

УДК 528.9:581(571.12)
DOI 10.33764/2411-1759-2023-28-6-77-85

Геоинформационный мониторинг растительного покрова на примере города Ханты-Мансийска

Е. Г. Черных^{1*}, М. А. Исаева¹

¹ Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень, Российская Федерация

* e-mail: chernyheg@tyuiu.ru

Аннотация. Статья посвящена описанию вычислительного процесса вегетационного индекса на примере города Ханты-Мансийска. Индекс озеленения NDVI изучаемого ареала зависит от ряда показателей, процентное соотношение которых оказывает влияние на уменьшение искомого фактора, а именно, коэффициентов застроенных территорий и плотности населения. Значение застроенных территорий формируется за счет прироста численности населения. Застраиваемость свободных массивов (под массивами мы понимаем территории, находящиеся в черте города, но не занятые конструктивными сооружениями) происходит за счет потребности количественного показателя жителей на изучаемой агломерации. Количественный показатель населения показывает миграционный процент, сосредоточенный в новом ареале, в рамках изучаемого субъекта. Таким образом, рост плотности населения прямо пропорционален коэффициенту застройки урбанизированной территории. Исследуемые факторы подвергают вегетационный индекс систематическому уменьшению за счет увеличения численности населения и прироста коэффициента застроенных территорий. Для детального анализа искомого фактора проведено исследование в разрезе 20 лет, что позволило сопоставить средние значения коэффициентов (площади застроенных территорий к численности проживающих на этом массиве жителей). На основании вышесказанного мониторинг урбанизированных земель с применением геоинформационных технологий позволил сделать логические выводы по уменьшению вегетационного индекса.

Ключевые слова: вегетационный индекс, коэффициент застройки, плотность населения, урбанизированные территории, геоинформационный мониторинг урбанизированных территорий, конструктивные сооружения, прирост населения

Введение

Цель: выявить озелененные площади исследуемых объектов посредством программного обеспечения SAGA; определить коэффициент застройки в соответствии с установленными государственными нормативами; рассчитать плотность населения, регламентирующую населенность конкретной территории.

Задачи: раскрыть взаимосвязь между индексом озеленения территории, плотностью застройки и количественным показателем граждан, проживающих на застроенной территории; сформулировать практические рекомендации по увеличению зеленых площадей за счет реализации региональных и муниципальных программ.

Для проведения геоинформационного мониторинга существует целый ряд программных технологий, которые созданы для решения специальных задач. Для вычисления вегетационного индекса NDVI была выбрана географическая информационная система (ГИС) SAGA. Приложение использует специальную технологию для обработки данных (API), позволяющую легко внедрять новые алгоритмы. На данный момент API поддерживает и распознает табличные и векторные данные.

тационного индекса NDVI была выбрана географическая информационная система (ГИС) SAGA. Приложение использует специальную технологию для обработки данных (API), позволяющую легко внедрять новые алгоритмы. На данный момент API поддерживает и распознает табличные и векторные данные.

Методы исследования

Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) представляет собой нормализованный относительный вегетационный индекс. Показатели индекса определяются через спутниковые снимки зеленой массы, которая поглощает электромагнитные волны в видимом красном диапазоне и отражает их в ближнем инфракрасном. То есть высокая фотосинтетическая активность ведет к более низким значениям коэффициентов отражения в красной зоне спектра и большим значениям в ближней ин-

фрактальной. Отношение этих показателей друг к другу позволяет четко отделять растительность от прочих природных объектов

$$NDVI = \frac{(NIR - RED)}{(NIR + RED)}, \quad (1)$$

где NIR – инфракрасный канал; RED – красный.

Вегетационный индекс был рассчитан с помощью геоинформационной программы SAGA GIS, концептуальная структура которой обеспечивает возможность сбора и анализа пространственных и географических данных.

При проведении геоинформационного мониторинга растительного покрова изучаемых субъектов Тюменской области использовались данные дистанционного зондирования.

Для этого с сайта Геологической службы США были взяты космические снимки Landsat (B3 и B4) города Ханты-Мансийска [1, 2].

Для вычисления исследуемого индекса необходимо загрузить снимки спутника Landsat (сканирующий мультиспектральный сканер MSS (Landsat-1, -2, -3, -4, -5) и сканирующий тематический сканер TM Landsat-4, -5) [3, 4] (рис. 1).

