Use and Meaning to Inform Management and Resilience Planning. *Environmental Science & Policy*, 62: 34–44. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2016.01.014>
- Di Palma M., Rigillo M., Leone M.F. 2024. Remote Sensing Technologies for Mapping Ecosystem Services: an Analytical Approach for Urban Green Infrastructure. *Sustainability*, 16(14): 6220. <https://doi.org/10.3390/su16146220>
- Dvornikov Y.A., Vasenev V.I., Romzaykina O.N., Grigorieva V.E., Litvinov Y.A., Gorbov S.N., Dolgikh A.V., Korneykova M.V., Gosse D.D. 2021. Projecting the Urbanization Effect on Soil Organic Carbon Stocks in Polar and Steppe Areas of European Russia by Remote Sensing. *Geoderma*, 399: 115039. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2021.115039>
- Gorelick N., Hancher M., Dixon M., Ilyushchenko S., Thau D., Moore R. 2017. Google Earth Engine: Planetary-Scale Geospatial Analysis for Everyone. *Remote Sensing of Environment*, 202: 18–27. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031>
- Jato-Espino D., Capra-Ribeiro F., Moscardo V., Bartolome del Pino L.E., Mayor-Vitoria F., Gallardo L.O., Carracedo P., Dietrich K. 2023. A Systematic Review on the Ecosystem Services Provided



- by Green Infrastructure. *Urban Forestry & Urban Greening*, 86: 127998. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2023.127998>
- Karan S.K., Borchsenius B.T., Debella-Gilo M., Rizzi J. 2025. Mapping Urban Green Structures Using Object-Based Analysis of Satellite Imagery: A Review. *Ecological Indicators*, 170: 113027. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2024.113027>
- Korneykova M.V., Vasenev V.I., Nikitin D.A., Dolgikh A.V., Soshina A.S., Myazin V.A., Nakhaev M.R. 2022. Soil Microbial Community of Urban Green Infrastructures in a Polar City. *Urban Ecosystems*, 25(5): 1399–1415. <https://doi.org/10.1007/s11252-022-01233-8>
- Kuklina V., Sizov O., Fedorov R. 2021. Green Spaces as an Indicator of Urban Sustainability in the Arctic Cities: Case of Nadym. *Polar Science*, 29: 100672. <https://doi.org/10.1016/j.polar.2021.100672>
- Mather P.M., Koch M. 2022. *Computer Processing of Remotely-Sensed Images*. John Wiley & Sons, 388 p.
- Tolan J., Yang H.-I., Nosarzewski B., Couairon G., Vo H.V., Brandt J., Spore J., Majumdar S., Haziza D., Vamaraju J., Moutakanni T., Bojanowski P., Johns T., White B., Tiecke T., Couprie C. 2024. Very High Resolution Canopy Height Maps from RGB Imagery Using Self-Supervised Vision Transformer and Convolutional Decoder Trained on Aerial Lidar. *Remote Sensing of Environment*, 300: 113888. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2023.113888>

