

**ИНДИКАЦИЯ ИЗМЕНЕНИЙ В ПРИРОДНО-АНТРОПОГЕННЫХ ЛАНДШАФТАХ  
ПО МНОГОЛЕТНЕЙ ДИНАМИКЕ ВЕГЕТАЦИОННЫХ ИНДЕКСОВ  
(НА ПРИМЕРЕ ЮГО-ВОСТОКА БЕЛАРУСИ)**

**Гусев А.П.**

*Гомельский государственный университет имени Ф. Скорины  
г. Гомель, Республика Беларусь, gusev@gsu.by*

Цель работы – изучение применимости вегетационных индексов для анализа и оценки многолетней динамики состояния природно-антропогенных ландшафтов. В работе использованы снимки Landsat 1984-2018 гг. Обработка снимков и расчет вегетационных индексов (NDVI, NBR, SWVI) выполнены в программе QGIS. Составлены карты растительного покрова на разных временных срезах. Изучена динамика растительного покрова на 18 тестовых участках. Впервые установлены особенности многолетних изменений вегетационных индексов в техногенных геосистемах, в том числе выведенных из эксплуатации. Установлено, что важным индикатором антропогенных нарушений лесных геосистем является стандартное отклонение величин вегетационных индексов.

*Ключевые слова:* ландшафт; динамика; растительный покров; вегетационные индексы; Landsat.

**INDICATION OF CHANGES IN NATURAL-ANTHROPOGENIC LANDSCAPES BY THE  
LONG-TERM DYNAMICS OF VEGETATION INDICES  
(THE EXAMPLE OF SOUTH-EASTERN BELARUS)**

**Gusev A.P.**

*Gomel State University. F. Skorina,  
Gomel, Republic of Belarus, gusev@gsu.by*

The purpose of the work is to study the applicability of vegetation indices for the analysis and assessment of the long-term dynamics of the state of natural anthropogenic landscapes. We used Landsat images from 1984-2018. Processing of images and the calculation of vegetation indices (NDVI, NBR, SWVI) was performed in the QGIS program. Plant cover maps have been compiled for different time sections. The vegetation cover dynamics was studied on 18 test area. For the first time, features of long-term changes in vegetation indices in man-made geosystems have been established (including abandoned technogenic geosystems). It has been established that an important indicator of anthropogenic disturbances of forest geosystems is the standard deviation of the values of vegetation indices.

*Key words:* landscape; dynamic; plant cover; vegetation indices; Landsat

Цель работы – изучение применимости вегетационных индексов, рассчитанных на основе серии снимков Landsat, для анализа и оценки динамики состояния природно-антропогенных ландшафтов. Задачи: подбор тестовых участков; получение и обработка снимков Landsat; составление карт растительного покрова на нескольких временных срезах; расчет вегетационных индексов NDVI, NBR, SWVI; анализ закономерностей изменений вегетационных индексов в период 1984-2018 гг.; анализ вероятных причин изменения во времени вегетационных индексов для выбранных тестовых участков. Объекты представляют следующие разновидности природных и антропогенных геосистем: техногенные геосистемы (застройка различного типа); сельскохозяйственные геосистемы (пахотные земли); лесные геосистемы (сосновые и широколиственные леса). В каждой категории изучались геосистемы, претерпевающие как восстановительные, так и дигрессивные изменения.

Для изучения многолетней динамики вегетационных индексов в техногенных геосистемах были выбраны 5 тестовых участков: Т1 – микрорайон «Мельников Луг» города Гомеля (застройка на массиве намывных грунтов в пойме реки Сож, площадь 5,5 км<sup>2</sup>); Т2 – микрорайон «Южный» города Гомеля (застройка на осушенном массиве в аллювиальном террасированном ландшафте, 1,1 км<sup>2</sup>); Т3 – микрорайон «Шведская

Горка» города Гомеля (застройка на массиве намывных грунтов в пойме реки Сож, площадь 1,2 км<sup>2</sup>); Т4 – выведенный из эксплуатации в начале 1990-х гг. военный аэродром «Зябровка (Гомельский район, 6,9 км<sup>2</sup>); Т5 – заброшенный населенный пункт Бартоломеевка (зона отселения, Ветковский район, 4,26 км<sup>2</sup>).

