

ОЦЕНКА ОБЕСПЕЧЕННОСТИ ЗЕЛЕННОЙ ИНФРАСТРУКТУРОЙ ЖИТЕЛЕЙ АРКТИЧЕСКОГО ГОРОДА (НА ПРИМЕРЕ НАДЫМА)

О. С. Сизов

Институт проблем нефти и газа РАН, Российский государственный университет нефти и газа имени И. М. Губкина (Москва, Российская Федерация)

Р. Ю. Федоров

Институт криосферы Земли Тюменского научного центра Сибирского отделения РАН, Тюменский государственный университет (Тюмень, Российская Федерация)

Ю. А. Печкина

ГКУ ЯНАО «Научный центр изучения Арктики»
(Надым, Ямало-Ненецкий автономный округ, Российская Федерация)

М. С. Мичугин

Российский государственный университет нефти и газа имени И. М. Губкина (Москва, Российская Федерация)

В. В. Куклина

Университет Джорджа Вашингтона (Вашингтон, США)

А. В. Соромотин

ФГАОУ ВО Тюменский государственный университет, Отдел методологии междисциплинарных исследований криосферы Тюменского научного центра Сибирского отделения РАН (Тюмень, Российская Федерация)

А. В. Федаш

Российский государственный университет нефти и газа имени И. М. Губкина (Москва, Российская Федерация)

Статья поступила в редакцию 30 марта 2022 г.

На основе дистанционного зондирования рассмотрены особенности формирования и использования зеленых пространств города Надыма, расположенного на территории Ямало-Ненецкого автономного округа. Дана детальная оценка обеспеченности зеленой инфраструктурой жителей Надыма путем сопоставления пространственного распределения растительности и городского населения. Установлено, что при сохранении высокой доступности открытых зеленых пространств в черте города основной дефицит растительности наблюдается в пределах жилой застройки микрорайонов.

Ключевые слова: Надым, городское планирование, дистанционное зондирование, зеленая инфраструктура, социально-экологические проблемы.

Введение

Осваивая новые незаселенные пространства, человек в разных формах трансформирует их геоботаническую среду. Данная ситуация находит отражение при строительстве и развитии современных арктических городов. Изучение процесса формиро-

вания зеленой инфраструктуры в городских условиях и связанного с этим экологического поведения местных жителей имеет высокую актуальность. В первую очередь следует отметить важные для северных городов экосистемные функции растительности, связанные с нейтрализацией загрязняющих веществ в атмосфере, стабилизацией почвенных покровов, защитой от ветра и др. [1]. Кроме

того, наличие обустроенных зеленых пространств в арктических городах имеет важные эстетические и рекреационные функции, приближая их жителей к стандартам жизни, характерным для более южных регионов. Однако такие природно-климатические особенности Арктики, как непродолжительное лето, низкие температуры в холодное время года, незначительная толщина и скудные питательные свойства почвенного слоя, наличие многолетнемерзлых грунтов, а также специфический радиационный режим, связанный с полярными днями и ночами, превращают озеленение северных городов в сложную и трудоемкую задачу.

В России интерес к разработке научных принципов озеленения северных городов начал расти с конца 1940-х годов. Основное внимание уделялось адаптации зеленой инфраструктуры проектируемых городов к природно-климатическим условиям Арктики [2; 3]. Масштабная урбанизация территории тюменского Севера вызвала интерес исследователей к проблемам формирования открытых зеленых городских пространств [4; 5]. С использованием методов дистанционного зондирования проведены исследования влияния на растительность городских островов тепла [6; 7].

В зарубежной литературе отмечается интерес к проблемно ориентированным междисциплинарным исследованиям социально-экологических функций зеленых пространств урбанизированных территорий в контексте развития экосистемных услуг [8; 9]. При этом формирование зеленых пространств в арктических городах США, Канады и скандинавских стран значительно реже становится объектом исследований по сравнению с более южными регионами. Несмотря на наличие ряда современных исследований, посвященных оценке состояния и проектированию развития зеленой инфраструктуры российских городов [10], на сегодняшний день остаются недостаточно разработанными критерии и методы оценки обеспеченности ей городского населения в условиях российской Арктики. Данное исследование приобретает особую актуальность, поскольку создание полноценной зеленой инфраструктуры в расположенных в суровых природно-климатических условиях арктических городах является важным фактором повышения качества жизни их населения, о чем свидетельствуют наши предыдущие исследования [11].

Основной целью данной статьи является детальная оценка обеспеченности зеленой инфраструктурой жителей города Надыма, расположенного в Ямало-Ненецком автономном округе, на основе сопоставления пространственного распределения растительности и городского населения. Под обеспеченностью понимается отношение суммы площадей всех типов зеленых насаждений к численности постоянного населения. Надым был выбран в качестве объекта исследования в связи с тем, что его можно рассматривать в качестве типичного примера компактного города, который был построен в условиях

русской Арктики с «чистого листа», в окружении преобладающих ненарушенных территорий. С другой стороны, благодаря сравнительно «молодому» возрасту города, история формирования его зеленых пространств фиксируется космической съемкой. Эти факторы дают возможность в полной мере проследить характер и динамику антропогенных преобразований зеленой инфраструктуры Надыма, которая на сегодня исследована лишь фрагментарно. В частности, ранее была произведена оценка состояния насаждений парка им. Е. Ф. Козлова [12], исследованы зеленые насаждения главных улиц Надыма [13; 14], а также описаны находки чужеродных растений на территории города [15].

Объект исследований

Город Надым образован в 1972 г. на месте рабочего поселка, который в 1967 г. был создан в качестве опорной базы для освоения Медвежьего нефтегазоконденсатного месторождения. Рабочий поселок, в свою очередь, возник на месте станции Надым железной дороги «Чум — Салехард — Игарка». Она была основана 22 апреля 1949 г. и законсервирована в середине сентября 1953 г. [16]. Численность населения станции достигала 8 тыс. человек, однако к 1967 г там проживали всего около 10 семей. По состоянию на 1 января 2021 г. население города составляло 45 584 человек [17].

Общая площадь муниципального образования Надым составляет 185 км², включая территорию основной части города, промышленную зону в районе аэропорта и участок в районе причала на реке Надым (так называемый 107-й километр). В данном исследовании рассматривается только основная часть города площадью 8,35 км², включающая жилую территорию, где проживает подавляющее большинство населения, и прилегающую зону размещения промышленных предприятий. Жилая территория представляет собой 19 компактных микрорайонов (мкр. — группы жилых домов, ограниченные улицами) общей площадью 1,28 км² (в исследовании рассматриваются 18 микрорайонов, так как мкр. 8а включает только административные здания). Зона малоэтажной и индивидуальной застройки в северной части города относится к мкр. Кедровая роща, поселкам Лесной и Финский (рис. 1).

Надым расположен на обособленном участке (останце) второй надпойменной террасы, сложеной песчаными грунтами, в нижнем течении одноименной реки [18]. Климат — континентальный субарктический с продолжительной зимой и коротким летом. Среднегодовая температура воздуха составляет –5,5°C. Теплый сезон длится около трех месяцев (с 7 июня по 4 сентября) с максимальной среднесуточной температурой выше 12°C (самый жаркий месяц — июль со средним температурным максимумом 19°C). Холодный сезон продолжается в среднем 3,7 мес (с 15 ноября по 5 марта) с минимальной среднесуточной температурой ниже –11°C (самый холодный месяц — январь со средним тем-



Рис. 1. Обзорная карта исследованной территории: 1 – парк «Кедровая роща», 2 – парк культуры и отдыха им. Е. Ф. Козлова, 3 – сквер около Вечного огня, 4 – сквер им. В. В. Ремизова, 5 – сквер у гостиничного комплекса «Юбилейный», 6 – бульвар на набережной им. С. А. Оруджева, 7 – площадь им. В. В. Стрижова (сквер на площади для проведения праздника оленевода), 8 – бульвар им. В. В. Стрижова, 9 – сквер у Дома культуры «Прометей» (сквер покорителей севера), 10 – озеленение вдоль Комсомольской ул., 11 – сквер Свято-Никольского храма, 12 – сквер у администрации города, 13 – озеленение вдоль Ямальской ул. (Рисунок авторов)

