

Интернет-портал Республики Беларусь – Режим доступа:  
<https://pravo.by/document/?guid=3871&p0=h10300205>. – Дата доступа: 15.09.2023.

5. Биологическое разнообразие Национального парка «Нарочанский»: сосудистые растения / Д.В. Дубовик [и др.]; под ред. В.И. Парфенова. – Борисов: Борисов. укрупн. тип. им. 1 Мая, 2014. – 256 с.

6. Красная Книга Республики Беларусь: редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды дикорастущих растений / гл. редкол.: И.М. Качановский (предс.), М.Е. Никифоров, В.И. Парфенов (и др.). – 4-е изд. – Минск: Беларус. Энцыкл. імя П. Броўкі, 2015. – 448 с.

7. Инструкция о порядке проведения мониторинга растительного мира постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 14 апреля 2004 г. № 412 «Об утверждении положений о порядке проведения в составе Национальной системы мониторинга окружающей среды в Республике Беларусь мониторинга растительного мира, геофизического мониторинга и использования их данных» (Национальный реестр правовых актов Республики Беларусь, 2004 г., № 70, 5/14160) ]// Продовольственная и сельскохозяйственная организация Объединенных наций – Режим доступа: <https://faolex.fao.org/docs/pdf/blr50665.pdf>. – Дата доступа: 15.09.2023.

8. Технический кодекс установившейся практики ТКП 17.05-01-2021 (33140) Охрана окружающей среды и природопользование Растительный мир /Правила проведения работ по установлению специального режима охраны и использования мест произрастания дикорастущих растений, относящихся к видам, включенным в Красную книгу Республики Беларусь.

9. Гагина Н.В., Курлович Д.М., Сипач В.А. Цифровое ландшафтное картографирование как элемент геоинформационного обеспечения Национального парка «Браславские озера». Журнал Белорусского государственного университета. География. Геология. 2023;1:19-32. <https://doi.org/10.33581/2521-6740-2023-1-19-32>.

УДК 528.88

## ОСОБЕННОСТИ СЕЗОННОЙ ДИНАМИКИ ВЕГЕТАЦИОННОГО ИНДЕКСА ПОСЕВОВ В РАЗЛИЧНЫХ ПОЧВЕННЫХ И ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

**Терехин Э.А.**

*ФГАОУ ВО «Белгородский государственный национальный  
исследовательский университет», Белгород, Россия  
E-mail: terekhin@bsu.edu.ru*

Совершенствование подходов к анализу сезонного развития посевов сельскохозяйственных культур выступает одной из ключевых задач в системе мониторинга посевных площадей. В настоящее время перспективным вариантом решения этой задачи становится использование спутниковой информации, благодаря возможности построения на ее основе рядов спектрально-отражательных характеристик пахотных земель. Вместе с этим получение объективных представлений о развитии посевов на основе сезонного хода отражательных признаков обуславливает необходимость совместного анализа сведений о них и условиях произрастания посевов. На их состояние могут оказывать влияние различные факторы, среды которых особенности почвенных условий, условия освещенности и др.

## ПРОБЛЕМЫ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ СИТУАЦИЯ В ЕВРОПЕЙСКОЙ РОССИИ И НА СОПРЕДЕЛЬНЫХ ТЕРРИТОРИЯХ

Целью исследования выступал анализ сезонного развития посевов озимой пшеницы на основе комплексной оценки спектрально-отражательных характеристик, почвенных и геоморфологических условий.

Исследование проведено на примере посевных площадей, расположенных на территории Белгородской области в условиях юга Среднерусской возвышенности. Регион характеризуется умеренно-континентальным климатом и распространением черноземов и серых лесных почв. Посевы озимой пшеницы занимают ключевое место в структуре пахотных земель. Вследствие распространенности овражно-балочного рельефа представлены склоны различных экспозиций. Перечисленные факторы обуславливают природные различия в условиях развития посевов, которые могут оказывать влияние на их продуктивность.

Исследование проведено на основе совместного анализа спектрально-отражательных характеристик посевов в виде вегетационного индекса NDVI, данных о различиях в почвенных и геоморфологических условиях на основе выборки из нескольких сотен участков пахотных земель с посевами озимой пшеницы. Все они располагались в аналогичных агроклиматических условиях. Индекс NDVI основан на отражательных характеристиках в красном и ближнем инфракрасном диапазонах спектра. Он для исследования выбран в связи с тем, что является одним из немногих показателей, на основе которого могут быть построены ряды сезонной динамики с достаточно высокой частотой, что выступает необходимым условием в связи с интенсивной сменой фенофаз посевами. Значения спектрального показателя получены из данных MOD13Q1, создаваемых на основе атмосферно и радиометрически откорректированных снимков MODIS, и, позволяющих осуществить объективную оценку сезонной динамики вегетационного индекса. Индекс NDVI находится в зависимости от объема надземной зеленой фитомассы и ее проективного покрытия (Wall et al., 2008; He et al., 2018; Tenreiro et al., 2021), что позволяет использовать его для интерпретации развития посевов.