References

- Belousov S.K., Evseev A.V., Krasovskaya T.M. 2023. Mapping of Ecosystem Services of Vorkuta Park Zones for Improvement of Planning Solutions. *InterCarto. InterGIS*, 29(2): 371–381 (in Russian). <https://doi.org/10.35595/2414-9179-2023-2-29-371-381>
- Bochkarev Yu.N., Dyakonov K.N., Soromotin A.V., Sizov O.S. 2023. Dendrochronoinidication of Local Climate Change in Nadym City Over the Last 50 Years. *Lomonosov Geography Journal*, 78(5): 125–132 (in Russian). <https://doi.org/10.55959/MSU0579-9414.5.78.5.12>
- Bykovskiy V.A. 1999. *Est' gorod na Yamale – Muravlenko* [There is a City in Yamal – Muravlenko]. Ekaterinburg, Publ. Ekaterinburg, 176 p.
- Varentsov M.I., Repina I.A., Glazunov A.V., Samsonov T.E., Konstantinov P.I., Stepanenko V.M., Lykosov V.N., Artamonov A.Yu., Debolskiy A.V., Pechkin A.S., Soromotin A.V. 2022. Special Characteristics of the Boundary Atmosphere in the City of Nadym According to Experimental Measurements and Eddy-Resolving Modeling. *Lomonosov Geography Journal*, 6: 64–78 (in Russian). <https://doi.org/10.55959/MSU0579-9414-5-2022-6-64-78>
- Goncharov R.V., Dankin M.A., Zamiatina N.Yu., Molodtsova V.A. 2020. Cathedrals the Desert or Strongholds? the Typology of the Settlements in the Russian Arctic by Their Interconnections with the Surrounding Territory. *Urban Studies and Practices*, 5(1): 33–56 (in Russian). <https://doi.org/10.17323/usp5120209-32>
- Zamyatina N.Yu., Kotov E.A., Goncharov R.V., Burtseva A.V., Grebenets V.I., Medvedkov A.A., Molodtsova V.A., Klyueva V.P., Kul'chitskii Yu.V., Mironova B.A., Nikitin B.V., Pilyasov A.N., Polyachenko A.E., Poturaeva A.V., Streletskii D.A., Shamalo I.A. 2022. Resilience potential of the Russian Arctic cities. *Lomonosov Geography Journal*, 5: 52–65 (in Russian).
- Klimanova O.A., Bukhareva E.N., Illarionova O.A., Kolbowsky E.Yu. 2022. Assessment of Ecosystem Services at the Municipal Level and Its Possible Integration into Spatial Planning. *Izvestiya Rossiiskoi akademii nauk. Seriya geograficheskaya*, 86(4): 605–620 (in Russian). <https://doi.org/10.31857/S2587556622040069>
- Klimanova O.A., Kolbowsky E.Yu., Illarionova O.A. 2018. The Ecological Framework of Russian Major cities: spatial structure, territorial planning and main problems of development. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo Universiteta. Nauki o Zemle*, 63(2): 127–146 (in Russian). <https://doi.org/10.21638/11701/spbu07.2018.201>
- Koleva G.Yu., Stas I.N., Shorokhova I.I. 2013. *Stanovlenie industrial'no-urbanisticheskogo obshchestva na territorii Tyumenskoy oblasti* [Formation of Industrial-Urban Society in the Tyumen Region]. Tyumen, Publ. Tyumenskiy industrialnyy universitet, 284 p.
- Kutsev G.F. 1982. *Novye goroda: Sotsiologicheskii ocherk na materialakh Sibiri* [New Cities: Sociological Essay on the Materials of Siberia]. Moscow, Publ. Mysl, 269 p.
- Ol G.A., Rimskaya-Korsakova T.V., Tankyan V.G. 1968. *Planirovka i zastroyka zhilykh kompleksov Kraynego Severa* [Planning and Development of Residential Complexes in the Far North]. Leningrad, Publ. Stroyizdat, 120 p.