Fig. 1. Overview map of the investigated territory: 1 – Park "Cedar Grove", 2 – Kozlov Park of culture and recreation, 3 – Square near the Eternal Flame, 4 – Remizov Square, 5 – Square near the Yubileiny hotel complex, 6 – Boulevard on the Orudzhiev Embankment, 7 – Strizhov Square (square on the site for the reindeer breeder's holiday), 8 – V.V. Strizhov Boulevard, 9 – Square near the House of Culture "Prometheus" (Conquerors of the North Square), 10 – Landscaping along the Komsomolskaya street, 11 – St. Nicholas Church Square, 12 – Square near the city administration, 13 – Landscaping along the Yamalskaya street. (Figure by authors)

пературным минимумом -27°C). Среднегодовое количество осадков составляет 546 мм. Структура почвенного покрова до начала освоения включала иллювиально-железистые подзолы, тундровые по-

верхностно-глеевые, таежные глеево-дифференцированные и торфянисто-болотные почвы. Растительность на территории города была представлена редкостойными лиственнично-березовыми лесами

Таблица 1. Характеристика снимков детального уровня

Спутник	Дата съемки	Разрешение, м/пикс.	Идентификатор
«WorldView-2»	2016/07/01	1,76	10500100052CF700
«WorldView-2»	2019/07/17	2,05	1030010095BFE200
«WorldView-2»	2020/07/20	1,83	10300100AA2ECD00

с вкраплениями ели (*Picea sp.*) и сосны сибирской (*Pinus sibirica* Du Tour) [13]. Участки естественной растительности в настоящее время сохранились в пределах города в парке им. Е. Ф. Козлова и Кедровой роще. Здесь произрастают такие породы, как береза (*Betula sp.*), лиственница сибирская (*Larix sibirica* L.), ель (*Picea sp.*), сосна сибирская (*Pinus sibirica* Du Tour) и др. Кустарники представлены ивой (*Salix sp.*), шиповником (*Rosa acicularis* Lindl.), рябиной (*Sorbus sibirica* Hedl.). Из трав преобладают осоковые (*Cyperaceae*), мятликовые (*Poaceae*), полынь (*Artemisia sp.*), ромашка (*Matricaria*), одуванчики (*Taraxacum officinale* F.H.Wigg.), иван-чай узколистный (*Chamerion angustifolium* L.), пижма (*Tanacetum sp.*).

Массовое озеленение территории города производилось силами самих жителей на протяжении 1980—1990-х годов. Искусственное озеленение в основном велось вдоль улиц и автомобильных дорог, во дворах жилых домов, а также на территориях около общественных зданий и памятных сооружений. В настоящее время на улицах Надыма доминируют такие деревья, как береза пушистая (*Betula pubescens* Ehrh.), ивы разных видов (сизая, черничная, филолистная) (*Salix sp.*), в меньшей степени представлены хвойные деревья — лиственница (*Larix sibirica* Ledeb.), сосна (*Pinus sibirica* Du Tour) и ель (*Picea obovata* L.).

Материалы и методы

Для оценки пространственного распространения и состояния городской растительности использовался мультимасштабный ряд дистанционных данных:

- экстрадетальный уровень — снимки с беспилотного летательного аппарата (БПЛА) с разрешением 13 см/пикс;
- высокодетальный уровень — снимки из космоса с разрешением 0,4—2 м/пикс;
- обзорный уровень — снимки из космоса с разрешением 30 м/пикс.

Для совмещения разнородных дистанционных данных 3—4 апреля 2021 г. проведены наземные геодезические измерения точек планово-высотного обоснования с помощью GPS Trimble GeoXR. Съемка проводилась в режиме передачи поправок в реальном времени (RTK) с базовой станции компании «Геодетика», установленной в центре города. Всего получены точные значения (не хуже 2 см в плане

и по высоте) долготы, широты и высоты 235 точек, которые использовались для совмещения географической привязки всех дистанционных данных экстрадетального и высокодетального уровней.

Съемка с БПЛА «DJI Phantom 4 Pro 2.0» проводилась 13—14 июля 2021 г. с высоты 250 м в полуденное время преимущественно без прямого солнечного освещения (для минимизации теней от высотных зданий). Всего получено 1844 фотографии, покрывающих всю рассматриваемую территорию города. В ходе обработки материалов аэрофотосъемки в программном оборудовании (ПО) AgiSoft MetaShape Pro 1.6.3 получены ортофотоплан с разрешением 6,6 см и цифровая модель поверхности (DSM) с разрешением 13,2 см. Кроме того, на основе класса точек «земная поверхность» построена цифровая модель рельефа (DTM). Высота растительности в пределах города получена путем вычитания DTM из DSM.

Снимки из космоса получены с космического аппарата WorldView-2 с помощью Polar Geospatial Center (США). Для исследования использовались три снимка в период наибольшего накопления фитомассы при максимальных углах солнечного освещения (табл. 1). Снимки представлены в значениях отраженной радиации (reflectance), что позволяет непосредственно проводить расчет нормализованного относительного вегетационного индекса NDVI, который характеризует объем фитомассы растительного покрова.

Получение маски растительности города основано на подходах объектно ориентированного дешифрирования (OBIA) [19]. Методика работ включает выполнение следующих операций:

- сегментация исходного ортофотоплана, полученного с БПЛА (в ПО Orfeo Toolbox 7.4);
- расчет NDVI по каждому снимку WorldView-2 (в ПО ArcGIS 10.8);
- расчет зональной статистики NDVI для каждого из полученных сегментов (в ПО ArcGIS 10.8), включая расчет среднего и максимального значений;
- расчет зональной статистики относительной высоты растительности для каждого из полученных сегментов (в ПО ArcGIS 10.8);
- классификация комбинированного изображения (ортофотоплан и DSM) методом опорных векторов (SVM) в рамках выборки сегментов со средним значением NDVI > 0,05 и относительной высотой в интервале 0,01—25 м (в ПО SAGA GIS 7.8) [20];



Рис. 2. Древесная растительность Надыма: а — сквер около Вечного огня, б — озеленение вдоль Ямальской улицы, в — озеленение вдоль Комсомольской улицы, з — бульвар на набережной им. С. А. Оруджева, д — Парк культуры и отдыха им. Е. Ф. Козлова. (Фото Ю. А. Печкиной, июль 2021 г.)

Fig. 2. Trees in Nadym: а — Square near the Eternal Flame, б — landscaping along the Yamalskaya street, в — landscaping along the Komsomolskaya street, з — boulevard on the Orudzhnev Embankment, д — Kozlov Park of culture and recreation. (Photo by Yulia Pechkina, July, 2021)

При классификации выделялись: лесная растительность, луговая растительность (естественная), газон, асфальт, крыши домов (для каждого цвета крыш отдельный класс), песок, детские площадки. Сбор полевых эталонов для классификации выполнен в июле 2021 г. В качестве тестовых объектов были выбраны Кедровая роща, парк им. Е. Ф. Козлова

ва, скверы около памятника «Вечный огонь», Свято-Никольского храма, насаждения вдоль Ямальской и Комсомольской улиц (рис. 2). Геоботанические описания выполнялись согласно методике [21]. Для оценки видового состава на территории парка им. Е. Ф. Козлова и Кедровой рощи закладывались пробные площадки 25×25 м (по 5 на каждый объ-