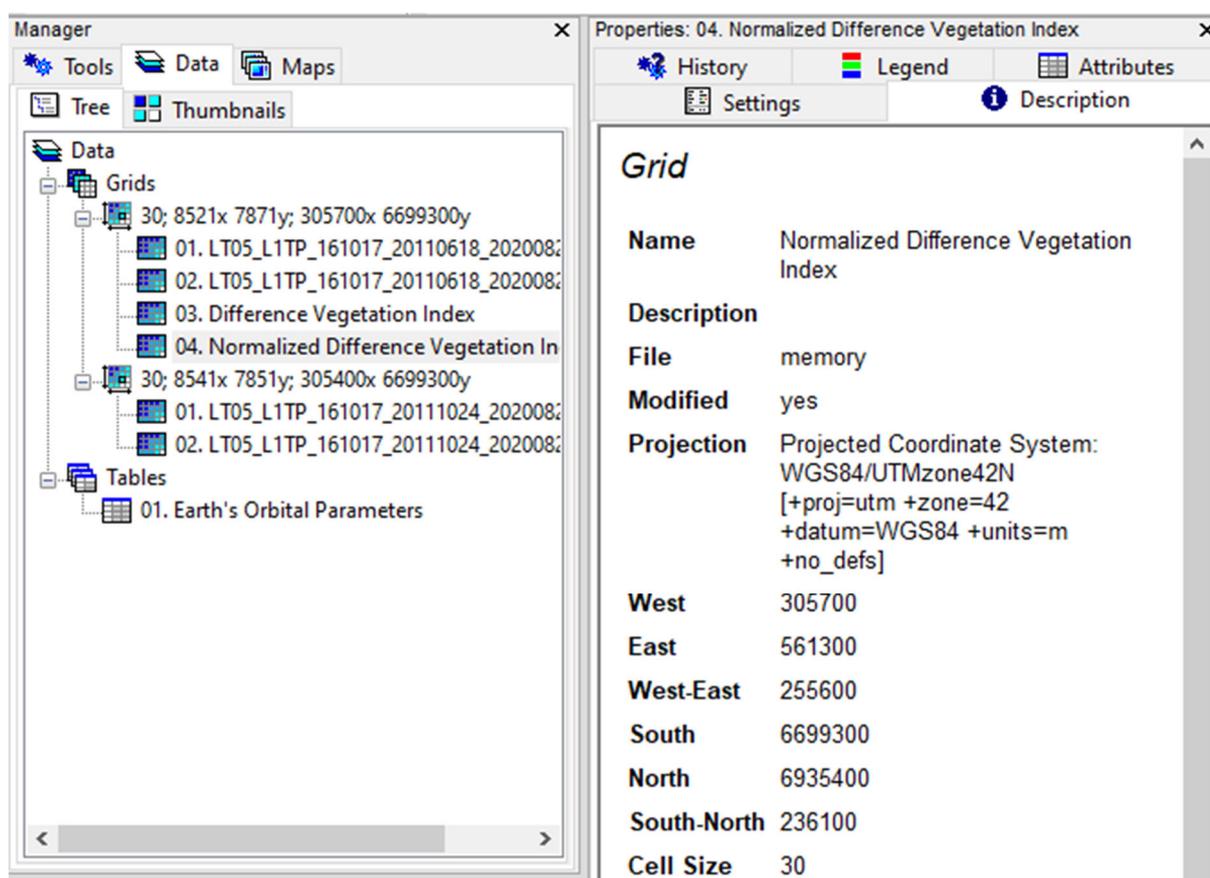


Рис. 1. Функциональное окно расчета Normalized Difference Vegetation

Определение нормализованного вегетационного индекса с использованием ближнего и дальнего инфракрасных лучей (Legend показывает диапазон изменения индекса NDVI). В окне карты ГИС программы показана карта-схема, загруженная со спутника Landsat (рис. 2).

Оценка вегетационных индексов определялась в период с 1990 по 2023 г. с помощью кос-

мических снимков посредством загрузки фрагментов карты в программный продукт для вычисления искомого индекса озеленения (фрагменты программы представлены на рис. 3).

Вывод: в период с 1990 по 2005 г. NDVI имел одинаковое значение, однако с 2015 по 2023 г. выявлено уменьшение индекса озеленения обследуемой территории (рис. 4, 5).