Сформированная база данных изученных участков пашни включала для каждого из них сведения о типе почв, параметрах экспозиции и значениях вегетационного индекса с начала апреля по конец июля. Сезонный ряд для каждого участка включал, таким образом, 7 временных срезов, полностью охватывая интервал времени от начала развития после схода снега до времени уборки урожая.

Анализ рядов сезонной динамики вегетационного индекса для посевов, расположенных на склонах северной экспозиции, но на разных типах почв, показал, что при ее общих закономерностях существует и ряд отличий. Из графиков (Рис. 1) видно, что в период набора зеленой фитомассы, с начала апреля по конец мая, скорость роста значений вегетационного индекса на участках с черноземами выше, чем на полях с серыми лесными почвами. На серых лесных почвах (Рис. 1А) рост NDVI происходит по линии, близкой к прямой, в то время как на участках с черноземами (Рис 1Б) его увеличение происходит по криволинейной зависимости. В результате практически на всем отрезке от начала апреля до второй половины мая значения вегетационного индекса посевов, расположенных на черноземах, более высоки, что можно интерпретировать, как и более высокую скорость увеличения фитомассы. При сопоставлении графиков на рисунках 1А и 1Б видно, что значения индекса в период 24 мая – 9 июня, т.е. в сроки его максимальных сезонных величин, на черноземах превышают аналогичные значения на серых лесных почвах. После этого времени, т.е. в стадии созревания посевов, различий в динамике индекса не наблюдается.

ПРОБЛЕМЫ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ СИТУАЦИЯ  
В ЕВРОПЕЙСКОЙ РОССИИ И НА СОПРЕДЕЛЬНЫХ ТЕРРИТОРИЯХ

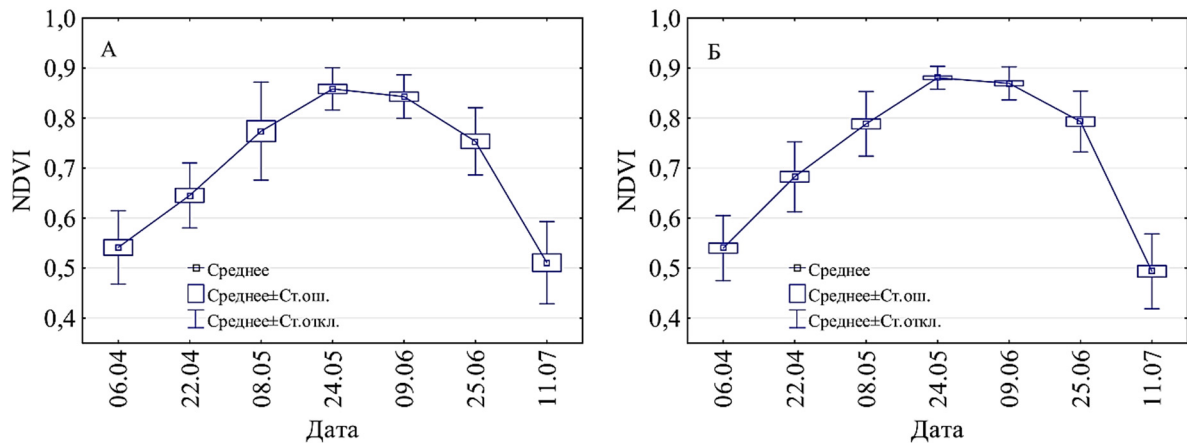


Рис. 1. Сезонная динамика вегетационного индекса озимой пшеницы на серых лесных (А) и черноземных почвах (Б) на склонах северных экспозиций

Из графиков на рисунке 1 видно, что вегетационный индекс характеризуется наименьшей величиной стандартного отклонения, т.е. максимальной однородностью посевов в период максимальных значений проективного покрытия зеленой фитомассы, соответствующий периоду конца мая – начала июня. Для посевов, расположенных на черноземах, достаточно наглядно заметно, что величина стандартного отклонения ниже, а, следовательно, проективное покрытие более равномерное. Наиболее высокие различия в стандартном отклонении проявляются в период максимальных значений вегетационного индекса.

Анализ рядов сезонной динамики спектрального индекса для посевов на склонах южных экспозиций также показал более высокую интенсивность увеличения его значений на участках с черноземными почвами (Рис. 2Б) в сравнении с посевами на серых лесных почвах (Рис. 2А). Увеличение значений NDVI посевов на черноземах в период роста зеленой фитомассы, с начала апреля по конец мая, происходит по дугообразной кривой, в то время как для посевов на серых лесных почвах его рост идет по линии, близкой к прямой. В результате в период максимальных значений зеленой фитомассы (конец мая) значения спектрального индекса для посевов на черноземах более высоки, чем посевов на серых лесных почвах. В этот же период для спектрального индекса посевов на склонах южных экспозиций, также как и на склонах северных экспозиций характерны минимальные величины стандартного отклонения. Они выступают индикатором более равномерного покрытия почвы зеленой фитомассой в этот период.

