

Оценка обеспеченности зелеными насаждениями городской промышленной зоны Челябинска с использованием изображений Landsat

Т. А. Капитонова¹✉, Т. Г. Крупнова², С. А. Тихонова¹, Г. П. Стручкова¹, О. В. Ракова²

¹Якутский научный центр СО РАН, Институт физико-технических проблем Севера
им. В. П. Ларионова СО РАН, Российская Федерация
(677980, г. Якутск, ул. Октябрьская, 1)

²Южно-Уральский государственный университет, Российская Федерация
(454080, г. Челябинск, проспект им. В.И. Ленина, 76)

Аннотация. Цель – исследование изменений площади зеленого покрытия Челябинска, оценка обеспеченности зелеными насаждениями на душу населения по районам города за последние 20 лет с 2001 по 2020 годы и разработка стратегии увеличения городских лесов.

Материалы и методы. На основе космических снимков со спутников Landsat 5, 7 и 8 и программного комплекса ENVI 5.3 в период с 2001 по 2020 годы сделана радиометрическая и атмосферная коррекция, вычислены значения индекса NDVI и выполнена классификация с обучением для каждого снимка.

Результаты и обсуждение. До выполнения тематической классификации было проведено преобразование снимков с использованием метода «Tasseled Cap», который использовался для выявления изменений наземного покрова на разновременных спутниковых изображениях, что повысило качество дешифрирования характеристик физических свойств растительности. Вычислена площадь растительности в процентном соотношении в Челябинске за 2001–2020 годы по всем районам города.

Выводы. Для улучшения экологической ситуации Челябинска предлагается провести инвентаризацию деревьев с привлечением общественности, высаживать деревья с раскидистыми кронами для создания большей затененности, использовать вертикальное озеленение, уделять больше внимания научным разработкам.

Ключевые слова: город, растительность, временные ряды, Landsat, нормализованный разностный индекс растительности (NDVI), городские леса, промышленный город.

Для цитирования: Капитонова Т. А., Крупнова Т. Г., Тихонова С. А., Стручкова Г. П., Ракова О. В. Оценка обеспечения зелеными насаждениями городской промышленной зоны Челябинска с использованием изображений Landsat // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология*, 2023, № 1, с. 93–102. DOI: <https://doi.org/10.17308/geo/1609-0683/2023/1/93-102>

ВВЕДЕНИЕ

Одним из современных решений по экологизации городской территории и обеспечения устойчивости городского пространства является использование современных технологий городского озеленения. Проведение анализа растительности традиционными наземными методами весьма затруднительно, поэтому использование данных дистанционного зондирования Земли для картирования и оценки состояния городских зеленых насаждений является эффективным и актуальным средством [7, 9, 11].

Применение технологий дистанционного зондирования для картирования биомассы растений в последние годы значительно расширилось. Это объясняется доступностью различных спутниковых изображений среднего и высокого разрешения бесплатно или по относительно низкой цене [1]. Созданы глобальные системы мониторинга растительности. Одновременно с этим на территории Российской Федерации дистанционное зондирование Земли (ДЗЗ) недостаточно применяется для оценки состояния растительного покрова, в том числе городской территории. Такие работы явля-

© Капитонова Т. А., Крупнова Т. Г., Тихонова С. А., Стручкова Г. П., Ракова О. В., 2023

✉ Капитонова Тамара Афанасьевна, e-mail: kapitonova@iptpn.ysn.ru



Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.

ются единичными. В 2015 году природоохранная организация «Гринпис» провела анализ изменения площадей, занятых деревьями и кустарниками, в сравнении с их территориями 2000 года. Для анализа использовались космические снимки Landsat за 2000-2015 годы. С помощью географических информационных систем (ГИС) эксперты выяснили, что, несмотря на новые регулярные «зеленые» посадки, в большинстве административных округов столицы количество лесных и парковых угодий сократилось на 25-45% [4]. Нельзя отрицать, что важность озеленения городских территорий учитывалась в градостроительной практике во времена строительства большинства современных городов России, построенных в Советском Союзе. Вопросы озеленения связывали со всем комплексом вопросов планировки и застройки населенных мест. Общая планировочная структура города предполагала одновременное создание правильной системы озеленения. В последнее время в связи с быстрым расширением территорий городов и наращиванием темпов городского строительства, а также модернизацией городского пространства (расширением дорог в связи с увеличением числа автотранспорта) оптимальное озеленение городской территории было утрачено. В планировочных решениях российских городов не учитывался градо-экологический каркас города. Поэтому применение современных инструментов, в том числе ДЗЗ для мониторинга, вскрытия проблем и разработки эффективных стратегий городского озеленения российских промышленных городов является актуальной научной задачей.

