

ДИНАМИКА NDVI КАК ИНДИКАТОР ЛАНДШАФТНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ТЕНДЕНЦИЙ

Гусев А.П.

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

Цель настоящей статьи – изучение динамики NDVI как индикатора изменений экологического состояния ландшафтов. Решаемые задачи: изучение многолетней динамики NDVI в ландшафтах восточной части Полесской провинции в 2000-2019 гг.; выявление основных трендов динамики NDVI; изучение особенностей многолетней динамики NDVI сельскохозяйственных, сельскохозяйственно-лесных и лесных природно-антропогенных ландшафтах; оценка отклика NDVI на изменения климата в разных природно-антропогенных ландшафтах. Использован продукт MOD13Q1 (радиоспектрометр MODIS спутника Terra). Как индикатор ландшафтно-экологической тенденции рассмотрен $dNDVI = NDVI_2 - NDVI_1$, где $NDVI_1$ – среднее значение за 2000-2004 гг.; $NDVI_2$ – среднее значение за 2014-2019 гг. В качестве операционной территориальной единицы выступал выдел рода природного ландшафта (всего 70 выделов).

Ключевые слова: ландшафт; динамика; экологическое состояние; растительный покров; NDVI; MODIS

DYNAMICS OF NDVI AS INDICATOR OF LANDSCAPE-ECOLOGICAL TRENDS

Gusev A.P.

*F. Skorina Gomel State University
Gomel, Republic of Belarus, e-mail: gusev@gsu.by*

The purpose of this article is to study the dynamics of NDVI as an indicator of changes in the ecological state of landscapes. Tasks to be solved: study of long-term dynamics of NDVI in the landscapes of the eastern part of Polesye province in 2000 – 2019; identification of the main trends in the dynamics of NDVI; study of the features of the long-term dynamics of NDVI agricultural, agricultural-forest and forest natural-anthropogenic landscapes; assessment of the NDVI response to climate change in various natural and anthropogenic landscapes. Used product MOD13Q1 (radio spectrometer MODIS satellite Terra). $DNDVI = NDVI_2 - NDVI_1$, where $NDVI_1$ is the average value for 2000-2004, was considered as an indicator of the landscape-ecological tendency; $NDVI_2$ – average value for 2014-2019. An allotment of a kind of natural landscape was used as an operational territorial unit (70 site).

Keywords: landscape; dynamic; ecological state; plant cover; NDVI; MODIS

Использование данных многозональной космической съемки для диагностики состояния ландшафтов – это актуальное направление современной геоэкологии. Для решения различных задач геоэкологической оценки территорий с помощью методов дистанционного зондирования применяются вегетационные индексы. Наиболее изучен и широко

используется Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), который рассматривается как количественный показатель фотосинтетически активной биомассы и имеет сильную степень корреляции с первичной чистой и валовой продукцией, что позволяет использовать его как индикатор продуктивности и устойчивости ландшафтов [1 – 4]. В тоже время применение NDVI ограничивается его зависимостью от таких факторов, как климатические колебания, изменения состояния атмосферы в период съемки и т.д.

Ландшафтно-экологическая тенденция – направленность пространственно-временных изменений экологического состояния геосистем (или потенциальная ландшафтно-экологическая ситуация). Предлагается различать долговременные и современные тенденции. Долговременная тенденция – это изменения геосистем во временном масштабе от нескольких десятилетий до первых столетий. Современная тенденция – от нескольких лет до первых десятилетий. Вследствие высокой сложности и стохастичности природных и антропогенных геосистем для оценки используются индикаторы ситуаций (индикаторы состояния в конкретный промежуток времени) и тенденций (индикаторы направленности изменений состояния во времени). Наиболее универсальными индикаторами тенденций являются характеристики динамики растительного покрова, в том числе изменения вегетационных индексов [3,4].

Цель настоящей статьи – изучение динамики NDVI как индикатора изменений экологического состояния ландшафтов. Решаемые задачи: изучение многолетней динамики NDVI в ландшафтах восточной части Полесской провинции в 2000 – 2019 гг.; выявление основных трендов динамики NDVI; изучение особенностей многолетней динамики NDVI сельскохозяйственных, сельскохозяйственно-лесных и лесных природно-антропогенных ландшафтах; оценка отклика NDVI на изменения климата в разных природно-антропогенных ландшафтах.

Объектом исследований выступали ландшафты восточной части Полесской ландшафтной провинции (часть провинции в пределах Гомельской области). В качестве операционной территориальной единицы выступал выдел рода природного ландшафта (всего 70 выделов). Классификация природных и природно-антропогенных ландшафтов (ПАЛ) выполнялась по Г.И. Марцинкевич [5].