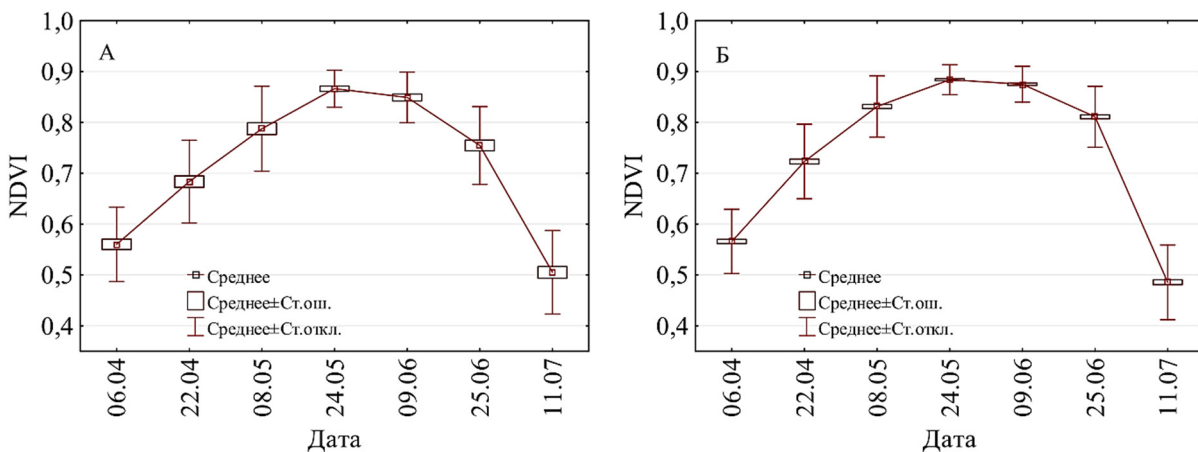


Рис. 2. Сезонная динамика вегетационного индекса озимой пшеницы на серых лесных (А) и черноземных почвах (Б) на склонах южных экспозиций

## ПРОБЛЕМЫ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ СИТУАЦИЯ В ЕВРОПЕЙСКОЙ РОССИИ И НА СОПРЕДЕЛЬНЫХ ТЕРРИТОРИЯХ

Сопоставление графиков сезонной динамики вегетационного индекса посевов, расположенных на одних и тех же типах почв, но противоположных экспозициях показывает, что интенсивность набора его значений более высока на склонах южных экспозиций. Этот вывод следует из сопоставления графиков на рисунках 1А и 2А и на рисунках 1Б и 2Б. Среди изученных кривых сезонного хода NDVI наиболее высокая скорость набора его значений, а, соответственно, и зеленой фитомассы, наблюдается для посевов, расположенных на черноземных почвах и склонах южных экспозиций. Наименьшая скорость набора значений индекса и наименьшие максимальные сезонные его значения наблюдаются для посевов, расположенных на серых лесных почвах и склонах северных экспозиций.

Различий в величине стандартного отклонения вегетационного индекса для посевов, расположенных на одних и тех же типах почв, но противоположных экспозициях, не наблюдается. Обусловлено это может быть тем, что вариация проективного покрытия на них примерно одинакова. Вместе с этим во всех изученных случаях наблюдаются общие закономерности сезонного хода вегетационного индекса, связанные с периодом роста, достижением максимальных сезонных значений и периодом снижения.

Сезонная динамика вегетационного индекса посевов, расположенных в различных почвенных и геоморфологических условиях, таким образом, характеризуется рядом общих особенностей. К ним относятся сроки увеличения значений NDVI, время достижения его максимальных сезонных величин и период снижения значений. Вместе с этим фактор различий в типе почв и условиях освещенности в виде различий экспозиции склонов проявляется в кривых сезонной динамики вегетационного индекса. Влияние фактора почв проявляется в более высокой скорости набора значений NDVI посевами на черноземных почвах в сравнении с посевами, расположенными на серых лесных почвах. Влияние почвенного фактора также проявляется в менее высокой вариации значений NDVI посевов, расположенных на черноземах в сравнении с его значениями на серых лесных почвах, что может быть обусловлено большей однородностью проективного покрытия зеленой фитомассы на черноземных почвах. Влияние фактора экспозиции, согласно полученным результатам, также проявляется в более высоких значениях NDVI посевов, расположенных на южных склонах, получающих больше тепла в сравнении со склонами северных экспозиций.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках Государственного задания №FZWG-2023-0011

### Список литературы

1. Wall L., Larocque D., Leger P.M. The early explanatory power of NDVI in crop yield modeling // *International Journal of Remote Sensing*. – 2008. – 29. – P. 2211-2225.
2. He M., Kimball S.J., Maneta P.M., Maxwell D.B., Moreno A., Beguería S., Wu X. Regional Crop Gross Primary Productivity and Yield Estimation Using Fused Landsat-MODIS Data // *Remote Sensing*. – 2018. – Vol. 10. – DOI:10.3390/rs10030372
3. Tenreiro T.R., García-Vila M., Gómez J.A., Jiménez-Berni J.A., Fereres E.. Using NDVI for the assessment of canopy cover in agricultural crops within modelling research // *Computers and Electronics in Agriculture*. – 2021. – Vol. 182, – Art. No. 106038. – <https://doi.org/10.1016/j.compag.2021.106038>