- Sergeeva O.S., Pirozhkov S.P. 2021. Methodology Development for Calculating the Area of Greenery in a City, Using Remote Sensing Data. *Geographical bulletin*, 2(57): 170–181 (in Russian). <https://doi.org/10.17072/2079-7877-2021-2-170-181>
- Sizov O.S., Fedorov R.Yu., Pechkina Yu.A., Michugin M.S., Kuklina V.V., Soromotin A.V., Fedash A.V. 2022. Assessing the availability of green infrastructure to residents of an Arctic city (on the example of Nadym). *Arctic: Ecology and Economy*, 12(4): 475–490 (in Russian). <https://doi.org/10.25283/2223-4594-2022-4-475-490>
- Soromotin A.V., Khoteev V.V., Sizov O.S., Piterskikh A.S. 2008. The Complex Geo-Ecological Studies of the Town Environment in the Town of Muravlenko. *Ecology of urban areas*, 2: 34–40 (in Russian).
- Stas' I.N. 2013. Industrialization of the Khanty-Mansi Autonomous Okrug as a Major Factor in the Development of the Oil Workers' Towns in the Second Half of the XX Century. *Regional researches*, 2(25): 95–104 (in Russian).
- Fiziko-geograficheskoe rayonirovanie Tyumenskoy oblasti [Physical Geographical Zoning of Tyumen Region]. 1973. Ed. by N.A. Gvozdetskiy. Moscow, Publ. MGU, 246 p.
- Yakovlev A.V. 1987. *Gradostroitel'stvo na Kraynem Severe* [Urban Planning in the Far North]. Leningrad, Publ. Stroyizdat, 182 p.
- Breiman L. 2001. Random Forests. *Machine Learning*, 45(1): 5–32. <https://doi.org/10.1023/A:1010933404324>
- Campbell L.K., Svendsen E.S., Sonti N.F., Johnson M.L. 2016. A Social Assessment of Urban Parkland: Analyzing Park Use and Meaning to Inform Management and Resilience Planning. *Environmental Science & Policy*, 62: 34–44. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2016.01.014>
- Di Palma M., Rigillo M., Leone M.F. 2024. Remote Sensing Technologies for Mapping Ecosystem Services: an Analytical Approach for Urban Green Infrastructure. *Sustainability*, 16(14): 6220. <https://doi.org/10.3390/su16146220>
- Dvornikov Y.A., Vasenev V.I., Romzaykina O.N., Grigorieva V.E., Litvinov Y.A., Gorbov S.N., Dolgikh A.V., Korneykova M.V., Gosse D.D. 2021. Projecting the Urbanization Effect on Soil Organic Carbon Stocks in Polar and Steppe Areas of European Russia by Remote Sensing. *Geoderma*, 399: 115039. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2021.115039>
- Gorelick N., Hancher M., Dixon M., Ilyushchenko S., Thau D., Moore R. 2017. Google Earth Engine: Planetary-Scale Geospatial Analysis for Everyone. *Remote Sensing of Environment*, 202: 18–27. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031>
- Jato-Espino D., Capra-Ribeiro F., Moscardo V., Bartolome del Pino L.E., Mayor-Vitoria F., Gallardo L.O., Carracedo P., Dietrich K. 2023. A Systematic Review on the Ecosystem Services Provided by Green Infrastructure. *Urban Forestry & Urban Greening*, 86: 127998. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2023.127998>
- Karan S.K., Borchsenius B.T., Debella-Gilo M., Rizzi J. 2025. Mapping Urban Green Structures Using Object-Based Analysis of Satellite Imagery: A Review. *Ecological Indicators*, 170: 113027. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2024.113027>
- Korneykova M.V., Vasenev V.I., Nikitin D.A., Dolgikh A.V., Soshina A.S., Myazin V.A., Nakhaev M.R. 2022. Soil Microbial Community of Urban Green Infrastructures in a Polar City. *Urban Ecosystems*, 25(5): 1399–1415. <https://doi.org/10.1007/s11252-022-01233-8>
- Kuklina V., Sizov O., Fedorov R. 2021. Green Spaces as an Indicator of Urban Sustainability in the Arctic Cities: Case of Nadym. *Polar Science*, 29: 100672. <https://doi.org/10.1016/j.polar.2021.100672>
- Mather P.M., Koch M. 2022. *Computer Processing of Remotely-Sensed Images*. John Wiley & Sons, 388 p.
- Tolan J., Yang H.-I., Nosarzewski B., Couairon G., Vo H.V., Brandt J., Spore J., Majumdar S., Haziza D., Vamaraju J., Moutakanni T., Bojanowski P., Johns T., White B., Tiecke T., Couprie C. 2024. Very High Resolution Canopy Height Maps from RGB Imagery Using Self-Supervised Vision Transformer and Convolutional Decoder Trained on Aerial Lidar. *Remote Sensing of Environment*, 300: 113888. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2023.113888>

*Поступила в редакцию 18.04.2025;
поступила после рецензирования 23.05.2025;
принята к публикации 22.06.2025*

*Received April 18, 2025;
Revised May 23, 2025;
Accepted June 22, 2025*

Конфликт интересов: о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.

Conflict of interest: no potential conflict of interest related to this article was reported.



ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Миляев Иван Александрович, младший научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории палеокриологии и исторической геоэкологии Института криосферы Земли, Тюменский научный центр СО РАН, Тюмень, Россия

Сизов Олег Сергеевич, кандидат географических наук, научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории палеокриологии и исторической геоэкологии Института криосферы Земли, Тюменский научный центр СО РАН, Тюмень, Россия

Федоров Роман Юрьевич, доктор исторических наук, главный научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории палеокриологии и исторической геоэкологии Института криосферы Земли, Тюменский научный центр СО РАН, Тюмень, Россия

Скрицкая Маргарита Константиновна, инженер-исследователь научно-исследовательской лаборатории палеокриологии и исторической геоэкологии Института криосферы Земли, Тюменский научный центр СО РАН, Тюмень, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Ivan A. Milyaev, Junior Researcher, Research Laboratory of Paleocryology and Historical Geoecology, Earth Cryosphere Institute, Tyumen Scientific Centre Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Tyumen, Russia

Oleg S. Sizov, Candidate of Geographical Sciences, Senior Researcher, Research Laboratory of Paleocryology and Historical Geoecology, Earth Cryosphere Institute, Tyumen Scientific Centre Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Tyumen, Russia

Roman Yu. Fedorov, Doctor of Historical Sciences, Chief Researcher, Research Laboratory of Paleocryology and Historical Geoecology, Earth Cryosphere Institute, Tyumen Scientific Centre Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Tyumen, Russia

Margarita K. Skritskaya, Research Engineer, Research Laboratory of Paleocryology and Historical Geoecology, Earth Cryosphere Institute, Tyumen Scientific Centre Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Tyumen, Russia