

МНОГОЛЕТНИЕ ТРЕНДЫ ПРОДУКТИВНОСТИ ПОЛЕССКИХ ЛАНДШАФТОВ В УСЛОВИЯХ МЕНЯЮЩЕГОСЯ КЛИМАТА

Гусев А.П.

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

Изучены изменения продуктивности полесских ландшафтах в 2000-2021 гг. по данным дистанционного зондирования Земли. Тренды NDVI существенно различаются в зависимости от антропогенной трансформации ландшафтов. В сельскохозяйственных природно-антропогенных ландшафтах статистически значимый тренд отсутствует. В лесных и сельскохозяйственно-лесных ландшафтах обнаружен достоверный положительный тренд NDVI, индицирующий рост их продуктивности.

Ключевые слова: полесские ландшафты, NDVI, индикатор, тренд, изменения климата.

Введение. Продуктивность – один из лучших индикаторов климатогенной реакции ландшафтов, что обусловлено влиянием климата на функционирование геосистем, на биологический круговорот и влагооборот [1, 2]. Продуктивность ландшафтов может определяться по величине нормализованного разностного вегетационного индекса (NDVI), который рассчитывается по соотношению коэффициентов отражения в красном и ближнем инфракрасном диапазонах электромагнитного спектра. Установлено, что NDVI имеет высокую степень корреляции с первичной продукцией и зеленой биомассой [3].

Целью настоящей работы является изучение пространственно-временной динамики NDVI в полесских ландшафтах как реакции на климатические изменения. Решаемые задачи: анализ трендов NDVI; изучение вероятных причин изменений NDVI в разных классах природно-антропогенных полесских ландшафтах; анализ и оценка связи между NDVI и климатическими показателями.

Материалы и методы исследований. В работе использован продукт MOD13Q1 (значения NDVI, рассчитанные по результатам съемки радиоспектрометра MODIS спутника Terra). Данный продукт представляет собой растровый композит с пространственным разрешением 250 м, который формируется из максимальных значений NDVI за 16 суток, что позволяет уменьшить помехи, обусловленные изменчивостью свойств атмосферы. Для устранения влияния сезонной вариабельности NDVI в процессе анализа использовались композиты только летнего сезона. Временной диапазон – 2000-2021 гг. Для оценки многолетнего тренда в пределах выделов ландшафтов рассчитывались усредненные значения NDVI по 6 композитам.

Объектом исследования являлись полесские природно-антропогенные ландшафты (ПАЛ), представленные 3 классами – сельскохозяйственные, сельскохозяйственно-лесные и лесные [4]. Классы ПАЛ определяются по соотношению в структуре землепользования лесных, пахотных, луговых и болотных геосистем. В качестве операционной территориальной единицы выступал выдел рода ландшафта.

Для оценки точности подбора уравнения тренда использовали коэффициент детерминации (R^2). Статистическую значимость коэффициента детерминации и уравнения тренда оценивали с помощью критерия Фишера. Для оценки связи между изменениями NDVI и климатическими показателями использованы непараметрический корреляционный анализ (рассчитывался коэффициент ранговой корреляции Спирмена) и метод множественной регрессии.

Результаты и их обсуждение. В ходе исследований установлено, что в полесских ПАЛ в 2000–2021 гг. наблюдался положительный линейный тренд NDVI, однако, динамика NDVI существенно различается в зависимости от класса ПАЛ. Так, для сельскохозяйственных ПАЛ характерно отсутствие статистически достоверных трендов, при этом на 76,3 % площади этого класса ПАЛ тренд NDVI отрицательный. В сельскохозяйственно-лесных ПАЛ статистически достоверный положительный тренд наблюдается на 48,5 % площади данного класса. В лесных ПАЛ достоверный положительный тренд характерен для 93,1 % их площади. В сельскохозяйственных ПАЛ, вероятно, значительный вклад в изменения NDVI может вносить динамика урожайности агрофитоценозов, которые здесь занимают более 50 % площади. Анализ статистических данных показал, что изменения урожайности сельскохозяйственных культур, обладающих в полесских ландшафтах наибольшими площадями, не имеет выраженной закономерности.