Одним из типичных российских промышленных городов миллиоников является Челябинск. Для его территории характерно сосредоточение на относительно небольшом пространстве большого числа различных металлургических производств черной и цветной металлургии, развитая транспортная сеть, бурный рост в последние годы городского строительства и реконструкция транспортной инфраструктуры. Все это привело к тому, что жители города волнуются по поводу режимов «черного неба» и бесконтрольного вырубания зеленых насаждений. Новизна этого исследования заключалась в том, что это первый раз, когда городское озеленение типичного российского индустриального города оценивалось с использованием спутниковых данных Landsat и NDVI в ретроспективе, были даны рекомендации по современной организации городского озеленения полезные для городских властей.

Целью исследования являются оценка изменений площади зеленого покрытия Челябинска, оценка обеспеченности зелеными насаждениями на душу населения по районам города за последние 20 лет с 2001 по 2020 годы и разработка стратегии увеличения городских лесов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Рассмотрим промышленный город Челябинск, являющийся столицей Южного Урала. Территория города с пригородами и его пригороды простираются на площади 501 км², население – около 1 миллиона человек.

Рельеф города слабохолмистый на западе с постепенным понижением к востоку. Город «разрезается» долиной реки Миасс и ложбинами с озёрами и болотами. Берега Миасса покрыты местами лесом и кустарником. На территории города ниже Шершнёвского водохранилища река в нескольких местах подпружена, образуя систему городских прудов, вследствие чего, русло, разлитое с пологими берегами, дно заиленное. Климат умеренный континентальный, средняя температура января – 16,4 °С, июля 18,1 °С. За год выпадает 436 мм осадков. Преобладающее направление ветров юго-западное и западное. Средняя скорость ветра 3 м/с.

Колоссальное сосредоточение металлургических промышленных предприятий на небольшой территории и отсутствие эффективного планирования сделали его центром экологических проблем. В частности, новые застройки в Челябинске появились после реализации нового плана застройки города. В результате за последние годы произошли значительные изменения как в окружающей среде, так и в ландшафте зеленой инфраструктуры города. Пришлось выдержать давление, вызванное дорожной революцией, когда сотни деревьев были вырублены с дополнительным удалением широких придорожных зеленых насаждений под предлогом повышения безопасности дорожного движения, обеспечения безопасности и модернизации инженерной сети. Дополнительная потеря деревьев происходит из-за изменения климатических условий – аномально холодных зим и затяжных периодов жары и засухи, что привело к гибели многих деревьев. В результате возникают многочисленные экологические проблемы, связанные с нарушением городской экосистемы.

Городской зеленый покров Челябинска и его изменения в период с 2001 по 2020 годы отслеживались с помощью спутниковых снимков. Данные

Landsat 5, 7 и 8 за лето 2001-2020 годов (июль–август) по всему Челябинску были скачаны из бесплатного ресурса. Обработка данных производилась на программном комплексе ENVI 5.3. Была сделана радиометрическая и атмосферная коррекция [3], затем вычислены значения NDVI, и выполнена классификация с обучением для каждого снимка. До выполнения тематической классификации было проведено преобразование снимков с использованием метода «Tasseled Cap» [5, 9], который обычно применяется с целью анализа и выявления изменений наземного покрова на разновременных спутниковых изображениях, что позволяет повысить качество дешифрирования характеристик физических свойств растительности. Алгоритм «Tasseled Cap» представляет собой эмпирическое линейное преобразование шести каналов мультиспектрального изображения в три отдельных трансформированных изображения (яркость, зелёность и влажность), обычно используемых при изучении растительного покрова. Построена карта различий за выбранный промежуток времени.

После классификации методом максимального правдоподобия и пост классификационной обработки была вычислена площадь растительности в процентном соотношении в Челябинске за 2001-2020 годы.

Для оценки точности тематического картирования городских лесов были использованы данные тестовых участков, заложенные во время полевых исследований территории.

Изучим изменение продуктивности растительности в Челябинске (2001-2020 годы) с использованием вариаций NDVI, который является хорошо зарекомендовавшим себя показателем валового фотосинтеза в различных пространственных масштабах и индекса озеленения, плотности и развития растительности. NDVI был получен из диапазона 5 OLI Landsat 8 (NIR, 0,851–0,879 мкм) и диапазона 4 (RED, 0,636–0,673 мкм), как показано в уравнении (1). NDVI определяется как нормализованное отношение коэффициентов отражения в ближнем инфракрасном (NIR) и красном (RED) диапазонах спектрального излучения:

$$NDVI = \frac{\rho_{nir} - \rho_{red}}{\rho_{nir} + \rho_{red}},$$

где ρ_{nir} и ρ_{red} – коэффициенты двунаправленного отражения поверхности для их соответствующих полос.