Для изучения многолетней динамики вегетационных индексов в сельскохозяйственных геосистемах были использованы 4 тестовых участка: А1 – пахотные земли, выведенные из оборота в районе «Новая жизнь» (0,3 км<sup>2</sup>); А2 – пахотные земли, выведенные из оборота в районе деревни Бартоломеевки (зона отселения, Ветковский район, 6,7 км<sup>2</sup>); А3 – пахотные земли вблизи деревни Поколюбичи (Гомельский район, 1,85 км<sup>2</sup>); А4 – пахотные земли вблизи деревни Восток (Гомельский район, 1,42 км<sup>2</sup>).

Для изучения многолетней динамики вегетационных индексов в лесных геосистемах были выбраны следующие тестовые участки: Л1 – сосновый лес вблизи микрорайона «Южный» (0,27 км<sup>2</sup>, рекреация, низовые пожары); Л2 – сосновый лес вблизи микрорайона «Кристалл» (0,8 км<sup>2</sup>, рекреация, низовые пожары); Л3 – сосновый лес вблизи отвалов фосфогипса ГХЗ (0,27 км<sup>2</sup>, токсичные выбросы, подтопление загрязненными водами); Л4 – сосновый лес в районе деревни Контакузовка (0,56 км<sup>2</sup>, повреждения короедом, вырубки); Л5 – сосновый лес в районе станции Рандовка (0,84 км<sup>2</sup>, фоновый); Л6 – смешанный лес в районе микрорайона «Южный» (0,28 км<sup>2</sup>, рекреация, низовые пожары); Л7 – широколиственный лес в районе полигона твердых бытовых отходов (0,78 км<sup>2</sup>, подтопление); Л8 – широколиственный лес в районе деревни Ченки (1,2 км<sup>2</sup>, фоновый); Л9 – широколиственный лес в районе станции Лисички (0,41 км<sup>2</sup>, фоновый).

На данных участках по серии снимков Landsat, по результатам маршрутных наблюдений, повторных геоботанических съемок на постоянных пробных площадках была изучена динамика растительного покрова в 1984-2018 гг. (наземные наблюдения охватывают период 1999-2018 гг.). Снимки Landsat были отобраны с сайта <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Критерии отбора: облачность – менее 10%, период съемки – июль-август. Атмосферная коррекция выполнена с помощью модуля Semi-Automatic Classification Plugin в программе QGIS. Маска тестовых участков разработана с помощью визуального дешифрирования снимков Sentinel-2 (комбинация каналов 4-8-3 «псевдоцвета») и анализа материалов сервиса «Google Планета Земля». Для расчетов вегетационных индексов использовался калькулятор растров программы QGIS. На основе снимков Landsat для каждого участка были рассчитаны известные вегетационные индексы NDVI, NBR, SWVI.

Особенности многолетней динамики NDVI на изучаемых техногенных объектах: микрорайон «Мельников луг» – низкие (менее 0,40) значения в течение всего периода наблюдений (песчаные пустоши намывного массива в 1980-е гг. и городская застройка в 1990-2010 гг.); микрорайон «Южный» – в 1980-1990-е гг. относительно высокие значения (0,50-0,80), указывающие растительный покров из луговых и рудеральных фитоценозов), снижаются в 2010-2018-х гг. (0,20-0,40), что обусловлено застройкой территории; микрорайон «Шведская горка» – в 1980-е гг. относительно высокие значения NDVI (0,40-0,60) снижаются до 0,20-0,30 и ниже, что отражает создание массива намывных песков и последующую застройку; выведенный из эксплуатации аэродром «Зябровка» – в 1978-1990 гг. были характерны низкие значения (до 0,50), после ликвидации военной базы и развитии процессов восстановления растительности значения NDVI возросли до 0,50-0,60; заброшенный населенный пункт Бартоломеевка – до отселения жителей значения NDVI составляли 0,50-0,60, к 2018 г. увеличились до 0,80 и выше. Для техногенных объектов характерны высокая вариабельность значений NDVI, обусловленная неоднородностью растительного покрова, что выражается в

величинах стандартного отклонения – 0,10-0,20 (в ненарушенных лесных геосистемах стандартное отклонение NDVI составляет 0,05).