В сельскохозяйственно-лесных и лесных ландшафтах, где значительную часть территории занимают лесные геосистемы, повышение NDVI отражает комплекс процессов: рост зеленой фитомассы (положительное влияние увеличения содержания углекислого газа и температуры [5]); увеличение удельной площади древесных насаждений (лесистость территории Беларуси за 20 лет увеличилась на 2,1 %); увеличение возраста и соответственно зеленой фитомассы лесов; восстановление растительного покрова в антропогенных ландшафтах, выведенных из оборота после аварии на Чернобыльской АЭС.

Был выполнен анализ методом множественной регрессии влияния климатических факторов на 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.

Для всех выделов сельскохозяйственных ПАЛ установлено, что статистически достоверным членом уравнений регрессии является количество осадков. Значения коэффициентов детерминации находятся в пределах 0,4–0,5, т.е. доля дисперсии NDVI, объясняемая изменчивостью осадков, составляет 40–50 %. Исходя из этого, можно предположить, что в летний сезон динамика NDVI сельскохозяйственных ПАЛ определяется в сильной степени количеством летних осадков. Более половины (59,4%) площади сельскохозяйственно-лесных ПАЛ статистически достоверных уравнений регрессии не имеет. Для значительной части (29,6 %) достоверным членом уравнения регрессии также оказалось количество осадков ($R^2=0,37-0,47$). Для небольшой части территории – температура (2,6 %) или оба фактора вместе (8,4 %). На 44,3 % территории лесных ПАЛ достоверного влияния на продуктивность климатических показателей лета не установлено. 22,1 % характери-

зуется уравнением регрессии, в котором статистически достоверным членом оказывается температура. Влияние осадков статистически достоверно для 10,6% площади лесных ПАЛ.

Климатогенные реакции ПАЛ зависят от реакций составляющих их локальных геосистем. Исследования трендов NDVI в лесных, болотных и пахотных геосистемах локального уровня показало, что их реакция на климатические изменения существенно различается. Для лесных и болотных геосистем характерен положительный тренд NDVI, при этом достоверная корреляция этого показателя со средней температурой лета и летними осадками отсутствует [6]. В пахотных геосистемах тренд NDVI отсутствует и обнаруживается достоверная отрицательная корреляция с температурой и положительная – с осадками. При этом влияния климатических показателей на NDVI в лесных геосистемах зависит от лесной формации, а в пахотных геосистемах – от типа почв.

В разработанной системе риск-индикаторов ландшафтно-экологических тенденций, связанных с климатическими изменениями, снижение продуктивности (климата оценивается по многолетнему тренду NDVI и результатам изучения корреляции NDVI с климатическими показателями в пределах конкретных ландшафтов) рассматривается как ведущий риск-индикатор.

Заключение. В полесских ландшафтах зафиксирован статистически значимый положительный тренд NDVI, вероятно обусловленный потеплением климата в регионе и увеличением содержания CO₂ в атмосфере. При этом в разных классах ПАЛ влияние изменений климата на NDVI не одинаково. В сельскохозяйственных ПАЛ главным фактором, влияющим на NDVI, является количество осадков, поэтому потепление климата, выражающееся в росте температур, но без увеличения количества осадков, вызывает снижение их продуктивности. В лесных ПАЛ потепление климата сопровождается увеличением NDVI.

Библиографические ссылки

1. Коломыц, Э.Г. Экспериментальная географическая экология. Записки географа-натуралиста. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2018. 700 с.
2. Исаченко, А.Г. Ландшафтоведение и физико-географическое районирование. М.: Высшая школа, 1991. 366 с.
3. The use of the Normalized Difference Vegetation Index 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: LUCSUS, 2014. 80 p.
4. Марцинкевич, Г.И. Ландшафтоведение. Минск: БГУ, 2007. 206 с.
5. Greening of the Earth and its drivers / Z. Zhu, S. Piao, R.B. Myneni et al. // Nature climate change. 2016. Vol. 6. P. 791–795.
6. Gusev, A.P. Impact of Climate Change on Ecosystem Productivity of the Belarusian Polesia According to Remote Data // Contemporary Problems of Ecology. 2022. Vol. 15. No. 4. – P. 345–352.