NDVI основан на контрасте между красным и инфракрасным отражением растительности, поскольку хлорофилл является сильным поглотителем красного света, в то время как внутренняя структура листьев сильно отражается в NIR.

Для выбора исследовательских площадок использовался следующий подход: изучено изменение озеленения в каждом из семи административных районов города, характеристика которых представлена в таблице 1; данные по населению районов города были взяты из официальных данных Федеральной службы государственной статистики по Челябинской области [8].

Таблица 1

Характеристика административных районов города Челябинска
[Table 1. Characteristics of the administrative districts of Chelyabinsk]

Название района / Title of district	Площадь, км ² / Area, km ²	Характеристика / Characteristic
Калининский	48	Район расположен в центральной и западной частях Челябинска
Курчатовский	60	самый молодой из административных районов Челябинска. Расположен в северо-западной части города. На территории района расположены несколько поселков
Ленинский	75	Район строился в 30-40-е годы XX века вместе с промышленными гигантами города. В настоящее время – второй по численности населения и третий по площади район города
Металлургический	106	район расположен в северной обособленной части города. На его территории расположен крупный металлургический комбинат
Советский	78	район образовался в результате слияния нескольких рабочих поселков
Тракторозаводской	70	район расположен в восточной части города. На его территории расположены крупные машиностроительные предприятия
Центральный	44	один из старейших административных районов Челябинска. В настоящее время занимает центральную и западную часть города

Общая площадь города в административных границах составляет 501,57 км². Территория застройки 207,61 км², открытых природных пространств 293,96 км². Озелененные территории общего пользования занимают площадь 57,98 км² или 52,1 м² на жителя. В пределах городской черты расположены: 3 лесопарка (2803 га), 6 городских и районных парков (152 га), 3 городских сада (43 га), 128 скверов (223 га), 19 бульваров (50 га), пешеходные аллеи (626 га), зеленые насаждения жилой за-

стройки (576 га), зеленые насаждения общественной и производственной застройки (203 га).

Площадь городских лесов составляет 1634,96 га. Городские леса расположены отдельными участками в северной, западной и южной окраинах города Челябинска вдоль городской черты (рис. 1). В городских лесах преобладают березовые насаждения – 76 %. Доля хвойных (сосновых) составляет 17 %. Доля остальных пород: ясеня, клена, осины, тополя, ивы древовидной – 7 %.

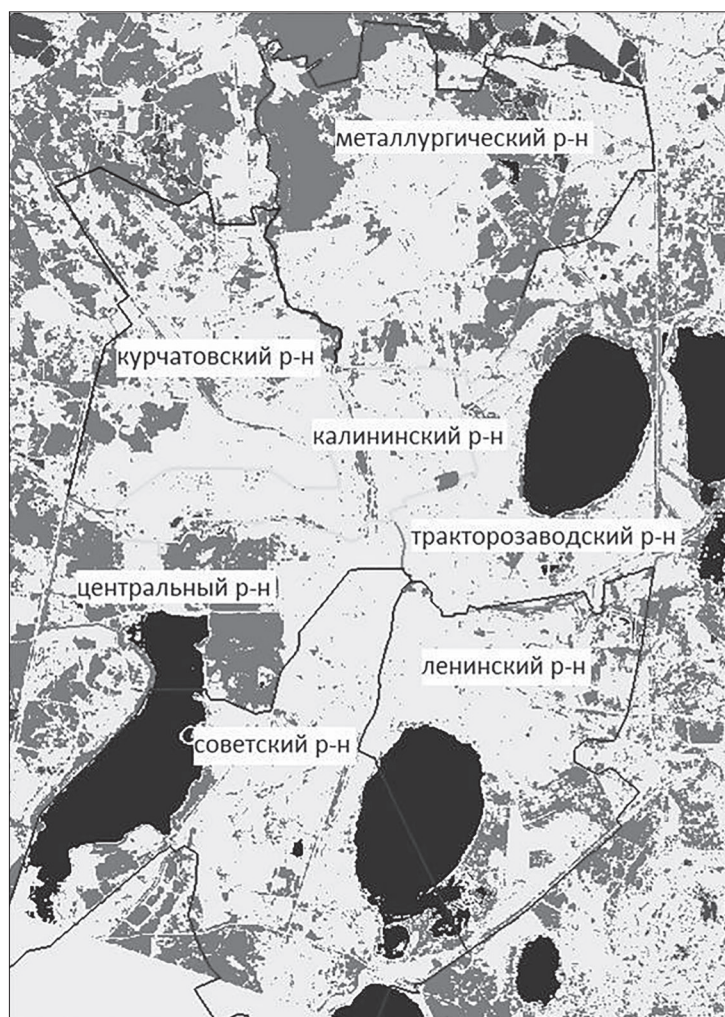


Рис. 1. Схема городских лесов по районам города по результатам дешифрирования снимков Landsat.