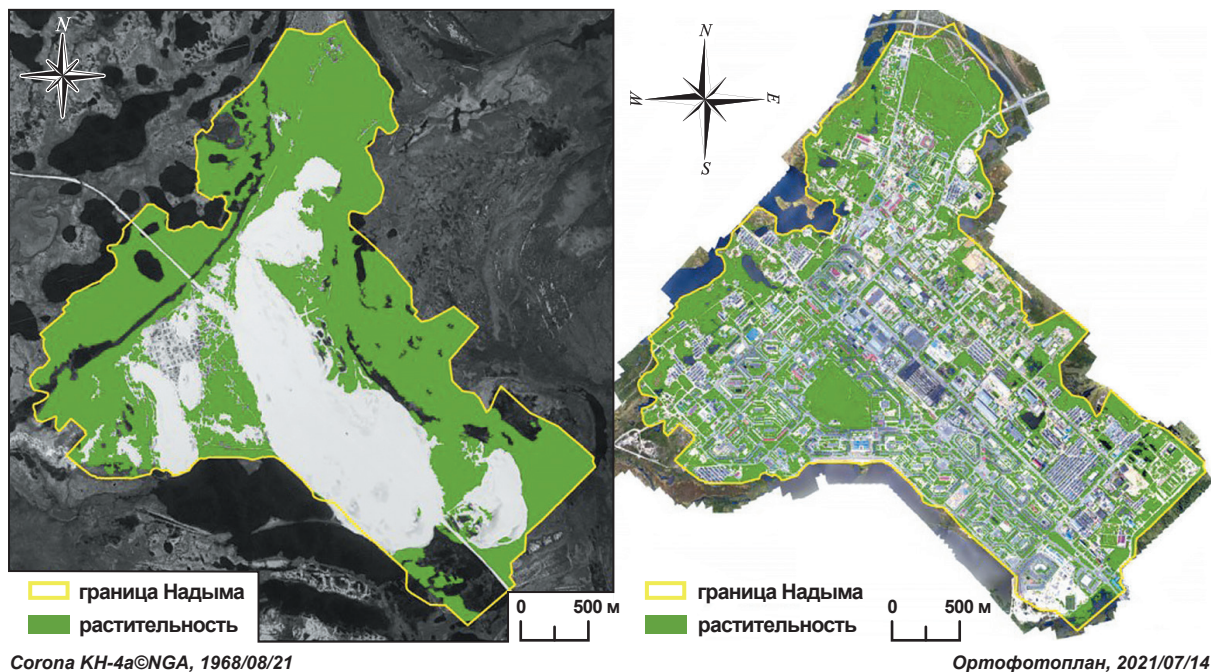


Рис. 3. Изменения растительного покрова Надыма за 1968–2021 гг. (Рисунок авторов)
Fig. 3. Changes in the vegetation cover of Nadym for 1968–2021. (Figure by authors)

ект). При обследовании улиц и скверов учитывались деревья и кустарники на всей площади. Всего описано около 3 тыс. экземпляров деревьев и кустарников. Оценка точности классификации (построение матрицы ошибок) проводилась в SAGA GIS 7.8.

Для оценки исходной площади растительности в пределах города использовался снимок Corona KH-4a (дата съемки 21 августа 1968 г.; идентификатор DS1104-2217DA034_34_b) с разрешением 2 м/пикс (источник — <https://earthexplorer.usgs.gov/>). Анализ снимка также проводился методом OBIA — на первом этапе выполнена сегментация, на втором путем визуального дешифрирования выделено четыре класса поверхности: песок, растительность, водные объекты, антропогенные сооружения (включая дороги).

Оценка динамики NDVI для всего города в целом выполнялась на основе архива данных Landsat с помощью облачной платформы Google Earth Engine (<https://developers.google.com/earth-engine/tutorials/community/landsat-etm-to-oli-harmonization>). Значения NDVI рассчитаны с 1985 по 2021 гг. для летнего периода (с 1 июля по 28 августа каждого года).

Границы микрорайонов и открытых зеленых пространств Надыма получены путем оцифровки генерального плана города [22] и доступных электронных карт [23; 24].

Для получения детальной карты плотности населения на основе ортофотоплана были оцифрованы все жилые строения (многоэтажные, малоэтажные и индивидуальные) в пределах рассматриваемой территории города. Для каждого строения с по-

мощью справочной системы ГИС ЖКХ (<https://dom.gosuslugi.ru/#!/houses>) получены значение жилой площади и другая справочная информация (год постройки, адрес, этажность, общая площадь, состояние и др.). Жилая площадь пересчитывалась в количество жителей на основе нормативной и справочной информации [25] из расчета:

- 20 м² на 1 человека в многоквартирных домах;
- 60 м² на 1 человека в частных домах.

Пространственный анализ результатов классификации и карты плотности населения, а также создание итоговых карт выполнялись с помощью ПО ArcGIS 10.8.

Результаты исследований

Результаты дешифрирования разновременных снимков показали, что общая площадь растительности на территории Надыма с 1968 по 2021 гг. сократилась на 34% (с 425,71 до 280,1 га) (рис. 3). Наибольшее сокращение зеленых пространств относится к периоду активного строительства города с 1981 по 1990 гг. (рис. 4). Динамика индекса NDVI на фоне динамики строительства показывает, что с 1991 г. после завершения основного периода обустройства города началось постепенное восстановление растительности, наблюдаемое с 2000 г. по настоящее время (рис. 5).

Полевые геоботанические обследования показали, что современный видовой состав зеленых насаждений исследуемых объектов представлен 14 видами из 11 родов, 6 семейств и 2 отделов. Среди деревьев и кустарников на обследованных объектах отмечаются береза пушистая (*Betula pubescens*



Рис. 4. Фотографии Надыма 1980-х годов. Источник: <https://pastvu.com>

Fig. 4. Photos of Nadym in 1980s. Source: <https://pastvu.com>

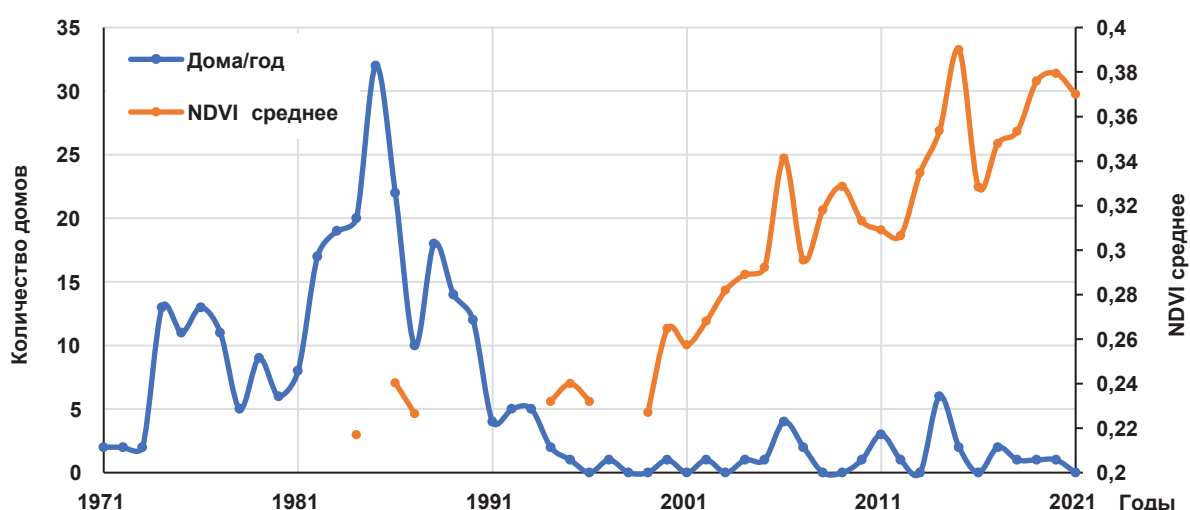


Рис. 5. Динамика строительства жилых домов Надыма и динамика NDVI в пределах города с 1984 по 2021 гг.

(Рисунок авторов)

Fig. 5. Construction dynamics of residential buildings in Nadym and dynamics of NDVI within the city from 1984 to 2021.

(Figure by authors)

Ehrh.), береза повислая (*Betula pendula* Roth.), ель сибирская (*Picea obovata* L.), лиственница сибирская (*Larix sibirica* Ledeb.), сосна сибирская (*Pinus sibirica* Du Tour), сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.), осина обыкновенная (*Populus tremula* L.), ива (*Salix* sp.), рябина сибирская (*Sorbus sibirica* Hedl.), ольха (*Alnus*), черемуха обыкновенная (*Padus avium* Mill.), можжевельник обыкновенный (*Juniperus communis* L.), шиповник иглистый (*Rosa acicularis* Lindl.), жимолость (*Lonicera* sp.).

Пространственное распределение растительности в городе отличается неравномерностью (рис. 6). Более высокие значения NDVI и высоты растительности характерны для западной и северной частей города. Этому способствует прежде всего наличие участков естественной растительности вдоль западной границы, а также относительно крупные зеленые зоны — парк им. Е. Ф. Козлова и Кедровая роща. В восточной части города проективное покрытие растительностью существенно ниже за счет плотной жилой застройки и наличия промзоны. Уве-

личение фитомассы можно отметить только вдоль восточной границы.

При более детальном рассмотрении можно выделить две категории объектов зеленой инфраструктуры — организованные зеленые пространства и микрорайоны компактного проживания местных жителей.

