

## Распределение вегетационного индекса NDVI на территории Гомеля

А.С. СОКОЛОВ

В статье представлены результаты анализа пространственного распределения значений нормализованного относительного вегетационного индекса NDVI, вычисленных на основе космического снимка спутника Sentinel от 15.08.2023 г. на территории города Гомеля. Выделены ареалы с повышенными и пониженными относительно фоновых значениями NDVI. Для городских районов определены средние значения и размах значений показателя, а также его распределение по диапазонам. Установлено, что Центральный район характеризуется наибольшей контрастностью значений, Новобелицкий – наиболее высокими значениями, Железнодорожный – наиболее низкими значениями.

**Ключевые слова:** вегетационный индекс, NDVI, городская растительность, Sentinel, Гомель.

The article presents the results of an analysis of the spatial distribution of the normalized difference vegetation index NDVI values, calculated on the basis of a satellite image of the Sentinel satellite dated August 15, 2023 in the city of Gomel. The areas with increased and decreased relative to background NDVI values were identified. For urban areas, the average values and values deviation, as well as its distribution across ranges, have been determined. It has been established that the Central district is characterized by the highest contrast of values, Novobelitsky – by the highest values, Zheleznodorozhny – by the lowest values.

**Keywords:** vegetation index, NDVI, urban vegetation, Sentinel, Gomel.

Для оценки состояния экосистем различных территорий всё чаще применяются материалы дистанционного зондирования Земли, на основании которых определяются различные характеристики растительного покрова и их пространственная и временная динамика. Одним из наиболее распространённых показателей при этом являются вегетационные индексы, рассчитываемые путём операций с величинами интенсивности отражённого солнечного излучения в различных диапазонах электромагнитного спектра и способные характеризовать различные аспекты состояния растительности. Наиболее распространённым вегетационным индексом является NDVI – нормализованный относительный вегетационный индекс, рассчитываемый по формуле:

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

где *NIR* – интенсивность отражённого излучения в ближнем инфракрасном диапазоне; *RED* – интенсивность отражённого излучения в красном диапазоне.

Этот индекс рассматривают в качестве количественной характеристики фотосинтетически активной биомассы, он является надёжным дистанционным показателем первичной продуктивности наземных экосистем [1]. Его применяют и для оценки состояния городской растительности, оценки уровня озеленения, мониторинга площадей и состояния зеленых зон городов [2], [3], [4]. С его помощью возможно идентифицировать участки города с низкими показателями озеленённости, что весьма актуально для контроля соблюдения норм озеленённости в процессе градостроительного освоения городских территорий, для определения экосистемных функций растительного покрова в городах [5].

Целью исследования является выявление пространственных особенностей распределения вегетационного индекса NDVI по площади г. Гомеля. Источником данных стал космический снимок спутника Sentinel-2B от 15.08.2023 г., полученный с помощью модуля *Semi-Automatic Classification Plugin* программы QGIS 3.34.3. Данный модуль позволяет в разделе *Download products* задать границы полигона (непосредственно на картографической подложке или путём ввода координат границ вручную), на которые необходимо получить изображение, выбрать спутник (Sentinel, Landsat, Terra) или цифровую модель рельефа Copernicus, задать временной диапазон и максимальное покрытие облаками и получить список доступных снимков с возможностью загрузки в QGIS цветосинтезированного изображения низкого качества каждого снимка для предпросмотра. Всего на август 2023 доступно 29 снимков, за-

хватывающих территорию Гомеля с различной степенью покрытия облаками – от 0 до 98 %, из которых необходимо отобрать те, на которых облака не закрывали бы целевую территорию. Сам по себе показатель доли покрытия облаками от общей площади снимка не может являться критерием отбора, так как территория городов небольшая по сравнению с площадью снимков (ширина полосы съёмки спутника Sentinel составляет 290 км), поэтому возможны ситуации, когда при большой облачности в целом нужная территория является свободной от облаков, таким образом, оценивать пригодность каждого снимка необходимо индивидуально. Для загрузки можно выбрать все каналы спутникового снимка или указать только необходимые. Для расчёта NDVI использовался 8 канал (ближний инфракрасный, диапазон длин волн 785–899 нм) и 4 канал (красный, диапазон 650–680 нм), пространственное разрешение 10 м, радиометрическое разрешение 12 бит. С использованием калькулятора растров QGIS на основе этих двух каналов для каждого пиксела был рассчитан индекс NDVI по формуле (1) и получен одноканальный результирующий растр, в котором полученные значения с помощью инструментов растрового анализа QGIS были округлены до 2 знака после запятой. На его основе было создано одноканальное псевдоцветное изображение, отражающее диапазон значений NDVI для каждого пиксела (рисунок 1).