Черный цвет – водоемы, темно-серый – деревья

[Fig. 1. The scheme of urban forests by city districts based on the results of decryption of Landsat images.

Black colour – lakes, dark gray – trees]

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Изучение изменения площади городских лесов

Расчет NDVI производился на программном комплексе ENVI 5.3. Производилась радиометрическая и атмосферная коррекции. Далее с помощью инструмента ROI (обучающая выборка) были выделены 7 районов Челябинска; с помощью инструмента Vegetation Index Calculator

(калькулятор индекса растительности) рассчитали индекс NDVI, расчет выполнялся с помощью обучающей выборки. Чтобы узнать процент растительности в нужном участке, мы использовали инструмент Quick Stats (быстрая статистика). По этим данным построили графики изменения площади городских лесов в процентном отношении от общей земельной площади (рис. 2, 3).

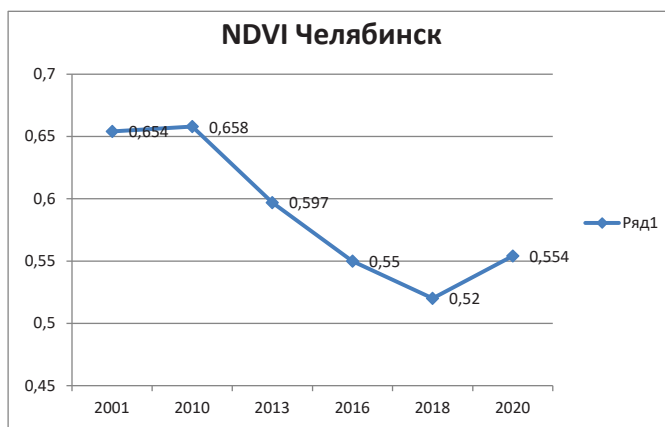
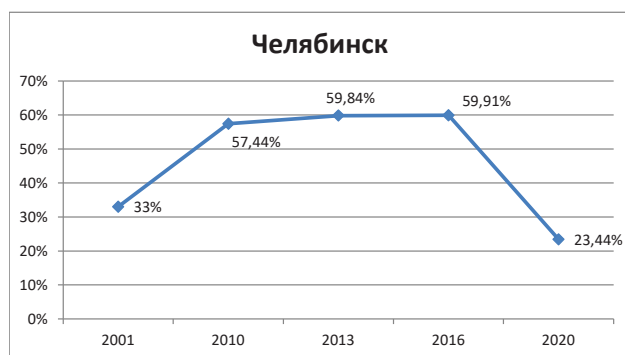


Рис. 2. Изменение индекса растительности (NDVI) Челябинска по годам за период 2001-2020 годы [Fig. 2. Change of the vegetation index (NDVI) of Chelyabinsk by years for the period 2001-2020]



а



б

Рис. 3. Изменение площади городских лесов в процентном отношении от общей земельной площади в Челябинске за 2001-2020 годы (а) и динамика изменения численности населения (б)

[Fig. 3. Change of the urban forests area as a percentage of the total land area in Chelyabinsk during 2001-2020 (a) and population dynamics (b)]

Зеленый покров в 2001 году составлял 33% земельной площади и увеличился до 57% к 2010 году. Эта тенденция роста сохранялась до 2016 года, когда составила 59,9%. В 2018 году произошло резкое сокращение площади озеленения до 23% земельной площади, но к 2020 году произошло восстановление до 42%. Чистый убыток в размере примерно 36% произошел с 2016 по 2020 годы. Большая часть потерь произошла в северной (Металлургический район до 18%) и южной частях города (Центральный, Советский, Ленинский районы до 17-22%) с 2016 по 2020 годы.

Существуют разработанные экологами нормы и стандарты обеспеченности зелеными насаждениями на душу населения, согласно которым на человека должно приходиться не менее 7 кв. м площади зеленых насаждений возле дома, а с учетом лесных массивов, примыкающих к городу, и внутренних парков эта норма варьирует в пределах 70-100 кв. м.

Причем данная норма может учитывать также этажность и плотность застройки района. В го-

роде с многомиллионным населением, крупными промышленными объектами и плотным движением автотранспорта парки, сады и скверы должны занимать более 20% территории. Если город сильно загрязнен деятельностью производств и выхлопами общественного и частного транспорта, зеленые зоны должны составлять не менее 60% от всей территории мегаполиса.

Если опираться на требование по площади зеленых зон для сильно загрязненных городов (не менее 60% от всей площади), то ни один район города не соответствует данному критерию. Если использовать норму 70-100 м²/чел, то можно определить хотя бы формально благополучные районы.