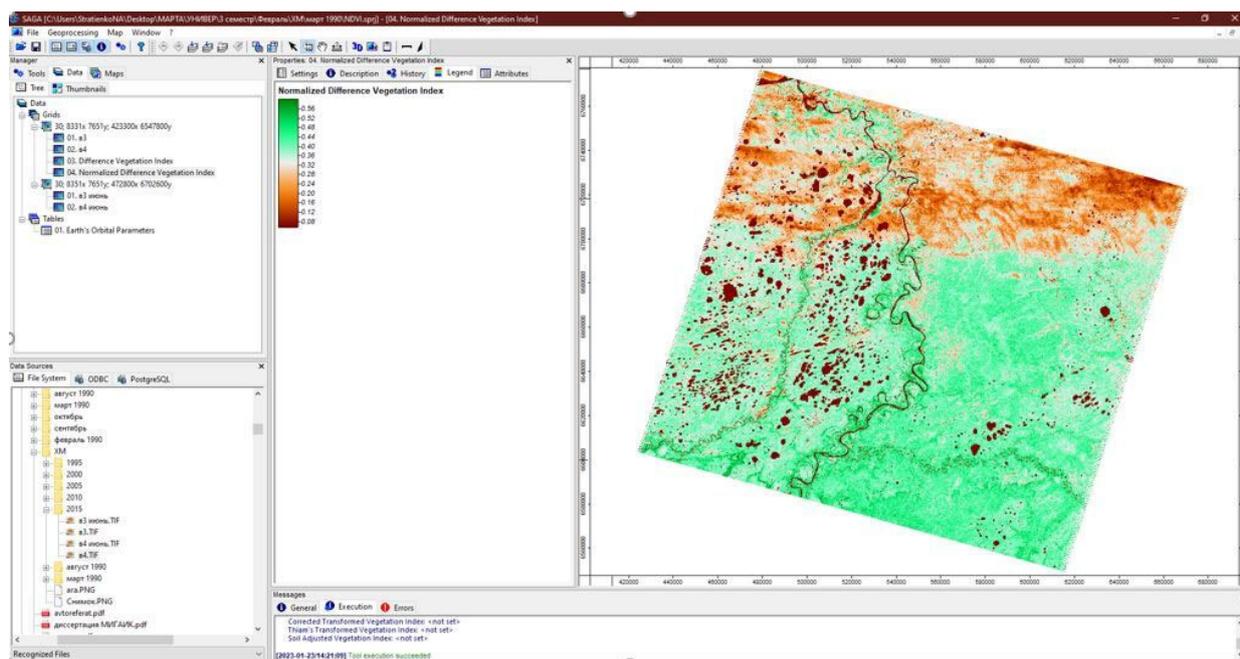


Рис. 2. Функциональное окно программы SAGA GIS

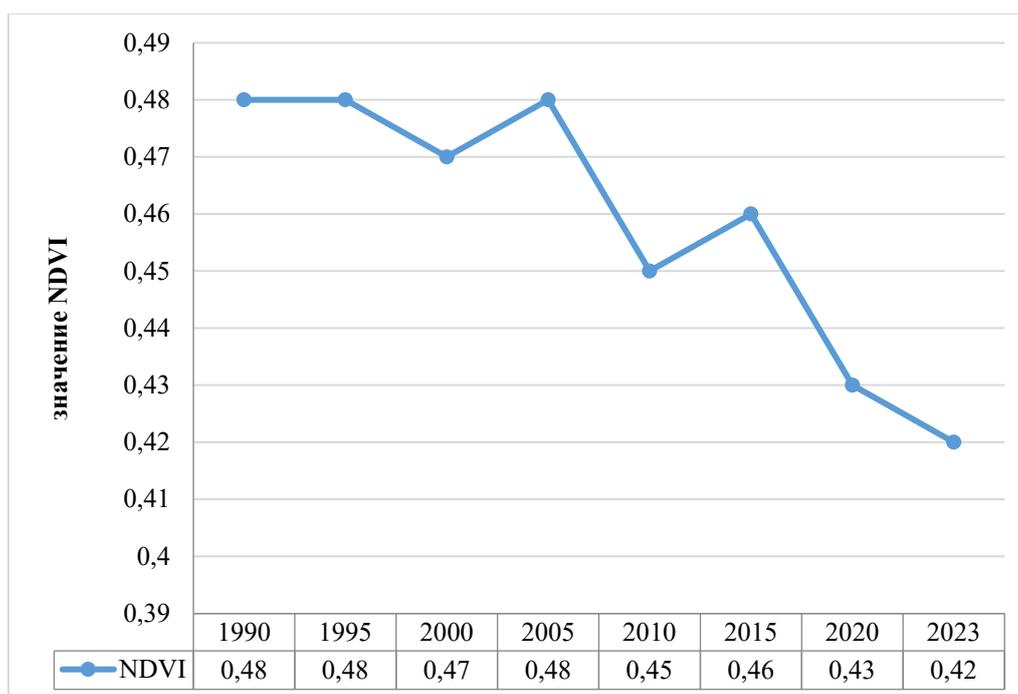


Рис. 3. Вегетационный индекс с 1990 по 2023 г. по Ханты-Мансийску

С целью аргументации уменьшения показателя степени озелененности территории необходимо рассчитать коэффициент застроенных территорий и коэффициент плотности населения. Плотность застройки представляет собой наиболее распространенный показатель, который учитывается при планировании строительных работ. Искомый коэффи-

циент подразумевает соотношение площади застроенной территории к количественному показателю соответствующего участка [5–12]. Коэффициент играет важную функцию при планировании строительства, что позволяет рационально распределить площадь, где по плану будут располагаться новые кварталы, согласно утвержденной документации.