Территории с отрицательными значениями NDVI соответствуют, главным образом, водным объектами. Крупные территории с высоким (более 0,8) значением приурочены к пойме реки Сож, а также лесным массивам на южной, западной и восточной окраинах города, к участкам между южной частью улицы Юбилейной и 16-м микрорайоном, между улицей Лепешинского и 1-м переулком Крупской, в восточной части 1-го переуллка Крупской, вдоль улицы Федюнинской, вокруг Гомельской дистанции охранных лесонасаждений. Данные территории с наиболее высокой фитомассой следует рассматривать как узловые элементы экологического каркаса города, обеспечивающие сохранение важных экосистем и включающие центры распространения видов флоры и фауны, и ареалы биоразнообразия популяций. Также повышенные значения NDVI характерны для крупного массива усадебной застройки на северо-востоке Советского района (между улицами Полесская и Барыкина). Крупные территории с пониженным значением NDVI приурочены промышленным зонам и районам многоэтажной застройки.

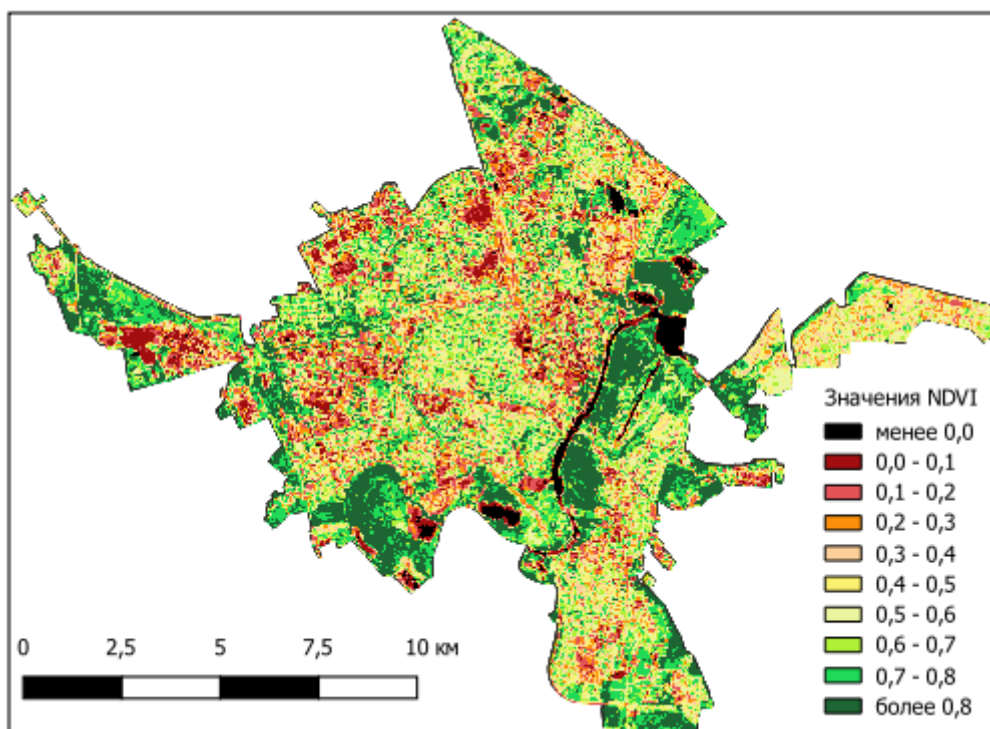


Рисунок 1 – Распределение значений индекса NDVI по территории г. Гомеля, 15 августа 2023 г.