Для Челябинска обеспеченность зелеными насаждениями составляла примерно от 251 м²/чел в 2016 (наиболее благоприятный по озеленению год) до 97 м²/чел в 2018 году (наиболее неблагоприятный по озеленению год) и 177 м²/чел в 2020 году.

Анализ таблицы 2 обеспеченности зелеными насаждениями позволяет заметить, что несмотря на то,

что в среднем по городу обеспеченность составляет 177 м²/чел на человека, наиболее благополучными по обеспеченности зелеными зонами районами являются Советский (226 м²/чел) и Metallургический

(307 м²/чел) районы. Наиболее неблагополучными – Курчатовский (92 м²/чел) и Калининский (49 м²/чел). Калининский район можно назвать катастрофически неблагополучным по всем критериям.

Таблица 2

Распределение обеспеченности зелеными насаждениями на душу населения по районам города за 2020 год [Table 2. Distribution of availability of green spaces per capita by city districts in 2020]

Район города / City district	Площадь, км ² / Area, km ²	Процент площади растительности / Vegetation area, in percentage	Зеленая площадь, км ² / Green area, km ²	Население / Population	Обеспеченность зелеными насаждениями / Availability of green spaces
Калининский	48	23,69	11,3712	228468	49,77
Metallургический	106	38,72	41,0432	133481	307,48
Советский	78	40,39	31,5042	139023	226,61
Центральный	44	31,25	13,75	98685	139,33
Курчатовский	60	34,16	20,496	222117	92,27
Ленинский	75	42,74	32,055	191116	167,72
Тракторозаводской	70,3	29,55	20,7737	183790	113,03
По всему городу	501	42,32	212,023	1196680	177,18

Более подробно были исследованы два района города, которые показали наилучшую (Metallургический район) и наихудшую (Калининский район) обеспеченность зелеными насаждениями на душу населения за 2020 год. По данным рай-

онам были проведены оценки динамики изменения площади городских лесов в процентном отношении от общей земельной площади при соответствующем изменении численности населения.

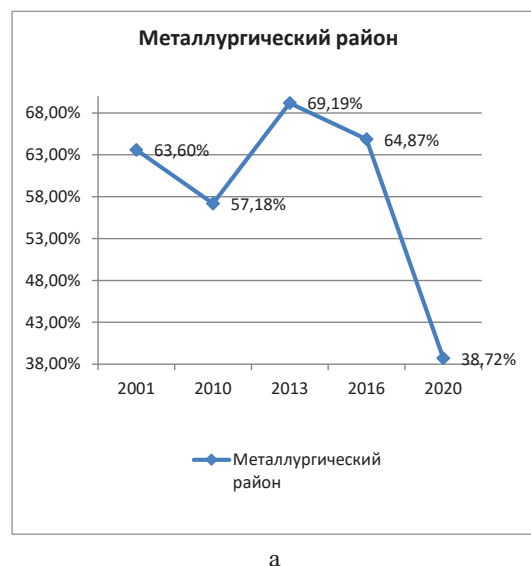


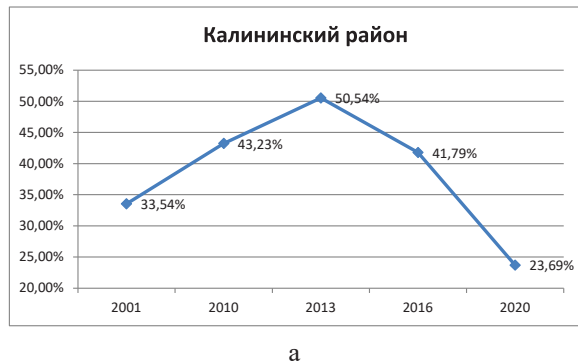
Рис. 4. Изменение площади городских лесов в процентном отношении от общей земельной площади в Metallургическом районе за 2001-2020 годы (а) и динамика изменения численности населения (б) [Fig. 4. Change of the urban forests area as a percentage of the total land area in the Metallurgical district during 2001-2020 (a) and population dynamics (b)]

Изменение площади городских лесов в процентном отношении от общей земельной площади и численности населения Metallургического района Челябинска за 2001-2020 годы показано

на рисунке 4. Зеленый покров с 63% земельной площади в 2001 сократился до 57% в 2010 году и поднялся до 69% к 2013 году. Однако после этого тенденция изменилась, и в 2016 году площадь рас-

тительности уменьшилась до 64 % земельной площади, а в 2020 году сократилась до 38 %. Чистый убыток в размере около 31 % произошел с 2013 по 2020 год. Численность населения за период с 2002 по 2019 выросла на 37,27 %, но в 2020 году

динамика изменилась – произошло небольшое сокращение населения на 2,51 %. Тем не менее, если использовать норму 70-100 м²/чел, то Металлургический район можно хотя бы формально отнести к благополучным районам города.