Среди организованных открытых зеленых пространств можно выделить три группы:

- небольшие пространства с высокими значениями NDVI (0,45—0,5): сквер у Вечного огня, зоны озеленения вдоль Комсомольской и Ямальской улиц, скверы Юбилейный, им. В. В. Ремизова, Покорителей Севера и у супермаркета строительных материалов;
- крупные пространства со средними значениями NDVI (0,4—0,44): парк им. Е. Ф. Козлова и Кедровая роща;
- небольшие пространства со средними и низкими значениями NDVI (0,16—0,39): сквер у Никольского храма, мкр. 8а (без скверов им. В. В. Ре-

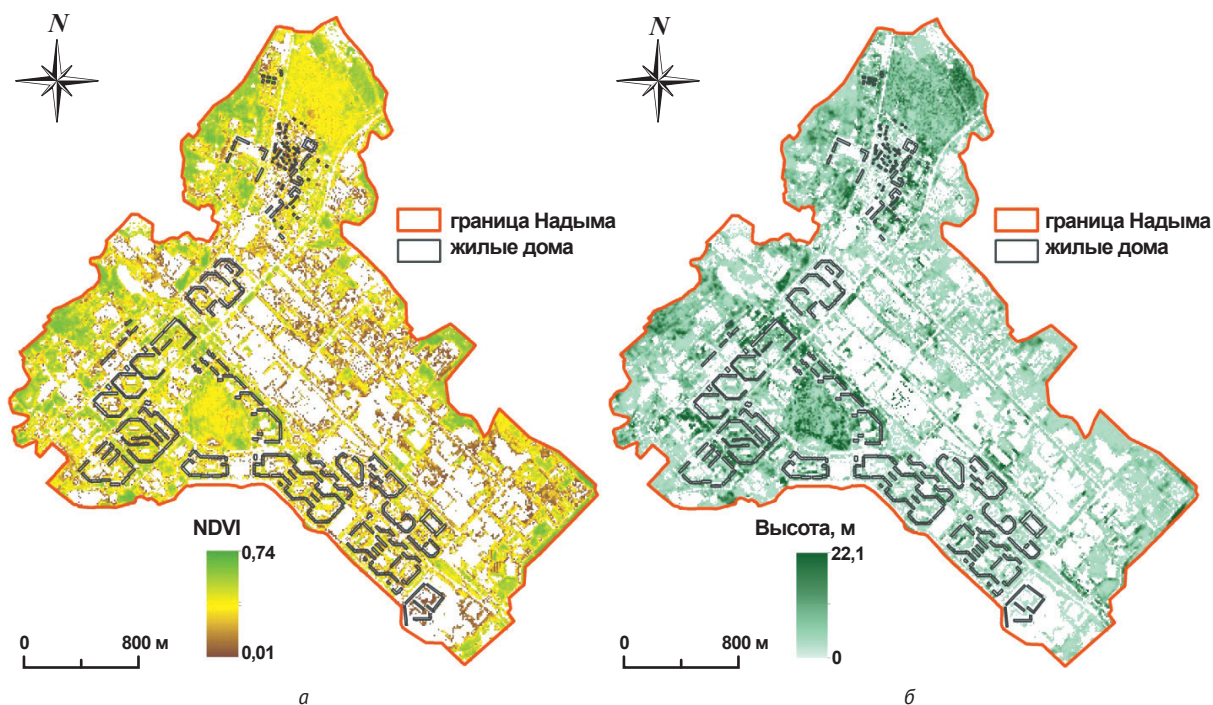


Рис. 6. Распределение значений NDVI (а) и высоты растительности (б) по территории Надыма. (Рисунок авторов)
Fig. 6. Distribution of NDVI value (a) and the vegetation height (b) over the territory of Nadym. (Figure by authors)

мизова и «Прометей»), бульвар и площадь им. В. В. Стрижова.

Для жилых микрорайонов характерно довольно равномерное снижение значений NDVI (от 0,43 — мкр. 2а до 0,25 — мкр. 18) и высоты растительности (от 5,35 — мкр. 26 до 1,41 м — мкр. 56) (табл. 2). От-

части здесь наблюдается связь со средним возрастом домов микрорайона — чем старше дома, тем выше доля древесной растительности с высокими значениями NDVI. В этом плане вполне закономерными являются низкие значения NDVI мкр. 13 (0,18; средняя высота растительности — 0,28 м). Средний

Таблица 2. Статистика по жилым микрорайонам

Микрорайон	Площадь, га	Средний возраст домов (год постройки)	Численность жителей	Среднее значение NDVI	Средняя высота растительности, м	Доля растительности
2а	6,59	1981	1411	0,43	4,56	0,42
4	7,38	1974	1634	0,41	4,86	0,40
Финский поселок	2,67	1984	243	0,40	4,98	0,54
26	6,65	1980	1524	0,39	5,35	0,46
Лесной поселок	14,00	1990	932	0,38	4,65	0,29
5а	4,47	1976	1194	0,36	2,45	0,27
4а	3,19	1987	591	0,35	3,79	0,40
7	14,24	1983	4371	0,34	3,52	0,40
7а	9,73	1979	2644	0,33	3,20	0,34
6	4,45	1979	1063	0,33	2,36	0,27
8	6,52	1981	1400	0,33	2,91	0,25
56	4,17	1976	1371	0,32	1,41	0,29

Окончание табл. 2

Микрорайон	Площадь, га	Средний возраст домов (год постройки)	Численность жителей	Среднее значение NDVI	Средняя высота растительности, м	Доля растительности
3а *	5,04	1996	904	0,32	2,12	0,20
3	1,69	1978	441	0,32	3,66	0,30
9 **	23,57	1984	7454	0,30	2,00	0,29
Кедровый	13,13	2012	1582	0,28	2,70	0,25
17	2,17	1990	759	0,28	3,83	0,30
11	18,55	1988	5424	0,28	1,95	0,29
10	25,14	1990	9985	0,26	1,74	0,25
18	13,81	1995	4194	0,25	1,60	0,18
13 («Олимпийский»)	21,21	2018	3459	0,18	0,28	0,09

* Включая сквер им. Юрия Топчева.

** Включая бульвар по Ленинградскому проспекту и бульвар на улице Зверева.

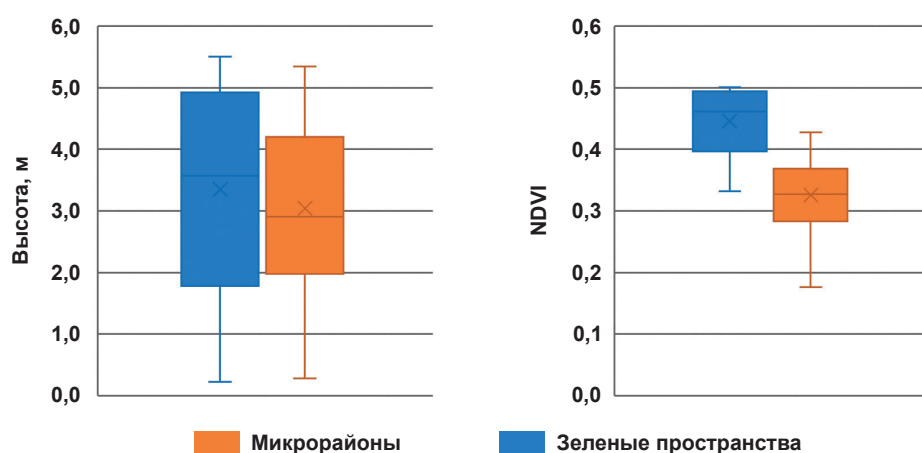


Рис. 7. Сравнение высоты зеленых пространств (а) и NDVI (б). (Рисунок авторов)
Fig. 7. Comparison of the height of green spaces (a) and NDVI (б). (Figure by authors)

возраст домов здесь составляет три года, работы по озеленению придомовой территории закончились в 2020 г., а большая часть территории микрорайона по состоянию на июль 2021 г. представляла собой строительную площадку.

Сравнение двух описанных типов участков в целом показывает, что открытые зеленые пространства достоверно отличаются от микрорайонов более широким диапазоном высот растительности (при этом средние значения сопоставимы), а также большими значениями NDVI (средним и медианным) (рис. 7).

Расчеты показали, что общая вместимость жилых строений Надыма, находившихся в эксплуатации на 1 ноября 2021 г., составила 52 580 потенциальных

жителей, что несколько превышает текущее официальное значение численности населения (45 584 человека), но сопоставимо с пиковым показателем 1989 г. (52 586 человек). Учитывая постоянную трудовую миграцию (вахтовики, сезонные рабочие), мы допускаем, что полученное расчетное значение потенциальной численности может отличаться не более чем на 5% от реальной численности населения города в 2021 г.