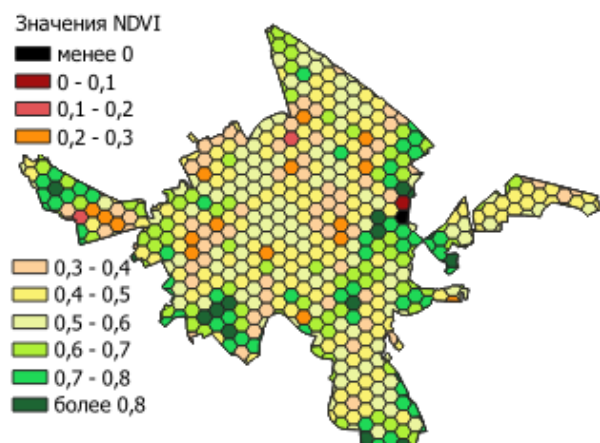


Рисунок 2 – Средние значения NDVI

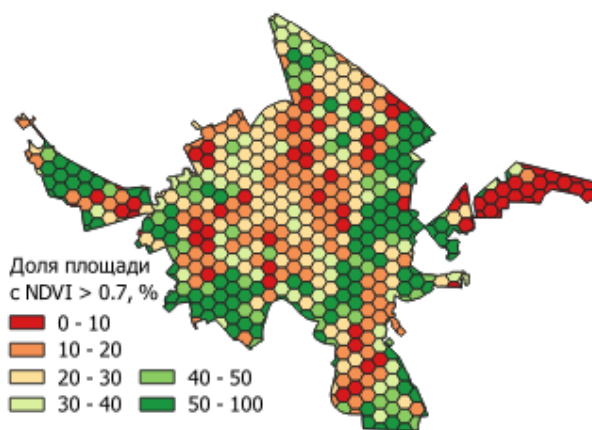


Рисунок 3 – Доля площади ячеек с NDVI &gt; 0,7

Для более наглядного отображения закономерностей распределения NDVI по территории Гомеля вся территория была разделена на гексагональные ячейки площадью 0,32 км<sup>2</sup> и произведён подсчёт среднего значения NDVI для всех пикселей в пределах ячейки (рисунок 2), а также доли пикселей со значением NDVI больше 0,7 (рисунок 3). Данные изображения позволяют достоверно локализовать ареалы с повышенными и пониженными средними показателями NDVI относительно фоновых (к таковым отнесены значения, характерные для большей части ячеек – 0,4–0,6, занимающих 54,2 % территории города), а также ареалы с незначительной долей участков растительности с высокой фитомассой (13,2 % площади занимают участки где доля пикселей с NDVI выше 0,7 составляет менее 10 %).

Таблица 1 – Показатели среднего значения и распределения значений NDVI по диапазонам на территории г. Гомеля и городских районов

Район	Ср. знач.	Медиана	Стандартное отклонение	Доля площади со значениями NDVI, %									
				<0	0-0.1	0.1-0.2	0.2-0.3	0.3-0.4	0.4-0.5	0.5-0.6	0.6-0.7	0.7-0.8	>0.8
Центральный	0,49	0,54	0,32	4,1	9,8	8,7	8,4	8,0	7,8	7,7	9,0	14,0	22,4
Советский	0,53	0,58	0,27	0,3	7,7	9,1	7,7	8,1	9,1	10,2	12,2	17,1	18,6
Железнодорожный	0,50	0,54	0,25	0,0	7,0	9,8	8,3	9,3	11,2	12,7	14,2	15,6	12,0
Новобелицкий	0,56	0,58	0,23	0,3	2,8	5,1	6,9	10,3	12,9	14,3	13,7	15,2	18,6
г. Гомель	0,52	0,57	0,26	1,9	5,0	8,2	7,7	8,8	10,3	11,5	12,6	15,6	18,3