б

Рис. 5. Изменение площади городских лесов в процентном отношении от общей земельной площади в Металлургическом районе за 2001-2020 годы (а) и динамика изменения численности населения (б)

[Fig. 5. Change of the urban forests area as a percentage of the total land area in the Kalininsky district during 2001-2020 (a) and population dynamics (b)]

Калининский район является одним из неблагоприятных по озеленению среди районов Челябинска, но имеет тенденцию к улучшению ситуации (рис. 5). Зеленый покров с 33 % земельной площади в 2001 г. поднялся до 50 % к 2013 году. Однако после этого тенденция изменилась, и в 2016 году площадь растительности уменьшилась до 41 % земельной площади, а в 2020 году сократилась до 23 % при этом наблюдался интенсивный рост населения в районе. Численность населения за период с 2002 по 2020 год выросла на 10,74 %. Чистый убыток площади зеленой растительности в размере около 27 % произошел с 2013 по 2020 годы. При норме обеспеченности зелеными насаждения 70-100 м²/чел Калининский район относится к самым неблагоприятным.

Остальные районы города также были проанализированы. В целом результаты исследования показывают массовое уменьшение зеленого покрытия с 2013 по 2016 годы по районам города и в последующем с 2020 года начинающееся восстановление городских лесов. Изменение численности населения за рассматриваемый период имело тенденцию к увеличению примерно на 14-17 %, в нескольких районах при этом в последние годы (2019-2020)

наблюдалась уменьшение численности примерно на 0,7-2,5 %.

В Челябинске к инвентаризации можно привлечь общественность, школы, университеты, так как размер государственных средств ограничен. Можно создать мобильное приложение, которое при наведении на лист дерева определяет его принадлежность к семейству. Инвентаризация может стать элементом экологического воспитания, привлечения молодых людей к научной работе.

Сады на крышах могут улучшить качество жизни городских поселенцев за счет снижения температуры воздуха [7]. Исследования, проведенные в Берлине, Германия, показали, что озелененные внешние стены были на ~ 16 °C ниже по температуре поверхности в дневное время, чем голые стены, в результате затенения и эффекта транспирации растительности, установленной на стенах [12]. Дневная температура за счет вертикального озеленения может быть снижена на поверхности стен до 10 °C.

Сады на крышах появляются и в России, например, в Москве [10]. Важно подобрать растения, устойчивые к промерзанию грунта зимой. На экспериментальных участках были высажены самые

надежные и зимостойкие: роза бедренцеволистная, спирея березолистная, кизильник блестящий, рябинник рябинолистный, которые хорошо перенесли зиму.

Мы предлагаем использовать всеесезонное устройство [1] для очистки атмосферного воздуха, в корпусе которого закреплены съемные панели со мхом. В холодное время года мох может быть заменен на сорбенты. В зимний период панели со мхом заменяются на панели с сорбентом, осуществляющим очистительную функцию, и сборники для осадков демонтируются. Устройство может быть использовано в промышленной зоне городов, а также внутри дворовых территорий. Также может быть рекомендовано лечение деревьев специальными инъекциями и капельницами [2]. В силу дороговизны оно не может быть рекомендовано для широкого применения, но в отдельных случаях может быть полезно.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ спутниковых снимков свидетельствует об уменьшении общего зеленого покрытия в городе Челябинске. Для улучшения экологической ситуации города предлагается провести инвентаризацию деревьев с привлечением общественности, высаживать деревья с раскидистыми кронами для создания большей затененности, использовать вертикальное озеленение, уделять больше внимания научным разработкам. Целенаправленная работа в направлении развития эффективного озеленения города могла бы существенно улучшить экологическую ситуацию в городе Челябинске.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лечение деревьев при помощи инъекций. – URL: http://zellandia.ru/uslugi/uhod_za_sadom/lechenie_derevyev/inekscii_derevu (дата обращения: 02.14.2022). – Текст: электронный.
2. Bobylev S., Perelet R. Sustainable development and the “green economy” in Russia: the current situation, problems and perspectives // *Sustainable Development in Russia*, 2013, pp. 13-19.

3. Chander G., Markham B., Helder D. Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors // *Remote Sens. Environ.*, 2009, no. 113 (5), pp. 893-903.

4. Eric P. Crist, Richard C. Cicone. A. Physically-Based Transformation of Thematic Mapper Data – The TM Tasseled Cap // *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 1984, vol. 22, no. 3, pp. 256-263.

