

**МНОГОЛЕТНЯЯ ДИНАМИКА ВЕГЕТАЦИОННЫХ ИНДЕКСОВ
В ПРИРОДНЫХ И АНТРОПОГЕННЫХ ГЕОСИСТЕМАХ
(НА ПРИМЕРЕ ЮГО-ВОСТОКА БЕЛАРУСИ)**

*УО «Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины»,
г. Гомель, Республика Беларусь
gusev@gsu.by*

Цель работы – изучение применимости вегетационных индексов, рассчитанных на основе серии снимков *Landsat*, для анализа и оценки антропогенной динамики геосистем. Задачи: получение и обработка серии снимков *Landsat* для изучаемой территории; расчет вегетационных индексов *NDVI*, *NBR*, *SWVI*; выяснение закономерностей изменений вегетационных индексов в ландшафтах юго-востока Беларуси в период 1984 – 2018 гг. на примере тестовых ареалов антропогенных и природных геосистем; выявление вероятных причин колебаний значений вегетационных индексов для каждого тестового ареала.

Для изучения многолетней динамики вегетационных индексов были выбраны 11 тестовых участков, представляющих различные природные и природно-антропогенные геосистемы:

- 1 – микрорайон «Мельников Луг» города Гомеля (застройка на массиве намывных грунтов в пойме реки Сож, площадь 5,5 км²);
- 2 – микрорайон «Южный» города Гомеля (застройка на осушенном массиве в аллювиальном террасированном ландшафте, 1,1 км²);
- 3 – выведенный из эксплуатации в начале 1990-х гг. военный аэродром «Зябровка» (6,9 км²);
- 4 – пахотные земли, выведенные из оборота в районе «Новая жизнь» (0,3 км²);
- 5 – массив широколиственного леса южнее деревни Ченки (1,2 км²);
- 6 – сосновый лес вблизи микрорайона «Южный» (0,27 км²);
- 7 – сосновый лес вблизи микрорайона «Кристалл» (0,8 км²);
- 8 – сосновый лес вблизи отвалов фосфогипса ГХЗ (0,27 км²);
- 9 – смешанный лес вблизи полигона ТБО (0,78 км²);

10 – смешанный лес вблизи микрорайона «Южный» (0,28 км²).

На данных участках по серии снимков *Landsat*, по результатам маршрутных наблюдений, повторных геоботанических съёмок на постоянных пробных площадках была изучена динамика растительного покрова в 1984-2018 гг. (наземные наблюдения охватывают период 1999 – 2018 гг.[1,2,3,4]). Снимки *Landsat* были отобраны с сайта <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Критерии отбора: облачность – менее 10 %, период съёмки – июль-август. Оказалось, что этим критериям соответствуют 21 снимок: 1984, 1985, 1986, 1987, 1989, 1990, 1993, 1995, 1997, 1999, 2000, 2002, 2004, 2005, 2006, 2008, 2009, 2010, 2015, 2016 и 2018 гг.

Атмосферная коррекция выполнена с помощью модуля *Semi-Automatic Classification Plugin* в программе *QGIS*. Маска тестовых участков разработана с помощью визуального дешифрирования снимков *Sentinel-2a* (комбинация каналов 4-8-3 «псевдоцвета») и анализа материалов сервиса «Google Планета Земля». Для расчетов спектральных индексов использовался калькулятор растров программы *QGIS*. На основе снимков *Landsat* для каждого участка были рассчитаны *NDVI*, *NBR*, *SWVI* (среднее, медианное, минимальное, максимальное значения, стандартное отклонение). *NDVI* – количественный показатель фотосинтетически активной биомассы; *NBR* – дифференцированный индекс гарей; *SWVI* – показатель содержания влаги и хлорофилла в зелёных фракциях растений (таблица 1) [5,6,7].

Особенности многолетней динамики *NDVI* на изучаемых антропогенных 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 гг. относительно высокие значения (0,50 – 0,80), указывающие на растительный покров из луговых и рудеральных фитоценозов), снижаются в 2010 – 2018-х гг. (0,20 – 0,40), что обусловлено застройкой территории;
- 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 в 2009 – 2018 гг.;
- пахотные земли, выведенные из использования в районе «Новая Жизнь» – 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).

Таблица 1 – Среднегодовые значения вегетационных индексов на тестовых участках (1984 – 2018 гг.)