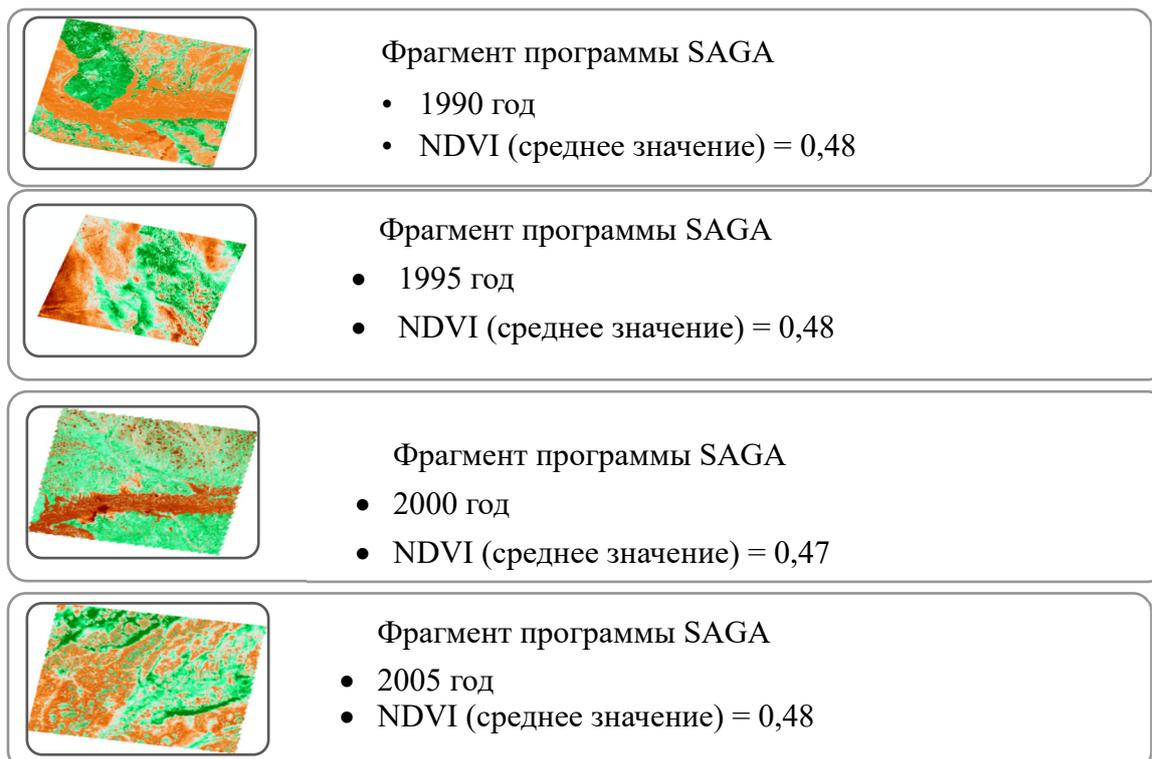


Рис. 4. Расчетные данные средних значений NDVI в период с 1990 по 2005 г. в Ханты-Мансийске

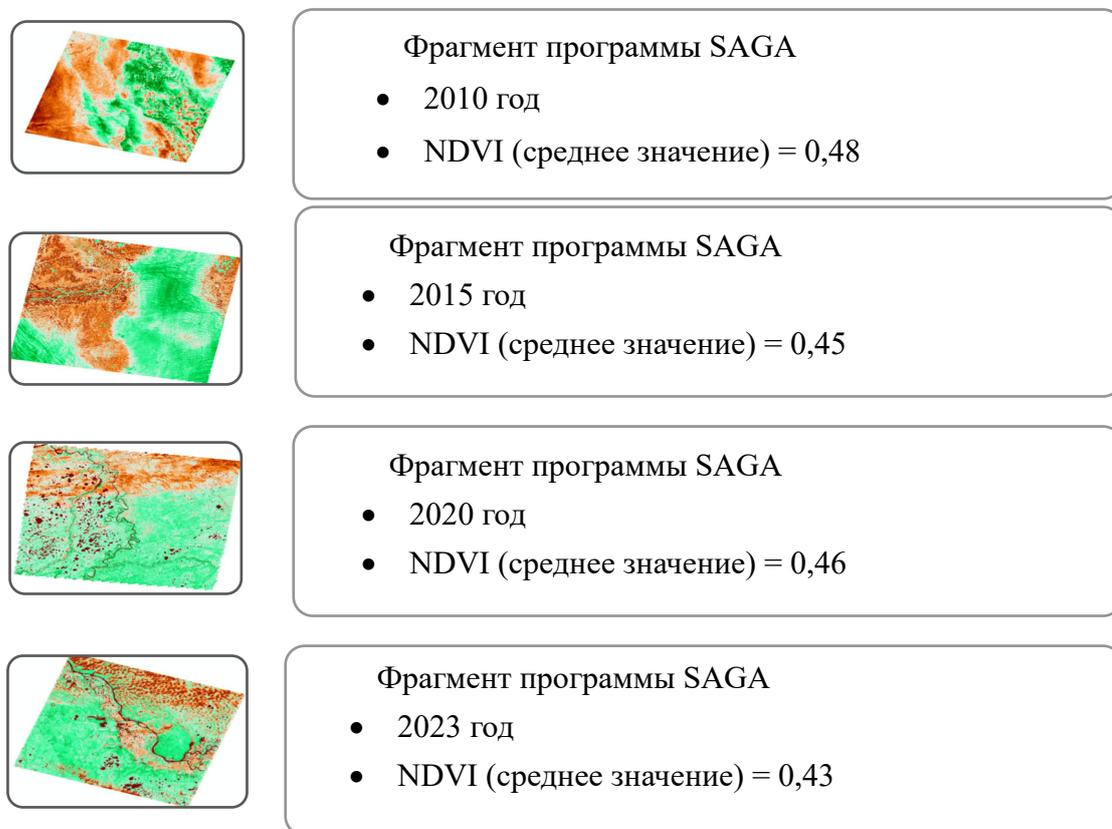


Рис. 5. Расчетные данные средних значений NDVI в период с 2010 по 2023 г. в Ханты-Мансийске