Анализ доступности открытых зеленых пространств показывает, что за пределами буферной зоны в 400 м вокруг них оказывается только 12,1% потенциального населения (6364 человека), локализованных преимущественно в юго-восточной ча-

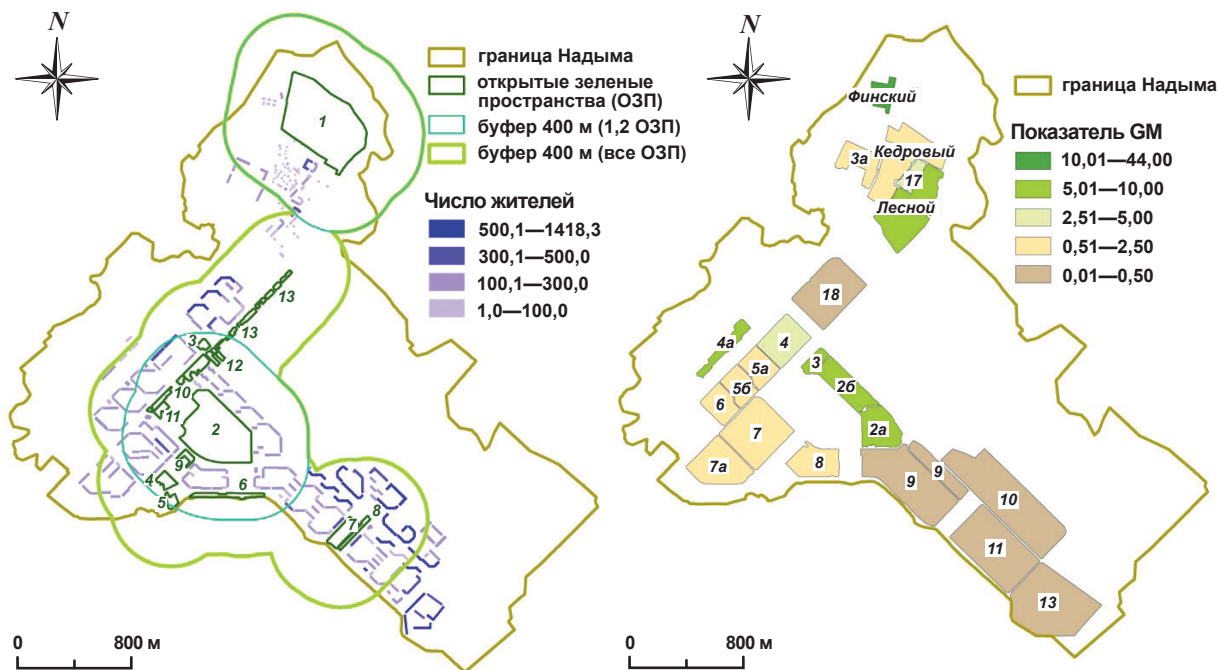


Рис. 8. Показатель доступности зеленых пространств и «зелености» (обеспеченности растительностью) микрорайонов Надыма. (Рисунок авторов)

Fig. 8. The indicator of the availability of green space and “greenness” (provision of vegetation) of microdistricts of Nadym. (Figure by authors)

сти города. При этом если рассматривать наиболее крупные объекты (парк им. Е. Ф. Козлова и Кедровая роща), то в шаговой доступности от них проживает 37,9% потенциального населения (19 918 человек) (рис. 8).

Обеспеченность зелеными пространствами внутри микрорайонов («зеленость») можно представить в виде показателя GM следующим образом:

$$GM = 100 \frac{NDVI_{mean} H_{Veg_{mean}} PG}{PM}, \quad (1)$$

где $NDVI_{mean}$ — 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.

Средняя обеспеченность зелеными пространствами в пределах микрорайонов составила 4,8. Максимальный показатель в мкр. «Финский поселок» связан с низкой плотностью жителей и значительным возрастом домов (рис. 9). Минимальное значение GM в мкр. 13 («Олимпийский») связано с плотным расселением в многоэтажной застройке на фоне продолжения строительных работ. Значения GM изменяются в пределах от 0,1 до 9,1. По всей видимости, явный дефицит озеленения определяется значениями GM менее 2, что подтверждается наземными наблюдениями в микрорайонах города. При таких значениях внутри микрорайонов практически отсутствует древесная растительность, а газоны

находятся в угнетенном состоянии. Показатель GM хорошо соотносится с долей деревьев (растительность выше 2 м) внутри микрорайонов (см. рис. 9), что позволяет использовать его при разработке рекомендаций по озеленению. В первую очередь озеленение требуется в тех микрорайонах, где низкому значению GM соответствует низкая доля древесной растительности (мкр. 3а, 5б, 6, 8).

Дискуссия

В Надыме, как и в целом в российской Арктике, подавляющее большинство городского населения составляют люди, приехавшие из более южных регионов со сложившимися особенностями экологической культуры. Наличие развитой зеленой инфраструктуры, включающей парки, скверы, насаждения во дворах и вдоль дорог, выполняющей важные экологические, рекреационные и эстетические функции, является для них одним из субъективных критериев качества жизни. Жители Надыма воспринимают городские парки в качестве многофункциональных центров притяжения, которые обеспечивают комфортные условия для отдыха, общения, занятий спортом, игр детей, прогулок с собаками и других занятий, играющих важную роль в досуге [11].

В развитии городской среды Надыма местные органы самоуправления ориентируются на ряд нормативных документов, в которых среди приоритетов упоминается создание новых скверов и аллей, а также обустройство имеющихся парков и придомовых

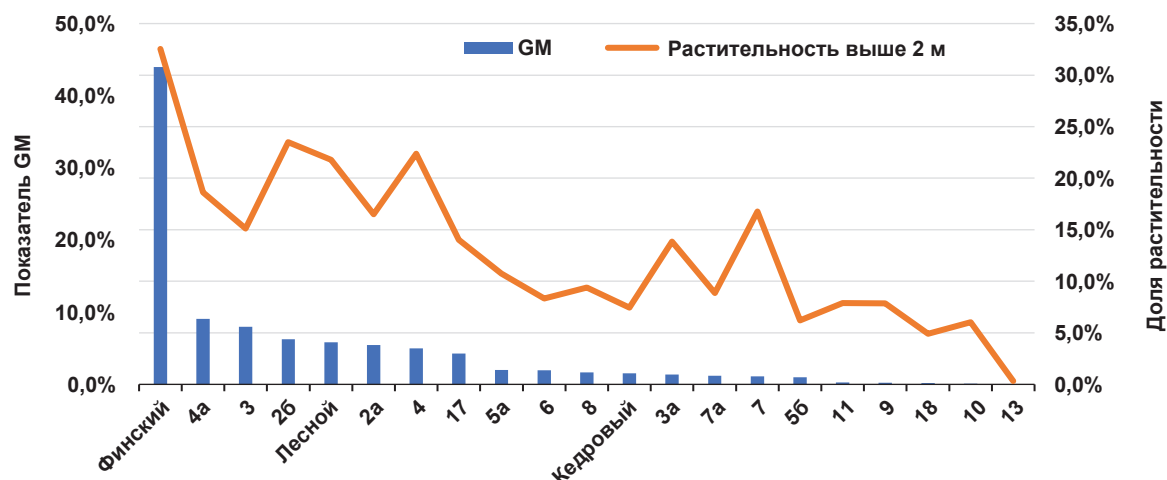


Рис. 9. Доля древесной растительности в соотношении со значением GM по микрорайонам Надыма. (Рисунок авторов)
Fig. 9. The share of woody vegetation in relation to the GM value for the microdistricts of Nadym. (Figure by authors)

территорий [26; 27]. Всего в ходе исследования выделены следующие типы зеленых пространств:

- парки (парк культуры и отдыха им. Е. Ф. Козлова, парк «Кедровая роща»);
- скверы (сквер у памятника «Вечный огонь», сквер им. В. В. Ремизова и др.);
- линейные и групповые посадки вдоль улиц;
- групповые и линейные посадки в жилых дворах;
- групповые посадки на территории общественных и административных учреждений;
- группы из деревьев и кустарников, расположенных вблизи площадок, вдоль дорожек на открытых участках газона;
- солитеры (одиночные экземпляры деревьев, размещаемые на открытых участках, у перекрестков дорожек газонов);
- рокарий (часть озелененной территории, где главную роль играют размещенные камни разного размера; такой рокарий расположен на пересечении улиц Комсомольской и Зверева);
- клумбы, газоны.