Особенности многолетней динамики NDVI на изучаемых сельскохозяйственных землях рассмотрим на примере участка А1. В данном случае, в 1978-2016 гг. колебания значений NDVI были обусловлены особенностями эксплуатации; в середине 2000-х на залежах развивалась восстановительная сукцессия (NDVI возрос до 0,82 в 2016 г.), а в 2017 г. участок стал застраиваться (в 2018 NDVI упал до 0,30). По индексам NBR и SWVI также четко фиксируется начало застройки участка в 2017-2018 гг.: значения NBR снизились с 0,4-0,6 до 0,05; SWVI – с 0,2-0,3 до отрицательных значений.

Среднемноголетнее значение стандартного отклонения NDVI для фоновых сосновых лесов составляет 0,03, для широколиственных – 0,01. В нарушенных сосновых лесах этот показатель в зависимости от тестового участка находится в пределах от 0,06 до 0,08, в нарушенных широколиственных лесах – 0,04-0,06. В отдельных годы величина стандартного отклонения NDVI в нарушенных сосновых лесах возрастала до 0,11-0,15 (например, в сосновом лесу, находящемся в зоне влияния ГХЗ в 1980-е и 1990-е гг.). Подтопление широколиственного леса в зоне влияния полигона ТБО индицируется увеличением стандартного отклонения NDVI до 0,09-0,13. Таким образом, в рассматриваемых примерах антропогенное воздействие вызывает увеличение среднемноголетних величин стандартного отклонения NDVI в 2-2,7 раза в сосновых лесах и в 4-6 раз в широколиственных лесах.

Среднемноголетнее значение стандартного отклонения NBR для фоновых сосновых лесов составляет 0,03, для широколиственных лесов – 0,02. В нарушенных сосновых лесах этот показатель в зависимости от тестового участка находится в пределах от 0,08 до 0,16, в нарушенных широколиственных лесах – 0,05-0,06. Наибольшее значение стандартного отклонения NBR наблюдалось в сосновых лесах, подверженных выборочным рубкам, – 0,15-0,2. Антропогенное воздействие индицируется ростом среднемноголетних значений стандартного отклонения NBR в 2,7-5,3 раза для сосновых лесов и в 2,5-3 раза для широколиственных лесов. Среднемноголетнее значение стандартного отклонения SWVI для фоновых сосновых лесов составляет 0,025, для широколиственных лесов – 0,02. В нарушенных сосновых лесах этот показатель в зависимости от тестового участка находится в пределах от 0,06 до 0,09, в нарушенных широколиственных лесах – 0,05. Наибольшее значение стандартного отклонения SWVI наблюдалось в сосновых лесах, подверженных выборочным рубкам, – 0,10-0,16. Антропогенное воздействие индицируется ростом среднемноголетних значений стандартного отклонения SWVI в 2,4-3,6 раза для сосновых лесов и в 2,5 раза для широколиственных лесов. В год непосредственного действия антропогенного фактора стандартное отклонение NDVI увеличивается в 5 и более раз. Например, при низовых пожарах в сосновых лесах (Л1 и Л2) в 2000 г. – в 5,5 раза; при выборочной рубке поврежденных короедом древостоев (Л4) в 2018 г. – в 14 раз; при подтоплении широколиственного леса в зоне влияния полигона ТБО в 2015 г. – в 13,8 раза. Аналогичные закономерности характерны для NBR и SWVI. Так, после низовых пожаров на участках Л1 и Л2 в 2000 г. значение NBR были ниже фона в 1,5 раза, а стандартное отклонение NBR – в 4,3 раза. Значения SWVI – в 1,6-2,3 раза, стандартное отклонение SWVI – в 3,4 раза. Рост стандартного отклонения значений вегетационных индексов при антропогенном воздействии объясняется формированием в пределах лесной геосистемы участков с поврежденным древостоем и дефолиацией, прогалин, полян, вырубков, т.е. проявлениями фрагментации древесных ярусов, от которых зависят спектрально-отражательные свойства лесного покрова.