Особенности распределения вегетационного индекса NDVI были проанализированы в разрезе административных районов г. Гомеля (таблица 1). Наиболее высокое среднее значение индекса характерно для Новобелицкого района, где также наблюдается самый низкий показатель стандартного отклонения, отражающий степень разброса значений относительно среднего. Противоположная ситуация в Центральном районе, где среднее значение NDVI минимально при максимальном стандартном отклонении. Это связано с тем, что в Центральном районе доля площадей водных объектов с отрицательными значениями индекса более чем на порядок превышает этот показатель для других районов. Без учёта пикселей с отрицательными значениями NDVI среднее его значение для Центрального района составляет 0,52 и превышает значение для Железнодорожного района. В Центральном районе доля площади с очень высокими значениями NDVI (более 0,8) максимальная и намного превышает этот показатель для остальных районов. Одновременно с этим район характеризуется практически полным отсутствием усадебной застройки, высокой степенью освоенности территории и плотностью застроенных и лишённых растительности участков, значительна доля в нём новых микрорайонов, возведённых на массивах намывных песков. Поэтому повышенная доля площадей с высокими значениями NDVI уравновешивается также повышенными долями площадей с низкими его значениями, так, доля площадей с NDVI от 0 до 0,3 составляет 26,9 %, что на 6 % выше среднегородского уровня и на 12,1 % выше, чем для Новобелицкого района. Совместно эти факторы обуславливают то, что даже без учёта водных объектов, среднее значение NDVI для центрального района ниже, чем для Советского и Новобелицкого.

Изучение распределения вегетационного индекса NDVI по территории г. Гомеля позволяет сделать следующие выводы:

1. Распределение NDVI в г. Гомеле характеризуется существенной неоднородностью. Имеется ряд сравнительно крупных массивов растительности с высокими значениями NDVI (более 0,8), которые целесообразно рассматривать как узловые элементы экологического каркаса. Вместе с тем, имеются значительные по площади участки, преимущественно в центральной, северной и западной частях, где значение этого показателя довольно низкое.

2. Анализ распределения изучаемого показателя в разрезе гексагональных ячеек геометрической сетки позволяет довольно точно локализовать ареалы с повышенными и пониженными средними показателями NDVI, а также ареалы с незначительной долей участков растительности с высокой фитомассой.

3. Наиболее высокое среднее значение NDVI в Новобелицком районе, также выше среднего оно в Советском районе. Это связано с наличием лесных массивов на окраинах и заметной долей усадебной застройки. Наиболее низкие значения в Железнодорожном районе. Для центрального района характерна высокая контрастность, связанная с наличием более высоких, чем в других районах, долей как площадей с высокими значениями NDVI (выше 0,8) так и площадей с низкими его значениями (менее 0,3).

### Литература

1. Гусев, А. П. Изменения NDVI как индикатор динамики экологического состояния ландшафтов (на примере восточной части Полесской провинции) / А. П. Гусев // Вестник ВГУ. Серия : География. Геоэкология. – 2020. – № 1. – С. 101–107.

2. Табунщик, В. А. Оценка вегетационного индекса NDVI на территории города федерального значения Севастополь в 2017 году по результатам анализа космических снимков Sentinel-2 / В. А. Табунщик, Р. В. Горбунов, А. А. Даниленко // Труды Карадагской научной станции им. Т.И. Вяземского – природного заповедника РАН. – 2019. – Вып. 4 (12). – С. 56–70.

3. Капитонова, Т. А. Оценка обеспеченности зелеными насаждениями городской промышленной зоны Челябинска с использованием изображений Landsat / Т. А. Капитонова [и др.] // Вестник ВГУ. Серия : География. Геоэкология. – 2023. – № 1. – С. 93–102.

4. Фетисов, Д. М. Оценка уровня озеленения города Биробиджана с применением мультиспектральных данных / Д. М. Фетисов, Д. В. Жучков, М. В. Горюхин // Биосфера. – 2021. – Т. 13, № 4. – С. 170–179.

5. Кравчук, Л. А. Дифференцированная оценка зеленой инфраструктуры г. Минска с использованием данных дистанционного зондирования Земли / Л. А. Кравчук, А. А. Яновский, Н. М. Баженова, А. Ч. Пац // Природопользование. – 2019. – № 2. – С. 152–167.