Основными объектами зеленой инфраструктуры Надыма являются парки им. Е. Ф. Козлова и «Кедровая роща». Ввиду антропогенных нагрузок и изменений микроклиматических особенностей сохранение на их территории естественной растительности требует ряда специальных мер. Например, на отдельных участках парка им. Е. Ф. Козлова, где произрастают лиственница сибирская (*Larix sibirica* L.), сосна сибирская (*Pinus sibirica* Du Tour) и береза (*Betula* sp.), наблюдается оголение корневой системы из-за вытаптывания тропинок посетителями [12]. На некоторых экземплярах сосны сибирской обнаружены апотеции возбудителя шютте обыкновенного (*Lophodermium seditiosum*) — грибкового заболевания, поражающего хвойные растения [12].

В данной работе использовалось комбинирование материалов съемки с БПЛА и космических снимков.

Данные с БПЛА обеспечили получение наиболее детальной маски растительности и определение ее высоты, а космические снимки позволили собрать статистику о состоянии растительности за несколько лет. Применение БПЛА при соблюдении мер безопасности — достаточно эффективный метод оценки видового разнообразия и мониторинга городской растительности [28]. По сравнению с данными ДЗЗ сверхвысокого разрешения использование БПЛА повышает точность и достоверность результатов картографирования и дешифрирования городской растительности [20]. В настоящее время на БПЛА устанавливаются не только фотокамеры, но и специализированные мультиспектральные и тепловые сенсоры, а также лидары [29], что обеспечивает получение детальных тематических карт вегетационных индексов. Как показывают исследования [30], индекс NDVI, получаемый на основе дистанционных данных со сверхвысоким разрешением, не только отражает общую биомассу растительности, но и коррелирует с биофизическими показателями почвы.

При регулярном мониторинге зеленых пространств города с использованием дистанционных методов появляется возможность составить детальный экологический атлас с подробным описанием растительности для использования в городском планировании и при уточнении планов развития открытых пространств.

Выводы

Исследования показывают, что Надым — успешный пример развития городской зеленой инфраструктуры в сложных природно-климатических условиях Арктики. Это подтверждается неуклонным ростом индекса NDVI с 0,22 в середине 1980-х годов (время активного строительства) до 0,37 в настоящее время (период планомерного озеленения на фоне смягчения климатических условий).

Пространственное распределение растительности в городе отличается неравномерностью. Выделены две основных категории объектов зеленой инфраструктуры — открытые зеленые пространства и жилые микрорайоны, которые характеризуются сходными показателями средней высоты растительности (3,35 и 3,04 м соответственно), но отличаются по среднему значению NDVI (0,45 и 0,33 м соответственно). Среди жилых микрорайонов вполне очевидно проявляется положительная связь среднего возраста домов и более высокого значения NDVI (диапазон значений колеблется в пределах от 0,18 до 0,43). В ходе работы предложен показатель обеспеченности зелеными пространствами жителей внутри микрорайонов (GM), учитывающий среднее значение NDVI, среднюю высоту растительности, долю зеленой растительности и общую потенциальную численность жителей микрорайона. В целом показатель GM прямо пропорционален высоте растительности и обратно пропорционален плотности населения. Анализ показал, что большая часть населения (около 90%) проживает в шаговой доступности от открытых зеленых пространств (на расстоянии не более 400 м).

Опробованная в ходе исследования методика комплексного использования космических снимков среднего и сверхвысокого разрешения, съемки с БПЛА, подробного картографирования жилых домов и полевых геоботанических описаний может быть использована при детальном анализе состояния зеленой инфраструктуры других городов севера Западной Сибири. Оценка обеспеченности зеленой инфраструктурой арктических городов очень важна при градостроительном планировании, позволяя в полной мере учесть региональные экологические потребности местных жителей с учетом неоднородности их распределения.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-55-71004, госзадания Тюменского научного центра Сибирского отделения РАН № 121042000078-9, а также в рамках реализации научной темы Российского государственного университета нефти и газа им. И. М. Губкина.

Литература

1. *Pressman N.* Sustainable Winter Cities: Future Directions for Planning, Policy and Design // *Atmospheric Environment*. — 1996. — Vol. 30, № 3. — P. 521—529.
2. *Миндовский В. Л.* Озеленение северных городов. — Молотов: Молотовгиз, 1947. — 96 с.
3. *Помазкова Е. Н.* Озеленение северных городов и поселков. — Л.: Госстройиздат, 1962. — 127 с.
4. *Мамаев С. А.* Озеленение городов и поселков нефтегазодобывающих районов Среднего Приобья: метод. рекомендации. — Свердловск: Акад. наук СССР. Урал. науч. центр, 1978. — 50 с.
5. *Сродных Т. Б.* Озеленение городов Тюменского Севера. — Екатеринбург: Уральский гос. лесотехн. ун-т, 2006. — 139 с.
6. *Esau I., Miles V.* Warmer urban climates for development of green spaces in northern Siberian cities // *Geography. Environment. Sustainability*. — 2016. — Vol. 9, № 4. — P. 48—62.
7. *Esau I., Miles V. V., Davy R. et al.* Trends in normalized difference vegetation index (NDVI) associated with urban development in northern West Siberia // *Atmospheric Chemistry and Physics*. — 2016. — Vol. 16, iss. 15. — P. 9563—9577. — URL: <https://doi.org/10.5194/acp-16-9563-2016>.
8. *Hegetschweiler K. et al.* Linking demand and supply factors in identifying cultural ecosystem services of urban green infrastructures: A review of European studies // *Urban Forestry & Urban Greening*. — 2017. — Vol. 21. — P. 48—59. — URL: <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2016.11.002>.
9. *Cimburova Z., Pont M.* Location matters. A systematic review of spatial contextual factors mediating ecosystem services of urban trees // *Ecosystem Services*. — 2021. — Vol. 50. — P. 101296. — URL: <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2021.101296>.
10. *Климанова О. А., Колбовский Е. Ю., Илларионова О. А.* Зеленая инфраструктура города: оценка состояния и проектирование развития. — М.: Товарищество науч. изд. КМК, 2020. — 324 с.
11. *Sizov O., Fedorov R., Pechkina Y. et al.* Urban Trees in the Arctic City: Case of Nadym // *Land*. — 2022. — № 11 (4). — P. 531. — URL: <https://doi.org/10.3390/land11040531>.
12. *Попов А. С., Крюк В. И., Гайсин Р. Н. и др.* Оценка состояния кедрово-лиственничного древостоя парка им. Е. Ф. Козлова в г. Надыме Ямало-Ненецкого автономного округа // *Леса России и хоз-во в них*. — 2014. — № 2 (49). — С. 24—29.
13. *Печкина Ю. А., Печкин А. С., Красненко А. С.* Зеленые насаждения города Надыма как элемент экологического каркаса // *Географические исследования Евразии: история и современность: Материалы Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, посвященной 160-летию экспедиции П. П. Семенова на Тянь-Шань*. — М., 2016. — С. 309—313.
14. *Печкин А. С., Печкина Ю. А., Красненко А. С. и др.* Зеленые насаждения главных улиц города Надыма // *Урбоэкосистемы: проблемы и перспективы развития: Материалы VI Международной научно-практической конференции (Ишим, 16 марта 2018 г.)*. — Ишим: Изд-во Тюмен. гос. ун-та, 2018. — С. 117—119.
15. *Письмаркина Е. В., Быструшкин А. Г.* Новые находки чужеродных видов сосудистых растений в Ямало-Ненецком автономном округе (Россия) // *Фиторазнообразие Вост. Европы*. — 2019. — Т. 13, № 1. — С. 107—113.
16. *Строительство 501. Производственно-технический отчет. 1949—51* / Центр. музей железнодорож.