Для расчета коэффициента застроенных территорий используют формулу

$$KЗ = \frac{П_з}{П_у}, \quad (2)$$

где $П_з$ – площадь застройки; $П_у$ – площадь территории.

В табл. 1 представлены расчетные данные в период с 1990 по 2023 г.

Вывод: согласно расчетам с 2005 по 2015 г. коэффициент вырос на 2,6 % за счет амплификации застраиваемых территорий в период с 2015 по 2023 г. на 2,4 %. Также наблюдается тенденция увеличения за счет реализации региональных программ по планированию территории, согласно СНиПу 2.07.01–89 «Планировка и застройка городских и сельских поселений».

Плотность населения представляет собой количественный показатель численности

населения по отношению к площади территории, на которой проживает население. На данный показатель оказывают влияние следующие факторы: рельеф местности, степень озелененности, транспортная инфраструктура, коэффициент застройки территории [10–16]. По нашему мнению, искомый фактор напрямую коррелирует с коэффициентом застройки исследуемой территории, так как рост строительства прямо пропорционален повышению численности населения.

Расчет плотности населения рассчитывается по формуле

$$P = \frac{N}{S}, \quad (3)$$

где N – численность населения; S – площадь территории.

В табл. 2 представлены расчетные данные с 1990 по 2023 г.

Таблица 1

Расчетные данные коэффициента застроенных территорий в период с 1990 по 2023 г.

Год	1990–1995	2000–2005	2010–2015	2020–2023
Коэффициент застроенных территорий, м ²	1,69	1,71	1,97	2,21

Таблица 2

Расчетные данные плотности населения в период с 1990 по 2023 г.

Год	1990–1995	2000–2005	2010–2015	2020–2023
Плотность населения, чел./км ²	162,01	176,46	282,31	300,4

Вывод: плотность населения увеличилась в период с 2005 по 2015 г. на 2,6 %, в период с 2015 по 2023 г. – на 1,4 %, согласно СНиП 2.07.01–89*, в котором прописываются региональные градостроительные нормативы и регламенты.

Для проведения более детального мониторинга урбанизированных земель, на примере Ханты-Мансийска, необходимо учитывать количественные показатели, выраженные в чис-

ленности населения, проживающего на изучаемой территории в установленных временных рамках [17].

В табл. 3 приведены численные показатели населения изучаемой урбанизации.

В соответствии с табличными данными вычисляем прирост населения в процентном соотношении и среднее значение индекса NDVI.

В соответствии с приведенными расчетами формируем единую базу показателей (рис. 6).

Таблица 3

Количественные показатели по г. Ханты-Мансийску

Год	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2023
Численность населения, тыс. чел.	51320	54721	56200	59600	80151	95353	101466	105995
Вегетационный индекс, среднее значение	0,48	0,48	0,47	0,48	0,45	0,46	0,43	0,42
Коэффициент застроенных территорий, м ²	1,69		1,71		1,97		2,21	