5. Hatfield J.L., Walthall C.L. Climate Change Cropping System Changes and Adaptations // *Encyclopedia of Agriculture and Food Systems*, 2014, December, pp. 256-265.

6. Kanniah K.D. Quantifying green cover change for sustainable urban planning: A case of Kuala Lumpur, Malaysia // *Urban Forestry & Urban Greening*, 2017, vol. 27, pp. 287-304.

7. Kauth R.J., Thomas G.S. The tasseled Cap – A Graphic Description of the Spectral-Temporal Development of Agricultural Crops as Seen by LANDSAT // *Proceedings of the Symposium on Machine Processing of Remotely Sensed Data, Purdue University of West Lafayette, Indiana*, 1976, pp. 4B-41 to 4B-51.

8. Quantifying cooling effects of facade greening: shading, transpiration and insulation / Hoelscher M.T., Nehls T., Janicke B., Wessolek G. // *Energy Build.*, 2016, no. 114 (Special Issue), pp. 283-290.

9. Tan P.Y., Wang J., Sia A. Perspectives on five decades of the urban greening of Singapore // *Cities*, 2013, no. 32, pp. 24-32.

10. Thermal evaluation of vertical greenery systems for building walls / Wong N.H., Tan A., Chen Y.K. and etc. // *Build. Environ.*, 2010, no. 45 (3), pp. 663-672.

11. Turning pollutant gases into oxygen // *Filtration + Separation*, 2019, vol. 55, no. 6, pp. 16-18.

12. Yichun Xie, Zongyao Sha1, and Mei Yu. Remote sensing imagery in vegetation mapping: a review // *Journal of Plant Ecology*, 2008, vol. 1, no. 1, pp. 9-23.

Конфликт интересов: Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Поступила в редакцию 15.06.2022

Принята к публикации 27.02.2023

Assessment of the Provision of Green Spaces in the Urban Industrial Area of Chelyabinsk Using Landsat Images

T.A. Kapitonova¹✉, T.G. Krupnova², S.A. Tikhonova¹, G.P. Struchkova¹, O.V. Rakova²

¹YaSC SB RAS Larionov Institute of Physical-Technical Problems of the North SB RAS,
Yakutsk, Russian Federation
(1, Oktyabrskaya Str., Yakutsk, 677980)

²South Ural State University, Russian Federation
(76, V.I. Lenin Ave, Chelyabinsk, 454080)

Abstract. The purpose is to study of the green cover area changes of Chelyabinsk, assessment of the provision of green spaces per capita by city districts during the past 20 years from 2001 to 2020 and the developing of strategy for increasing urban forests area.

Materials and methods. Radiometric and atmospheric corrections were made based on satellite images from Landsat 5, 7 and 8 satellites and the ENVI 5.3 software package in the period from 2001 to 2020. NDVI values were calculated, and the classification with learning has been performed for each image.

Results and discussions. Prior to the thematic classification, the images were converted using the “Tasseled Cap” method, which was used to identify changes in land cover on multi-temporal satellite images, which improved the quality of interpretation of the characteristics of the physical properties of vegetation. The vegetation area was calculated as a percentage in Chelyabinsk during 2001-2020 for all city districts.

Conclusion. To improve the ecological situation of Chelyabinsk, it is proposed to conduct an inventory of trees with the involvement of the public, to plant trees with spreading crowns to create more shade, to use vertical gardening, and to pay more attention to scientific developments.

Key words: city, vegetation, time series, Landsat, normalized difference vegetation index (NDVI), urban forests, industrial city.

For citation: Kapitonova T.A., Krupnova T.G., Tikhonova S.A., Struchkova G.P., Rakova O.V. Assessment of the provision of green spaces in the urban industrial area of Chelyabinsk using Landsat images. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seria: Geografia. Geoekologia*, 2023, no. 1, p. 93-102. DOI: <https://doi.org/10.17308/geo/1609-0683/2023/1/93-102>

REFERENCES

1. Treatment of trees with injections. – URL: http://zelandia.ru/uslugi/uhod_za_sadom/lechenie_derevyev/inekcii_derevu (accessed 02.14.2022). – Text: electronic. (In Russ).
2. Bobylev S., Perelet R.: Sustainable development and the “green economy” in Russia: the current situation, problems and perspectives. *Sustainable Development in Russia*, 2013, pp. 13-19.
3. Chander G., Markham B., Helder D.: Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors. *Remote Sens. Environ*, 2009, no. 113 (5), pp. 893-903.
4. Eric P. Crist, Richard C. Cicone. A.: Physically-Based Transformation of Thematic Mapper Data – The TM Tasseled Cap. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 1984, vol. 22, no. 3, pp. 256-263.
5. Hatfield J.L., Walthall C.L.: Climate Change: Cropping System Changes and Adaptations. *Encyclopedia of Agriculture and Food Systems*, 2014, December, pp. 256-265.
6. Kanniah K. D. Quantifying green cover change for sustainable urban planning: A case of Kuala Lumpur, Malaysia. *Urban Forestry & Urban Greening*, 2017, vol. 27, pp. 287-304.
7. Kauth R.J., Thomas G.S.: The tasseled Cap – A Graphic Description of the Spectral-Temporal Development of Agricultural Crops as Seen by LANDSAT. *Proceedings of the Symposium on Machine Processing of Remotely Sensed Data, Purdue University of West Lafayette, Indiana*, 1976, pp. 4B-41 to 4B-51.
8. Quantifying cooling effects of facade greening: shading, transpiration and insulation / M.T. Hoelscher,