- транспорта МПС (Санкт-Петербург). Науч. архив. Л. 60.
17. https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/MZmdFJyl/chisl_%D0%9C%D0%9E_Site_01-01-2021.xlsx.
18. Грязнов О. Н., Абатурова И. В., Савинцев И. А. и др. Инженерно-геологические условия долинных областей криолитозоны Ямало-Ненецкого автономного округа и их трансформация под воздействием техногенеза. — Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2014. — 198 с.
19. Walker D. A. et al. Environment, vegetation and greenness (NDVI) along the North America and Eurasia Arctic transects // Environment Research Letters. — 2012. — № 7. — P. 015504.
20. Wang X., Wang Y., Zhou C. et al. Urban forest monitoring based on multiple features at the single tree scale by UAV // Urban Forestry & Urban Greening. — 2021. — № 58. — P. 126958. — URL: <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2020.126958>.
21. Методика оценки экологического состояния и нормативы качества зеленых насаждений Санкт-Петербурга / Комитет по природопользованию, охране окружающей среды и обеспечению эколог. безопасности. — Распоряжение Комитета от 23.03.2022 № 76-р «О внесении изменений в распоряжение Комитета от 03.02.2021 № 17-р». — URL: <https://www.gov.spb.ru/gov/otrasl/ecology/metodika-ocenki-ekologicheskogo-sostoyaniya-i-normativy-kachestva-zele/>.
22. <https://nadym.yanao.ru/activity/12783/>.
23. Яндекс Карты. — URL: <https://yandex.ru/maps>.
24. <https://2gis.ru/geo/70030076144257591>.
25. Свод правил. Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений. СП 42.13330.2016. — URL: <https://docs.cntd.ru/document/456054209>.
26. Стратегия социально-экономического развития муниципального образования Надымский район до 2030 года. — URL: <https://nadym.yanao.ru/activity/11468/>.
27. Муниципальная программа «Формирование комфортной городской среды». — URL: <https://libraries-yanao.ru/elektronnye-resursy/elektronnaya-biblioteka/periodiks/pdf/rabochiy-nadyma/2017/417.pdf>.
28. Feng Q., Liu J., Gong J. UAV Remote Sensing for Urban Vegetation Mapping Using Random Forest and Texture Analysis // Remote Sensing. — 2015. — № 7. — P. 1074—1094. — URL: <https://doi.org/10.3390/rs70101074>.
29. Lee G., Hwang J., Cho S. A Novel Index to Detect Vegetation in Urban Areas Using UAV-Based Multispectral Images // Applied Sciences. — 2021. — № 11. — P. 3472. — URL: <https://doi.org/10.3390/app11083472>.
30. Galle N. J., Brinton W., Vos R. et al. Correlation of WorldView-3 spectral vegetation indices and soil health indicators of individual urban trees with exceptions to topsoil disturbance // City and Environment Interactions. — 2021. — Vol. 11. — P. 100068. — URL: <https://doi.org/10.1016/j.cacint.2021.100068>.

Информация об авторах

Сизов Олег Сергеевич, кандидат географических наук, старший научный сотрудник, Институт проблем нефти и газа РАН (119333, Россия, Москва, ул. Губкина, д. 3); доцент, Российский государственный университет нефти и газа им. И. М. Губкина (119991, Россия, Москва, Ленинский просп., д. 65), e-mail: kabanin@yandex.ru.

Федоров Роман Юрьевич, доктор исторических наук, главный научный сотрудник, Институт криосферы Земли Тюменского научного центра Сибирского отделения РАН (625026, Россия, Тюмень, ул. Малыгина, д. 86); ведущий научный сотрудник, Тюменский государственный университет (625003, Россия, Тюмень, ул. Володарского, д. 6), e-mail: r_fedorov@mail.ru.

Печкина Юлия Александровна, научный сотрудник, ГКУ ЯНАО «Научный центр изучения Арктики» (629008, Россия, Тюменская область, Ямало-Ненецкий автономный округ, Салехард, ул. Республики, д. 20, оф. 203), e-mail: pechkinagis@gmail.com.

Мичугин Максим Сергеевич, студент, Российский государственный университет нефти и газа им. И. М. Губкина (119991, Россия, Москва, Ленинский просп., д. 65), cinemich@yandex.ru.

Куклина Вера Владимировна, кандидат географических наук, профессор, Университет Джорджа Вашингтона (20052, 2036 H street, Washington, D.C., USA), e-mail: kuklina@gwu.edu.

Соромотин Андрей Владимирович, доктор биологических наук, директор, НИИ экологии и рационального использования природных ресурсов, Тюменский государственный университет (625003, Россия, Тюмень, ул. Володарского, д. 66); ведущий научный сотрудник, отдел методологии междисциплинарных исследований криосферы Тюменского научного центра Сибирского отделения РАН (625026, Россия, Тюмень, ул. Малыгина, д. 86), e-mail: asoromotin@mail.ru.

Федаш Анатолий Владимирович, доктор технических наук, заведующий кафедрой геоэкологии, Российский государственный университет нефти и газа им. И. М. Губкина (119991, Москва, Ленинский просп., д. 65), e-mail: fedash.av@yandex.ru.

Библиографическое описание данной статьи

Сизов О. С., Федоров Р. Ю., Печкина Ю. А. и др. Оценка обеспеченности зеленой инфраструктурой жителей арктического города (на примере Надыма) // Арктика: экология и экономика. — 2022. — Т. 12, № 4. — С. 475—490. — DOI: 10.25283/2223-4594-2022-4-475-490.

ASSESSING THE AVAILABILITY OF GREEN INFRASTRUCTURE TO RESIDENTS OF AN ARCTIC CITY (ON THE EXAMPLE OF NADYM)

Sizov, O. S.

Oil and Gas Research Institute RAS, Gubkin Oil and Gas University (Moscow, Russian Federation)

Fedorov, R. Yu.

Earth Cryosphere Institute, Tyumen Scientific Center SB RAS, University of Tyumen (Tyumen, Russian Federation)

Pechkina, Yu. A.

Arctic Research Center of the Yamal-Nenets Autonomous Area (Nadym, Russian Federation)

Michugin, M. S.

Gubkin Oil and Gas University (Moscow, Russian Federation)

Kuklina, V. V.

George Washington University (Washington, DC, USA)

Soromotin, A. V.

University of Tyumen (Tyumen, Russian Federation), Department of Methodology of Cryosphere Interdisciplinary Studies, Tyumen Scientific Centre SB RAS (Tyumen, Russian Federation)

Fedash, A. V.

Gubkin Oil and Gas University (Moscow, Russian Federation)

The article was received on March 30, 2022

Abstract

Based on remote sensing data, the authors consider the features of the formation and use of green spaces in the city of Nadym (Yamalo-Nenets Autonomous Area). They give a detailed assessment of the availability of green infrastructure for the inhabitants of Nadym based on a comparison of the spatial distribution of vegetation and the urban population. During the construction of the city, there was a dramatic reduction in the area of vegetation cover, which reached its maximum during active construction in the 1980s. After the completion of the main construction stage and until now, there has been a steady increase in the share of vegetation, which is explained by active landscaping activities against the backdrop of climate softening. The authors have found out that while maintaining the high availability of open green spaces within the city, the main lack of vegetation is observed within the residential development of microdistricts. The methodology for the integrated use of medium and ultra-high resolution space images, UAV surveys, detailed mapping of residential buildings and field geobotanical

descriptions tested during the study can be used in a detailed analysis of the state of the green infrastructure of other cities in the north of Western Siberia. In general, the assessment of the green infrastructure availability in the Arctic cities is of great importance for urban planning, allowing to fully take into account the regional environmental needs of local residents, in the context of the heterogeneity of their distribution.

Keywords: *Nadym, urban planning, remote sensing, green infrastructure, social and environmental issues.*

This research has been supported by RFBR, project No. 20-55-71004, by the state assignment of the Earth Cryosphere Institute No. 121042000078-9 and by the research program of Gubkin Oil and Gas University.