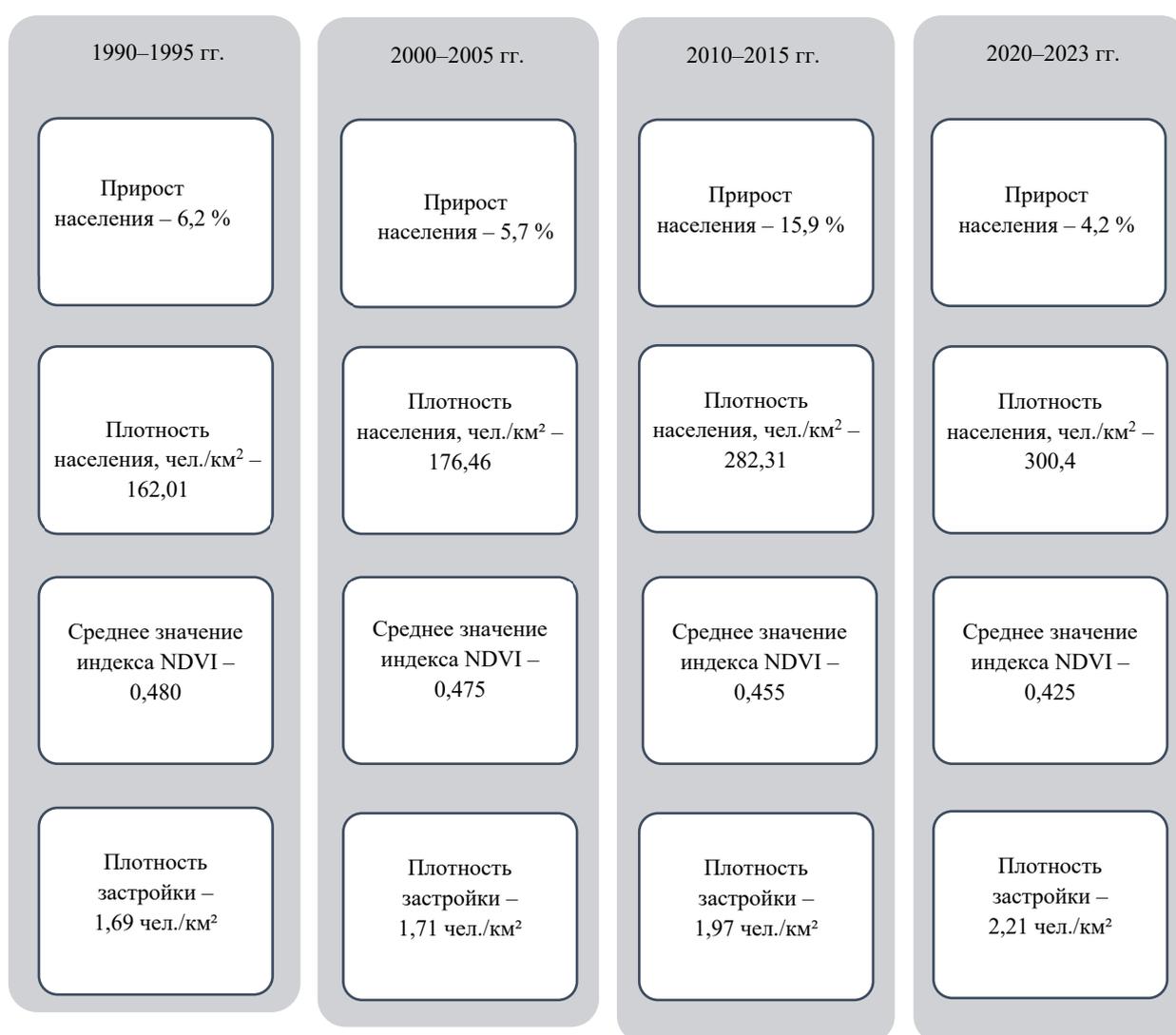


Рис. 6. Сформированная единая база расчетных показателей

Выводы

1. Повышение численности населения оказывает влияние на сокращение озелененных

территорий, что демонстрирует ежегодное снижение вегетационного индекса:

– в период с 2010 по 2015 г. прирост населения на 15,9 %, NDVI с 0,48 до 0,45;

– в период с 2020 по 2023 г. прирост населения 4,2 %, NDVI с 0,43 до 0,42.

2. За счет увеличения плотности застройки происходит уменьшение вегетационного индекса в рамках анализируемого периода:

– в период с 1990 по 1995 г. коэффициент застройки составляет 1,69 чел./км², NDVI 0,48 (остался неизменным);

– с 2010 по 2015 г. коэффициент застройки составляет 1,97 чел./км², NDVI 0,45 (снижение);

– с 2015 по 2020 г. коэффициент застройки составляет 2,21 чел./км², NDVI 0,42 (снижение).

3. Плотность населения увеличилась на 2,6 % в период с 2005 по 2015 г. за счет прироста населения на территории города.

4. Восстановление экосистемы города возможно провести за счет:

– реализации комплексных проектов благоустройства относительно Ханты-Мансийска;

– повышения площади озелененных территорий (лесопарковые зоны, придомовые участки, рекреационные площади);