Тестовый участок	<i>NDVI</i>		<i>NBR</i>		<i>SWVI</i>	
	<i>M±σ</i>	<i>Min-Max</i>	<i>M±σ</i>	<i>Min-Max</i>	<i>M±σ</i>	<i>Min-Max</i>
1	2	3	4	5	6	7
Микрорайон «Мельников Луг» города Гомеля	0,26± 0,05	0,15- 0,36	0,03 ±0,08	-0,10- 0,15	- 0,05± 0,05	- 0,15 - 0,05
Микрорайон «Южный» города Гомеля	0,54± 0,15	0,21- 0,80	0,33 ±0,16	0,01- 0,58	0,12± 0,13	- 0,13 - 0,41

Окончание таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7
Аэродром «Зябровка», выведенный из эксплуатации в начале 1990-х гг.	0,44± 0,09	0,24- 0,63	0,25 ±0,07	0,07- 0,32	0,05± 0,08	- 0,08 - 0,17
Пахотные земли, выведенные из оборота в районе «Новая жизнь»	0,56± 0,13	0,30- 0,78	0,40 ±0,16	0,07- 0,62	0,18± 0,12	- 0,11 - 0,37
Массив широколиственного леса южнее деревни Ченки	0,74± 0,13	0,48- 0,91	0,64 ±0,03	0,55- 0,68	0,35± 0,07	0,23 - 0,60
Сосновый лес вблизи микрорайона «Южный»	0,58± 0,12	0,33- 0,77	0,45 ±0,06	0,33- 0,53	0,21± 0,07	0,11 - 0,42
Сосновый лес вблизи микрорайона «Кристалл»	0,60± 0,12	0,34- 0,79	0,50 ±0,05	0,42- 0,58	0,27± 0,07	0,18 - 0,50
Сосновый лес вблизи отвалов фосфогипса ГХЗ	0,51± 0,11	0,35- 0,77	0,38 ±0,10	0,21- 0,55	0,16± 0,08	0,05 - 0,27
Смешанный лес вблизи полигона ТБО	0,70± 0,11	0,44- 0,84	0,59 ±0,03	0,53- 0,64	0,32± 0,06	0,2± 0,53
Смешанный лес вблизи микрорайона «Южный»	0,69± 0,13	0,41- 0,86	0,56 ±0,04	0,47- 0,64	0,28± 0,06	0,18 - 0,36

$M \pm \sigma$ – среднее значение и среднеквадратичное отклонение за период 1984 – 2018 гг.; *Min-Max* – минимальное и максимальное значения за период 1984 – 2018 гг.

Таким образом, изменения режима антропогенного воздействия (забрасывание сельскохозяйственных угодий и техногенных объектов, застройка территории) может диагностироваться по многолетним рядам *NDVI*.

Колебания значений *NDVI*, обусловленные антропогенными факторами, проявляются на фоне влияния динамики климатических условий. Так, аномально низкие значения *NDVI* (в 1,4 – 2,8 раза ниже среднееголетних значений) отмечаются синхронно на всех изучаемых объектах в 2010 г., менее выражено – в 2002 и 1984 гг.

Особенности многолетней динамики *NDVI* в лесных геосистемах следующие:

сосновые леса, подверженные рекреационному и пирогенному воздействию, – большую часть времени значения *NDVI* находятся в пределах от 0,60 до 0,80; снижение до 0,50 – 0,60 имеет место в 2004 – 2009 гг.; годы с аномально низкими значениями – 2010, 2002, 1984;

сосновый лес вблизи отвалов фосфогипса ГХЗ – значения *NDVI* до 2010-х гг. не превышали 0,60, а в 2015 – 2018 гг. составили 0,68 – 0,77, что вероятно обусловлено снижением техногенной нагрузки (в 2010-х гг. прекратилось расширение полигона, оборудована канава, регулирующая поверхностный загрязнённый сток);

смешанный лес вблизи полигона ТБО (антропогенный фактор – подтопление) – в течение периода наблюдений значения *NDVI* колебались в интервале 0,60 – 0,80, за

исключением аномальных 2010, 2002, 1989, 1984 гг.; какой-либо тренд не прослеживается;

смешанный лес вблизи микрорайона «Южный» (антропогенный фактор – низовые пожары) – большую часть времени значения *NDVI* колебались в интервале 0,60 – 0,80, за исключением аномальных 2010, 2002, 1989, 1984 гг.; снижение в 2004 – 2008 гг. до 0,50– 0,60, вероятно, может объясняться пожарами (наблюдались в 2005 – 2006 г.);

широколиственные леса (фоновые, без выраженного антропогенного воздействия) – большую часть времени значения *NDVI* составляли 0,70 – 0,90, за исключением аномальных 2010, 2002, 1989 и 1984 гг.; в 2004 – 2008 гг. также имело место снижение до 0,60 – 0,70.