References

1. Pressman N. Sustainable Winter Cities: Future Directions for Planning, Policy and Design. *Atmospheric Environment*, 1996, vol. 30, no. 3, pp. 521—529.
2. Mindovskiy V. L. Greening of the northern towns. Molotov, Molotovgiz, 1947. (In Russian).
3. Pomazkova E. N. Greening of the northern towns and willages. Leningrad, Gosstrojizdat, 1962, 127 p. (In Russian).
4. Mamaev S. A. Greening of cities and towns of the oil and gas producing areas of the Middle Ob region: methodological recommendations. Sverdlovsk, Akad. nauk SSSR. Ural. nauch. centr., 1978, 50 p. (In Russian).
5. Srodnyh T. B. Greening of the Tyumen North cities. Ekaterinburg, Ural'skiy gos. Lesotekhn. un-t, 2006, 129 p. (In Russian).
6. Esau I., Miles V., Davy R., Miles M. W., Kurchatova A. Warmer urban climates for development of green spaces in northern Siberian cities. *Geography. Environment. Sustainability*, 2016, vol. 9, no. 4, pp. 48—62.
7. Esau I. et al. Trends in normalized difference vegetation index (NDVI) associated with urban development in northern West Siberia. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2016, vol. 16, iss. 15, pp. 9563—9577. Available at: <https://doi.org/10.5194/acp-16-9563-2016>.
8. Hegetschweiler K. et al. Linking demand and supply factors in identifying cultural ecosystem services of urban green infrastructures: A review of European studies. *Urban Forestry & Urban Greening*, 2017, vol. 21, pp. 48—59. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2016.11.002>.
9. Cimburova Z., Pont M. Location matters. A systematic review of spatial contextual factors mediating ecosystem services of urban trees. *Ecosystem Services*, 2021, vol. 50, p. 101296. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2021.101296>.
10. Klimanova O. A., Kolbovskij E. Yu., Illarionova O. A. Green infrastructure of the city: assessment of the state and design of development. Moscow, Tovarishchestvo nauch. izd. KMK, 2020. (In Russian).
11. Sizov O., Fedorov R., Pechkina Y., Kuklina V., Michugin M., Soromotin A. Urban Trees in the Arctic City: Case of Nadym. *Land*, 2022, no. 11 (4), p. 531. Available at: <https://doi.org/10.3390/land11040531>.
12. Popov A. S., Kryuk V. I., Gajsin R. N., Luganskij N. V., Gorina E. N. Assessment of the condition of cedar-larch woodland park named after E. F. Kozlov in Nadym, Yamalo-Nenets Autonomous Area. *Les Rossii i hoz-vo v nikh*, 2014, no. 2 (49), pp. 24—29. (In Russian).
13. Pechkina Yu. A., Pechkin A. S., Krasnenko A. S. Green spaces of the city of Nadym as an element of the ecological framework. *Geograficheskie issledovaniya Evrazii: istoriya i sovremennost': Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchenykh, posvyashchennoy 160-letiyu ekspeditsii P. P. Semenova na Tyan'-Shan'*. Moscow, 2016, pp. 309—313. (In Russian).
14. Pechkin A. S., Pechkina Yu. A., Krasnenko A. S., Agbalyan E. V., Semenyuk I. P. Green spaces of the main streets of Nadym. *Urboekosistemy: problemy i perspektivy razvitiya. Materialy VI Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* (Ishim, 16 marta 2018 g.). Ishim, Izd-vo Tyumenskogo gos. un-ta, 2018, pp. 117—119. (In Russian).
15. Pis'markina E. V., Bystrushkin A. G. New finds of alien species of vascular plants in the Yamalo-Nenets Autonomous Area (Russia). *Fitoraznoobrazie Vostochnoi Evropy*, 2019, vol. 13, no. 1, pp. 107—113. (In Russian).
16. Construction 501. Production and technical report. 1949—51. Central Museum of Railway Transport of the Ministry of Railways (St. Petersburg). Scientific archive. List. 60.
17. https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/MZmd-FJyl/chisl_%D0%9C%D0%9E_Site_01-01-2021.xlsx.
18. Gryaznov O. N., Abaturova I. V., Savincev I. A., Emel'yanova I. A., Petrova I. G., Storozhenko L. A. Engineering and geological conditions of the valley areas of the cryolithozone of the Yamal-Nenets Autonomous Area and their transformation under the influence of technogenesis. Ekaterinburg, Izd-vo UGGU, 2014, 198 p. (In Russian).
19. Walker D. A. et al. Environment, vegetation and greenness (NDVI) along the North America and Eurasia Arctic transects. *Environment Research Letters*, 2012, no. 7, p. 015504.
20. Wang X., Wang Y., Zhou C., Yin L., Feng X. Urban forest monitoring based on multiple features at the single tree scale by UAV. *Urban Forestry & Urban Greening*, 2021, no. 58, p. 126958. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2020.126958>.
21. Environmental Assessment Methodology and Quality Standards for Green Spaces in St. Petersburg. Available at: <https://www.gov.spb.ru/gov/otrasl/ecology/metodika-ocenki-ekologicheskogo-sostoyaniya-i-normativy-kachestva-zele/>. (In Russian).
22. <https://nadym.yanao.ru/activity/12783/>.
23. Yandex Maps. Available at: <https://yandex.ru/maps>.
24. <https://2gis.ru/geo/70030076144257591>.

25. Body of rules. Urban planning. Planning and development of urban and rural settlements. SP 42.13330.2016. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/456054209>. (In Russian).
26. Strategy for socio-economic development of the municipality of Nadym district until 2030. Available at: <https://nadym.yanao.ru/activity/11468/>. (In Russian).
27. Municipal program "Formation of a comfortable urban environment". Available at: <https://libraries-yanao.ru/elektronnye-resursy/elektronnaya-biblioteka/periodiki/pdf/rabochiy-nadyma/2017/417.pdf>. (In Russian).
28. Feng Q., Liu J., Gong J. UAV Remote Sensing for Urban Vegetation Mapping Using Random Forest and Texture Analysis. *Remote Sensing*, 2015, no. 7,

pp. 1074—1094. Available at: <https://doi.org/10.3390/rs70101074>.

29. Lee G., Hwang J., Cho S. A Novel Index to Detect Vegetation in Urban Areas Using UAV-Based Multispectral Images. *Applied Sciences*. 2021, no. 11, p. 3472. Available at: <https://doi.org/10.3390/app11083472>.
30. Galle N. J., Brinton W., Vos R., Basu B., Duarte F., Collier M., Ratti C., Pilla F. Correlation of WorldView-3 spectral vegetation indices and soil health indicators of individual urban trees with exceptions to topsoil disturbance. *City and Environment Interactions*. 2021, vol. 11, p. 100068. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.cacint.2021.100068>.

Information about the authors

Sizov, Oleg Sergeevich, PhD of Geography, Senior Researcher, Oil and Gas Research Institute RAS (3, Gubkina str., Moscow, Russia, 119333); Associate Professor, Gubkin Oil and Gas University (65/1 Leninskiy prosp., Moscow, Russia, 119991), e-mail: kabanin@yandex.ru.

Fedorov, Roman Yurievich, Doctor of History, Chief Researcher, Earth Cryosphere Institute, Tyumen Scientific Center SB RAS (86, Malygina str., Tyumen, Russia, 625026); Leading Researcher, University of Tyumen (6, Volodarskogo str., Tyumen, Russia, 625003), e-mail: r_fedorov@mail.ru.

Pechkina, Yulia Aleksandrovna, Researcher, Arctic Research Center of the Yamal-Nenets Autonomous Area (office 203, 20 Respubliki str., Salekhard, Russia, 62900), e-mail: pechkinagis@gmail.com.

Michugin, Maxim Sergeevich, Student, Gubkin Oil and Gas University (65/1 Leninskiy prosp., Moscow, Russia, 119991), e-mail: cinemich@yandex.ru.

Kuklina, Vera Vladimirovna, PhD of Geography, Professor, George Washington University (20052, 2036 H street, Washington, D.C., USA), e-mail: kuklina@gwu.edu.

Soromotin, Andrei Vladimirovich, Doctor of Biological Science, Director of the Institute of environment and natural resource management, University of Tyumen (6 Volodarskogo str., Tyumen, Russia, 625003), e-mail: asoromotin@mail.ru.

Fedash, Anatoly Vladimirovich, Doctor of Engineering Science, Head of Geoecology Department, Gubkin Oil and Gas University (65/1 Leninskiy prosp., Moscow, Russia, 119991), e-mail: Fedash.AV@yandex.ru.

Bibliographic description of the article

Sizov, O. S., Fedorov, R. Yu., Pechkina, Yu. A., Michugin, M. S., Kuklina V. V., Soromotin, A. V., Fedash, A. V. Assessing the availability of green infrastructure to residents of an Arctic city (on the example of Nadym) *Arktika: ekologiya i ekonomika*. [Arctic: Ecology and Economy], 2022, vol. 12, no. 4, pp. 475—490. DOI: 10.25283/2223-4594-2022-4-475-490. (In Russian).

© Sizov O. S., Fedorov R. Yu., Pechkina Yu. A., Michugin M. S., Kuklina V. V., Soromotin A. V., Fedash A. V., 2022