В работе использованы данные MOD13Q1, которые содержат значения NDVI, рассчитанные по результатам многозональной съемки спутника Terra (радиоспектрометр MODIS). Эти данные представляют собой растровый композит с пространственным разрешением 250 м, который формируется из максимальных значений NDVI за 16 суток, что позволяет уменьшить влияние помех, вызванных изменчивостью свойств атмосферы. Продукт MOD13Q1 взят с ресурса NASA.

Нормализованный вегетационный индекс рассчитывается по общеизвестной формуле: $NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED)$, где NIR – значения отражения в ближней инфракрасной области спектра; RED – отражение в

красной области спектра. Это безразмерный показатель, изменяющийся от -1 до 1.

Для устранения влияния сезонной вариабельности NDVI для анализа использовались композиты только летнего сезона (25.05 – 09.06, 10.06 – 25.06, 26.06 – 11.07, 12.07 – 27.07, 28.07 – 12.08, 13.08 – 28.08). Временной период – 2000 – 2019 гг.

В качестве индикаторы ландшафтно-экологической тенденции использован показатель $dNDVI = NDVI_2 - NDVI_1$, где $NDVI_1$ – среднее значение за 2000 – 2004 гг.; $NDVI_2$ – среднее значение за 2014 – 2019 гг. 5-летний период был взят для устранения возможного влияния метеорологических аномалий (например, аномально сухое и жаркое лето или аномально холодное лето). Достоверность различий между 2000 – 2004 и 2014 – 2019 гг. оценивалась по критерию Вилкоксона для зависимых выборок.

В качестве факторов, влияющих на спектрально-отражательные свойства земной поверхности и, соответственно, на значения вегетационных индексов, были рассмотрены: средняя температура и количество осадков в месяц съемки (базы данных метеостанций Гомель, Брагин, Мозырь, Василевичи, Житковичи, Жлобин, Октябрь).

Средние значения индексов для двух временных интервалов были рассчитаны для каждого выдела рода ландшафтов. Все выделы были классифицированы на три группы:

достоверной снижение NDVI ($dNDVI < 0$, $p < 0,05$);

различия между двумя интервалам не достоверны ($p > 0,05$);

достоверное увеличение NDVI ($dNDVI > 0$, $p < 0,05$).

Рассмотрим результаты полученные для ПАЛ на уровне классов (на территории региона сельскохозяйственные ПАЛ занимают 5,8% площади, сельскохозяйственно-лесные – 79,0 %, лесные – 15,2 %). Установлено, что в среднем удельная площадь с достоверным снижением NDVI составляет 4,5 % (в сельскохозяйственных ПАЛ – 20,8 %; в сельскохозяйственно-лесных ПАЛ – 2,4 %; в лесных ПАЛ – 0 %). Удельная площадь ландшафтов, в которых наблюдалось достоверное увеличение NDVI, составила для региона 45,9 % (в сельскохозяйственных ПАЛ – 40,0 %; в сельскохозяйственно-лесных ПАЛ – 41,9 %; в лесных ПАЛ – 70,6 %). Для сельскохозяйственных ПАЛ показатель $dNDVI$ составил -0,008, для сельскохозяйственно-лесных ПАЛ – 0,018; для лесных ПАЛ – 0,032. На значительной части территории достоверных отличий по данному критерию не наблюдается, т.е. изменения NDVI в 2000 – 2019 гг. находятся в пределах статистической погрешности (сельскохозяйственные ПАЛ – 39,2 %; сельскохозяйственно-лесные ПАЛ – 55,7 %; лесные ПАЛ – 29,4 %).

В разных выделах родов ПАЛ величина $dNDVI$ изменяется от -0,027 до +0,050. Так, например, в моренно-зандровом пахотном ПАЛ $dNDVI = -0,027$, во вторично-моренном пахотном ПАЛ – -0,018, в озерно-болотном лесном – 0,047, в аллювиальном террасированном лесном – 0,026 и т.д.

Все основные причины временных изменений NDVI можно разделить на две группы:

1) изменения площадей земель с разной биомассой и биопродуктивностью;

2) климатические изменения, влияющие на продуктивность растительного покрова (урожайность сельскохозяйственных земель, прирост зеленой фитомассы в луговых и лесных геосистемах).

При этом, вероятно, что одновременно в пределах одного и того ландшафтного выдела могут происходить разнонаправленные процессы, а тренд NDVI является своего рода результирующим.