Таким образом, о связи изменений антропогенного фактора и динамики *NDVI* в лесных геосистемах можно относительно уверенно говорить только в случае соснового леса, находящегося в зоне влияния отвалов фосфогипса ГХЗ. Снижение антропогенной нагрузки отражается в росте значений *NDVI* в 1,5 раза относительно среднесуточной величины. Резкое уменьшение *NDVI* в 2010, 2002, 1989 и 1984 гг. фиксируется на всех объектах вне зависимости от наличия антропогенных факторов и, вероятно, обусловлено климатическими факторами.

Многолетняя динамика *NBR* и *SWVI* имеет следующие особенности. Для микрорайона «Мельников луг» характерны низкие значения в течение всего периода наблюдений: *NBR* – менее 0,1, *SWVI* – менее 0,05 (большую часть времени отрицательные значения). Для микрорайона «Южный» в 1984 – 2009 гг. значения *NBR* составляли в среднем 0,3 – 0,5, а *SWVI* – 0,1 – 0,2. В 2010-е гг. началось строительство комплекса многоэтажных зданий, что отразилось в резком снижении *NBR* (менее 0,1) и *SWVI* (<0). На пахотных землях, расположенных в районе «Новая жизнь» по *NBR* и *SWVI* четко фиксируется начало их застройки в 2017 – 2018 гг.: значения *NBR* снизились с 0,4 – 0,6 до 0,05; *SWVI* – с 0,2 – 0,3 до отрицательных значений.

Массив соснового леса вблизи микрорайона «Южный» по данным наземных маршрутных наблюдений в 2004 – 2018 гг. периодически подвергался воздействию низовых пожаров. Пирогенный эффект отражается в снижении значений *NBR* до 0,3 – 0,4 в годы пожаров (0,4 – 0,5 – при отсутствии пожаров). Имеется реакция *SWVI* – снижение до 0,1 – 0,2 в годы пожаров (0,2 – 0,3 – при отсутствии пожаров). Для массива соснового леса вблизи микрорайона «Кристалл» в течение всего периода наблюдений характерны относительно высокие значения *NBR* (более 0,4) и *SWVI* (более 0,2). Массив широколиственного леса (без какого-либо значимого антропогенного влияния) в течение всего периода наблюдений имел значения *NBR*>0,6 и *SWVI*>0,3. Значения индексов колебались в районе среднесуточных значений со стандартным отклонением $\sigma=0,01-0,03$. В аномальные по *NDVI* годы существенного снижения *NBR* и *SWVI* в лесных геосистемах не наблюдалось.

Таким образом, анализ многолетних наблюдений на тестовых объектах показал:

- колебания вегетационных индексов обусловлены комплексом факторов, имеющих как природное, так антропогенное происхождение;
- все рассматриваемые индексы чувствительны к антропогенным нарушениям геосистем, ведущим к снижению проективного покрытия растительности и росту площадей с разряженным растительным покровом;
- *NDVI* в большей степени чувствителен к климатическим изменениям, чем *NBR* и *SWVI*;
- антропогенные геосистемы характеризуются значительными колебаниями год от года *NDVI* и постоянно низкими значениями *NBR* и *SWVI*.

Список литературы

1 Гусев, А.П. Особенности сукцессий растительности в ландшафтах, нарушенных деятельностью человека (на примере юго-востока Белоруссии) / А.П. Гусев // Сибирский экологический журнал. – 2012. – №2. – С. 231–236.

2 Гусев, А.П. Сукцессионные процессы в ландшафтах юго-востока Беларуси: анализ наблюдений на постоянных пробных площадях / А.П. Гусев // Вестник Витебского государственного университета. – 2012. – т. 2. – № 68. – С. 33–37.

3 Гусев, А.П. Пространственно-временные изменения землепользования и динамика растительности в ландшафтах юго-востока Беларуси // Природные ресурсы. – 2014. – №1. – С. 42–50.

4 Гусев, А.П. Динамика лесного покрова в ландшафтах, различающихся историей хозяйственного освоения // Природные ресурсы. – 2017. – №1. – С. 102–109.

5 The use of the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) to assess land degradation at multiple scales: a review of the current status, future trends, and practical considerations / G.T. Yengoh, D. Dent, L. Olsson, A.E. Tengberg, C.J. Tucker. – Lund University Centre for Sustainability Studies – LUCSUS, 2014. – 80 p.

6 Howard, S.M. An evaluation of Gap-Filled Landsat SLC-Off imagery for wildland fire burn severity mapping / S.M.Howard, M.L.Lacasse // Photogrammetric Engineering and Remote Sensing. – 2004. – № 70. – P. 877–879.

7 Ceccato, P. Detecting vegetation water content using reflectance in the optical domain / P.Ceccato, S. Flasse, S. Tarantola, S. Jacquemond, J. Gregoire // Remote Sensing of Environment. – № 77. – 2001. – P. 22–33.