© Kapitonova T.A., Krupnova T.G., Tikhonova S.A., Struchkova G.P., Rakova O.V., 2023

✉ Tamara A. Kapitonova, e-mail: kapitonova@iptpn.ysn.ru



The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.

Nehls T., Janicke B., Wessolek G. *Energy Build.*, 2016, no. 114 (Special Issue), pp. 283-290.

9. Tan P.Y., Wang J., Sia A.: Perspectives on five decades of the urban greening of Singapore. *Cities*, 2013, no. 32, pp. 24-32/

10. Thermal evaluation of vertical greenery systems for building walls / Wong N.H., Tan A.Y.K., Chen Y. and etc. *Build. Environ.*, 2010, no. 45 (3), pp. 663-672.

11. Turning pollutant gases into oxygen. *Filtration + Separation*, 2019, vol. 55, no. 6, pp. 16-18.

Капитонова Тамара Афанасьевна

кандидат физико-математических наук, ведущий научный сотрудник Института физико-технических проблем Севера им. В.П. Ларионова СО РАН, г. Якутск, Российская Федерация, ORCID: 0000-0001-8513-032X, e-mail: kapitonova@iptpn.ysn.ru

Крупнова Татьяна Георгиевна

кандидат химических наук, доцент кафедры экологии и химической технологии Южно-Уральского государственного университета, г. Челябинск, Российская Федерация, ORCID: 0000-0003-0862-710X, e-mail: krupnovatg@susu.ru.

Тихонова Сардана Алексеевна

ведущий инженер Института физико-технических проблем Севера им. В.П. Ларионова СО РАН, г. Якутск, Российская Федерация, ORCID: 0000-0001-8513-032X, e-mail: sardankobeleva@gmail.com

Стручкова Галина Прокопьевна

кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник Института физико-технических проблем Севера им. В.П. Ларионова СО РАН, г. Якутск, Российская Федерация, ORCID: 0000-0002-5161-979X, e-mail: pandoramy8@list.ru

Ракова Ольга Викторовна

кандидат химических наук, доцент кафедры экологии и химической технологии Южно-Уральского государственного университета, г. Челябинск, Российская Федерация, ORCID: 0000-0002-5788-5933, e-mail: rakovaov@susu.ru

12. Yichun Xie, Zongyao Sha1, and Mei Yu.: Remote sensing imagery in vegetation mapping: a review. *Journal of Plant Ecology*, 2008, vol. 1, no. 1, pp. 9-23.

Conflict of interests: The authors declare no information of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

Received: 15.06.2022

Accepted: 27.02.2023

Tamara A. Kapitonova

Cand. Sci. (Phys. and Math.), Leading researcher at the Larionov Institute of the Physical-Technical Problems of the North of the Siberian Branch of the RAS, Yakutsk, Russian Federation, ORCID: 0000-0001-8513-032X, e-mail: kapitonova@iptpn.ysn.ru

Tatyana G. Krupnova

Cand. Sci. (Chemic.), Associate Professor at the Department of Ecology and Chemical Technology of South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation, ORCID: 0000-0003-0862-710X, e-mail: krupnovatg@susu.ru

Sardana A. Tikhonova

Leading Engineer at the Larionov Institute of the Physical-Technical Problems of the North of the Siberian Branch of the RAS, Yakutsk, Russian Federation, ORCID: 0000-0001-8513-032X, e-mail: sardankobeleva@gmail.com

Galina P. Struchkova

Cand. Sci. (Tech.), Leading Researcher at the Larionov Institute of the Physical-Technical Problems of the North of the Siberian Branch of the RAS, Yakutsk, Russian Federation, ORCID: 0000-0002-5161-979X, e-mail: pandoramy8@list.ru

Olga V. Rakova

Cand. Sci. (Chemic.), Associate Professor at the Department of Ecology and Chemical Technology of South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation, ORCID: 0000-0002-5788-5933, e-mail: rakovaov@susu.ru