Изменения NDVI в пределах оцениваемого ареала могут индцировать различные процессы, например, изменение соотношения площадей лесных, пахотных, нарушенных и застроенных земель (т.е. структуры землепользования). Снижение лесистости территории вызывает уменьшение средних значений NDVI, а рост лесистости, наоборот, увеличение средних значений NDVI. Смена растительного покрова антропогенным покровом, т.е. застроенными и нарушенными землями (т.е. рост площади территорий с очень низкими значениям NDVI) будет вызвать снижение среднего NDVI по выделу. Можно также предположить, что динамика климата провинции, которая связана с глобальными климатическими процессами, оказывает влияние на продуктивность растительного покрова. При стабильности или незначительных изменениях структуры землепользования вклад колебаний климата в динамику NDVI, вероятно, будет играть ведущую роль.

Нами был проведен регрессионный анализ влияния климатических факторов на временные изменения NDVI. Для каждого выдела рода ландшафта рассчитывались среднее значение NDVI за летний сезон, средняя температура за летний сезон, количество осадков за летний сезон. Метеоданные брались с близлежащей к данному выделу метеостанции. Временной ряд – 20 лет (2000 – 2019 гг.).

Для всех выделов сельскохозяйственных ПАЛ установлено, что статистически достоверным членом уравнений регрессии является количество осадков. При этом, значения коэффициентов детерминации (R^2) составляют 0,41 – 0,52, т.е. доля дисперсии NDVI, объясняемая изменчивостью осадков, составляет 41 – 52 %. Исходя из этого, можно предположить, что в летний сезон динамика NDVI сельскохозяйственных ландшафтов определяется в большей степени осадками, чем температурой.

Почти половина (46,9 %) выделов сельскохозяйственно-лесных ПАЛ статистически достоверных уравнений регрессии не имеет. Для значительной части (44,2 %) достоверным членом уравнения регрессии также оказалось количество осадков (коэффициенты детерминации 0,21 – 0,52). Для небольшой части территории (5,4 %) – температура. Кроме того, для двух выделов (3,5 % площади класса) в уравнение регрессии вошли оба фактора.

В лесных ландшафтах более половины территории (51,7 %) характеризуется уравнением регрессии, в котором статистически

достоверным членом оказывается температура (коэффициенты детерминации 0,20 – 0,25). Влияние количество осадков на NDVI статически достоверно для 28,0 % площади этого класса ($R^2=0,23 - 0,31$). По коэффициентам детерминации видно, что вариабельность значений NDVI, объясняемая изменениям температуры и осадков, в основном, составляет 20 – 30 %.

На 20,3% территории лесных ландшафтов достоверного влияния на NDVI рассматриваемых климатических показателей не установлено.

Таким образом, установлено, что в разных классах ПАЛ влияние изменений климата на NDVI не одинаково. Так, для значительной части лесных ландшафтов потепление климата (т.е. рост температур) может сопровождаться увеличением NDVI, что, вероятно, будет обусловлено повышением биопродуктивности этих ландшафтов.

В сельскохозяйственных ландшафтах главным фактором, влияющим на NDVI, является количество осадков, поэтому потепление климата, выражающееся в росте температур, но без увеличения количества осадков, вызывает снижение NDVI, которое индицирует падение их биопродуктивности.

Если рассматривать всю восточную часть Полесской ландшафтной провинции, то видно, что на значительной части территории (45 %) установлено статистически достоверное влияние на динамику NDVI количества осадков за летний период. На втором месте по площади (40,1 %) ландшафты, для которых достоверную связь между NDVI и климатическими факторами установить не удалось. Ландшафты, для которых удалось выявить связь NDVI с температурой, концентрируются на юго-западе региона и представлены преимущественно лесными ПАЛ.

Библиографические ссылки

1. 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 [et al.]. – Lund University Centre for Sustainability Studies: LUCSUS, 2014. – 80 p.

2. Phillips, L.B. Evaluating the species energy relationship with the newest measures of ecosystem energy: NDVI versus MODIS primary production / L.B. Phillips, A.J. Hansen, C.H. Flather // Remote Sensing of Environment, 2008. – Vol. 112. – P. 4381-4392.

3. Гусев, А.П. Дистанционные индикаторы ландшафтно-экологических тенденций (на примере юго-востока Беларуси) / А.П. Гусев // Ученые записки Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского. География. Геология, 2019. – Том 5 (71). – № 3. – С. 127-135.

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

5. Марцинкевич, Г.И. Ландшафтоведение: учебник. / Г.И. Марцинкевич. – Минск: БГУ, 2007. – 206 с.