– минимизации накопленного вреда окружающей среды через развитие средообразующих, средовоспроизводящих и средозащитных свойств территории.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дубинин М. А. Вегетационные индексы [Электронный ресурс] // Географические информационные системы и дистанционное зондирование. – Режим доступа: <https://gis-lab.info/qa/vi.html>.
2. СНиП 2.07.01–89. Строительные нормы и правила градостроительства. Планировка и застройка городских и сельских поселений [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/5200163>.
3. Баширова Ч. Ф. Индекс NDVI для дистанционного мониторинга растительности // Молодой ученый. – 2019. – № 31 (269). – С. 30–31.
4. Будилова А. А., Баимбетов А. М. Дистанционное зондирование территории с помощью LANDSAT снимков // Ученые заметки ТОГУ. – 2016. – Т. 7, № 1. – С. 74–79.
5. Овсянникова Т. Ю., Николаенко М. Н. Оценка качества градостроительной среды на урбанизированных территориях: межрегиональные сопоставления // Мир экономики и управления. – 2015. – Т. 15, № 2. – С. 120–131.
6. Овсянникова Т. Ю., Преображенская М. Н. Индексный подход к оценке качества жизни населения и уровня развития урбанизированных территорий развития // Вестник Томского государственного университета. Экономика. – 2014. – № 1 (25). – С. 30–47.
7. Город как экосистема [Электронный ресурс] // Studwood. – 2020. – Режим доступа: https://studwood.ru/1181002/ekologiya/gorod_ekosistema.
8. Соловьева И. А. Мировые и российские тенденции городского развития: интеграция, глобализация, конкуренция и кластеризация городов [Электронный ресурс] // Региональная экономика: теория и практика. – 2016. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/mirovye-i-rossiyskie-tendentsii-gorodskogo-razvitiya-integratsiya-globalizatsiya-konkurentsya-i-klasterizatsiya-gorodov>.
9. Вагин В. С., Шеина С. Г., Чубарова К. В. Принципы и факторы устойчивого развития городских территорий [Электронный ресурс] // Вестник евразийской науки. – 2015. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/printsipy-i-factory-ustoychivogo-razvitiya-gorodskih-territoriy>.
10. Перспективы развития городских территорий [Электронный ресурс]. – 2012. – Режим доступа: <https://www.iemag.ru/foto/detail.php?ID=25484>.
11. Яськова Н. Ю. Трансформация подходов к пространственно-территориальному развитию городов развития // Недвижимость: экономика, управление. – 2014. – № 3–4. – С. 56–60.
12. Кустова К. А. Оценка качества городской среды проживания [Электронный ресурс] // Управление развитием территории. – 2015. – Режим доступа: <https://urtmag.ru/public/510/>.
13. Гордиенко А. С., Ткач А. В. Исследование состояния окружающей среды в районе нефтегазовых работ по космическим снимкам // Вестник СГУГиТ. – 2022. – Т. 27, № 6. – С. 55–63.
14. Карпик А. П., Ветошкин Д. Н., Архипенко О. П. Анализ современного состояния государственного кадастра недвижимости в России // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2012. VIII Междунар. науч. конгр. : сб. молодых ученых СГГА (Новосибирск, 10–20 апреля 2012 г.). – Новосибирск : СГГА, 2012. – С. 3–11.
15. Zevenbergen J. Systems of Land Registration. Aspects and Effects [Electronic resource]. Nederlandse Commissie voor Geodesie Netherlands Geodetic Commission, Delft, 2002. – Mode of access: <http://nwg.knaw.nl/Publicaties/Geodesy/pdf/51Zevenbergen.pdf>.

16. Дубровский А. В., Ильиных А. Л., Малыгина О. И., Москвин В. Н., Вишнякова А. В. Анализ ценообразующих факторов, оказывающих влияние на кадастровую стоимость недвижимости // Вестник СГУГиТ. – 2019. – Т. 24, № 2. – С. 150–169.

17. Avrunev E. I., Chernov A. V., Dubrovsky A. V., Komissarov A. V., Pasechnik E. Yu. Technological aspects of constructing 3d model of engineering structures in the cities of the RF arctic region // Bulletin of the Tomsk Polytechnic University, Geo Assets Engineering. – 2018. – Vol. 329 (7). – P. 131–137.

Об авторах

Елена Германовна Черных – кандидат экономических наук, доцент кафедры геодезии и кадастровой деятельности.

Марта Андреевна Исаева – аспирант кафедры геодезии и кадастровой деятельности.

Получено 17.03.2023

© Е. Г. Черных, М. А. Исаева, 2023

Geoinformation monitoring of vegetation cover on the example of the city of Khanty-Mansiysk

E. G. Chernykh¹*, M. A. Isaeva¹

¹ Tyumen Industrial University, Tyumen, Russian Federation

* e-mail: chernyheg@tyuiu.ru

Abstract. The article is devoted to the description of the computational process of the vegetation index on the example of the city of Khanty-Mansiysk. The landscaping index NDVI of the studied area depends on a number of indicators, the percentage of which affects the reduction of the desired factor. Namely, the coefficients of built-up areas and population density. The value of built-up areas is formed due to population growth. The buildability of free urban area (by urban area we mean territories located within the city, but not occupied by structural constructions) occurs due to the need for quantitative indicators of residents living in the studied agglomeration. The quantitative indicator of the population shows the migration percentage concentrated in the new area, within the framework of the studied subject. Thus, the increase in population density is directly proportional to the coefficient of development of the urbanized territory. The studied factors subject the vegetation index to a systematic decrease, due to an increase in the population and an increase in the coefficient of built-up areas. For a detailed analysis of the required factors, a study was conducted in the context of 20 years, which made it possible to compare the average values of the coefficients (the area of built-up territories to the number of residents living in this area). Based on the above, monitoring of urbanized lands using geoinformation technologies allowed us to draw logical conclusions on the reduction of the vegetation index.

Keywords: vegetation index, building coefficient, population density, urbanized territories, geoinformation monitoring of urbanized territories, structural constructions, population growth

REFERENCES

1. Dubinin, M. A. Vegetation indices. *Geograficheskie informatsionnye sistemy i distantsionnoe zondirovanie [GIS-Lab]*. Retrieved from <https://www.soft.farm.ru/blog/vegetacionnye-indeksy-ndvi-evi-gndvi-cvi-true-color> [in Russian].

2. Constructions Norms and Regulations. SNiP 2.07.01-89. Planning and construction of urban and rural settlements. Retrieved from <https://docs.cntd.ru/document/5200163> [in Russian].

3. Bashirova, Ch. F. (2019). Index of the NDVI index for remote monitoring of vegetation. *Molodoy uchenyy [Young Scientist]*, 31(269), 30–31. Retrieved from <https://moluch.ru/archive/269/6189510> [in Russian].

4. Budilovskaya, A. A., & Baimbetov, A. M. (2016). Remote sensing of the territory using Landsat satellite images. *Uchenye zametki TOGU [Scientific Notes of TOGU]*, 79(1), 74–79. Retrieved from https://pnu.edu.ru/media/ejournal/articles-2016/TGU_7_14.pdf [in Russian].

5. Ovsyannikova, T. Yu., & Nikolaenko, M. N. (2015). Assessment of the quality of the urban environment in urbanized territories: interregional comparisons. *Mir ekonomiki i upravleniya [The World of Economics and Management]*, 15(2), 120–131 [in Russian].
6. Ovsyannikova, T. Yu., & Preobrazhenskaya, M. N. (2014). Index approach to assessing the quality of life of the population and the level of development of urbanized development territories. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Ekonomika [Bulletin of Tomsk State University. Economy]*, 1(25), 30–47 [in Russian].
7. The city as an ecosystem. (2020). *Studwood*. Retrieved from https://studwood.ru/1181002/ekologiya/gorod_ekosistema [in Russian].
8. Solovyova, I. A. (2016). Global and Russian trends in urban development: integration, globalization, competition and clustering of cities. *Regional'naya ekonomika: teoriya i praktika [Regional Economics: Theory and Practice]*. Retrieved from <https://cyberleninka.ru/article/n/mirovye-i-rossiyskie-tendentsii-gorodskogo-razvitiya-integration-globalization-competition-and-clusterization-of-cities> [in Russian].
9. Vagin, V. S., Sheina, S. G., & Chubarova, K. V. (2015). Principles and factors of sustainable development of urban areas. *Vestnik evraziyskoy nauki [Bulletin of Eurasian Science]*. Retrieved from <https://cyberleninka.ru/article/n/printsiy-i-factory-ustoychivogo-razvitiya-gorodskih-territoriy> [in Russian].
10. Prospects for the development of urban areas. (2012). Retrieved from <https://www.iemag.ru/foto/detail.php?ID=25484> [in Russian].
11. Yaskova, N. Y. (2014). Transformation of approaches to spatial and territorial development of development cities. *Nedvizhimost': ekonomika, upravlenie [Real Estate: Economics, Management]*, 3-4, 56–60 [in Russian].
12. Kustova, K. A. (2015). Assessment of the quality of the urban living environment. *Upravlenie razvitiem territorii [Territory development management]*. Retrieved from <https://urtmag.ru/public/510/> [in Russian].
13. Gordienko, A. S., & Tkach, A. V. (2022). Study of the state of the environment in the area of oil production using space images. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 27(6). Retrieved from <http://vestnik.ssga.ru/wp-content/uploads/2022/12/55-63.pdf> [in Russian].
14. Karpik, A. P., Vetoshkin, D. N., & Arkhipenko, O. P. (2012). Analysis of the current state of the state cadastre of real estate in Russia. In *Sbornik materialov GEO-Sibir'-2012: Sbornik molodykh uchenykh SSGA [Proceedings of GEO-Siberia-2012: Collection of Young Scientists of the SSGA]* (pp. 3–11). Novosibirsk: SSGA Publ. [in Russian].
15. Zevenbergen, J. (2002). *Land registration systems. Aspects and effects*. Netherlands Geodetic Commission Netherlands Geodetic Commission, Delft. Retrieved from <http://ncg.knaw.nl/Publications/Geodesy/pdf/51Zevenbergen.pdf>.
16. Dubrovsky, A. V., Ilyinykh, A. L., Malygina, O. I., Moskvina, V. N., & Vishnyakova, A. V. (2019). Analysis of price-forming factors influencing the cadastral value of real estate. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 24(2), 150–169 [in Russian].
17. Avrunev, E. I., Chernov, A. V., Dubrovsky, A. V., Komissarov, A. V., & Pasechnik, E. Yu. (2018). Technological aspects of building a 3d model of engineering structures in the cities of the Arctic region of the Russian Federation. *Bulletin of Tomsk Polytechnic University, Geoactive Engineering*, 329(7), 131–137.

Author details

Elena G. Chernykh – Ph. D., Associate Professor, Department of Geodesy and Cadastral Activity.

Marta A. Isaeva – Ph. D. Student, Department of Geodesy and Cadastral Activity.

Received 17.03.2023

© E. G. Chernykh, M. A. Isaeva, 2023