



УДК 528.88
DOI 10.52575/2712-7443-2023-47-3-417-428

Оценка спектрально-отражательных свойств посевов в различных условиях произрастания

Терехин Э.А.

Федерально-региональный центр аэрокосмического и
наземного мониторинга объектов и природных ресурсов
Белгородский государственный национальный исследовательский университет
Россия, 308015, Белгород, ул. Победы, 85
E-mail: terekhin@bsu.edu.ru

Аннотация. Оценка влияния условий произрастания на спектрально-отражательные характеристики посевов необходима для развития подходов к их мониторингу. В статье изложены результаты оценки спектрального индекса *NDVI* для посевов озимой пшеницы, расположенных на различных типах и подтипах почв и на склонах разных экспозиций в условиях юга Среднерусской возвышенности. Установлено, что тип почв оказывает статистически значимое влияние на значения вегетационного индекса озимых. Посевы, расположенные на черноземах, во все сроки периода активной вегетации, с середины апреля по конец июня, характеризуются более высокими значениями *NDVI*, чем посевы на серых лесных почвах. Соответствующая особенность выявлена для озимых, расположенных на склонах как северной, так и южной экспозиции. В среднем за период активной вегетации, с апреля по июнь, значения индекса посевов, расположенных на черноземах, на 3–4 % выше, чем посевов на серых лесных почвах. Величина спектрального индекса, усредненная за период активной вегетации, для озимых на склонах южных экспозиций выше на 2–3 %, чем для посевов на склонах северных экспозиций. Для пшеницы озимой в период максимальных значений вегетационного индекса и некоторые другие сроки периода активной вегетации характерна тенденция увеличения значений *NDVI* в ряду подтипов почв «серые лесные – темно-серые лесные – черноземы выщелоченные – черноземы оподзоленные – черноземы типичные».

Ключевые слова: пшеница озимая, почвенный покров, экспозиция склонов, *NDVI*, Среднерусская возвышенность

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

Для цитирования: Терехин Э.А. 2023. Оценка спектрально-отражательных свойств посевов в различных условиях произрастания. Региональные геосистемы, 47(3): 417–428. DOI: 10.52575/2712-7443-2023-47-3-417-428

Estimating the Spectral-Reflectance Parameters of Crops Located in Different Growing Conditions

Edgar A. Terekhin

Federal Regional Center for Aerospace and Ground Monitoring of Objects and Natural Resources
Belgorod National Research University,
85 Pobedy St, Belgorod 308015, Russia
E-mail: terekhin@bsu.edu.ru

Abstract. Estimating the influence of growing conditions on crop reflectance parameters is necessary for the development of approaches to the monitoring of arable land. The article presents the results of assessing the



NDVI vegetation index for winter crops located on different types and subtypes of soils and on slopes of different exposures in the south of the Central Russian Upland. Soil type has a statistically significant effect on the winter crop vegetation index values. Crops located on chernozems are characterized by higher *NDVI* values than crops on gray forest soils during full period of active vegetation, from mid-April to the end of June. This feature characterizes crops on the slopes of northern and southern exposures. *NDVI* values of crops averaged over the period of active vegetation (from April to June) on chernozems are 3–4 % higher than on gray forest soils. *NDVI* values, averaged over the active vegetation period are higher of 2–3 % for winter crops on the south-facing slopes than for crops on the north-facing slopes. Winter wheat crops during the maximum vegetation index values are characterized by a decreasing *NDVI* in the series of soil subtypes "gray forest soils – dark gray forest soils – leached chernozems – podzolized chernozems – typical chernozems".

Keywords: winter wheat, soil conditions, slope exposure, *NDVI*, Central Russian Upland

Acknowledgements: This research was funded by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the framework of State Assignment No. FZWG-2023-0011.

For citation: Terekhin E.A. 2023. Estimating the Spectral-Reflectance Parameters of Crops Located in Different Growing Conditions. *Regional Geosystems*, 47(3): 417–428. DOI: 10.52575/2712-7443-2023-47-3-417-428

Введение

Оценка факторов, влияющих на спектральную отражательную способность посевов, выступает одним из ключевых условий развития подходов к дистанционному мониторингу аграрных угодий. Посевы сельскохозяйственных культур характеризуются достаточно интенсивной сменой фаз развития, что обуславливает применение сезонных рядов наблюдений для анализа их состояния [Wardlow, Egbert, 2010; Спивак и др., 2015; Chen et al., 2018].

К настоящему времени установлено, что непосредственные характеристики сельскохозяйственных культур, такие как объем надземной фитомассы, ее проективное покрытие, стадия созревания оказывают влияние на их спектрально-отражательные свойства [Gao et al., 2020; Tenreiro et al., 2021]. Кроме них на состояние посевов, а, соответственно, и их спектрально-отражательные характеристики могут оказывать влияния факторы, обуславливающие условия произрастания, например, экспозиция склонов [Шинкаренко и др., 2019]. На значения отражательных характеристик посевов могут также оказывать влияние почвенные условия. Учитывая существенные географические различия в особенностях почвенного покрова, многие вопросы, связанные с влиянием этого фактора на отражательные свойства культур, остаются открытыми. Основная сложность в решении подобных задач состоит в интеграции информации, характеризующей одновременно спектрально-отражательные свойства посевов в разные временные сроки и набор параметров, описывающих условия их произрастания.

Территория юга Среднерусской лесостепи играет существенную роль в аграрном производстве страны, в первую очередь, в производстве зерновых, среди которых существенную долю занимают озимые культуры [Косолапов и др., 2015]. В Белгородской области среди них, в свою очередь, подавляющую часть занимает озимая пшеница. Регион характеризуется умеренно-континентальным климатом и доминированием черноземных почв со значительной долей серых лесных. Другая особенность юга Среднерусской возвышенности – высокое распространение овражно-балочного рельефа [Нечетова, Нарожняя, 2010], следствием которого является наличие склонов контрастных экспозиций. Условия региона способствуют возделыванию различных видов сельскохозяйственных культур, к которым относятся зерновые, технические культуры,

многолетние травы. Наибольшее распространение получили зерновые, среди которых очень высока доля озимых.

Цель исследования – оценка влияния почвенных условий и экспозиции склонов на спектрально-отражательные характеристики посевов на примере озимой пшеницы для территории юга Среднерусской лесостепи.

Достижение цели предполагало решение следующих основных задач:

1) сравнение спектрально-отражательных характеристик посевов на примере вегетационного индекса *NDVI*, расположенных на разных типах почв – черноземах и серых лесных;

2) сравнение спектрально-отражательных характеристик посевов, расположенных на разных подтипах почв: серых лесных, темно-серых лесных, черноземах выщелоченных, оподзоленных, типичных;

3) оценка влияния фактора экспозиции склонов (северная или южная) на спектрально-отражательные характеристики посевов, типичных для региона, с учетом фактора почвенных условий.

Объекты и методы исследования

Исследование проведено на территории Белгородской области в почвенно-климатических условиях юга Среднерусской возвышенности. Оценка влияния различий в почвенных условиях и условиях освещенности и теплообеспеченности на значения вегетационного индекса проведена на примере посевов озимой пшеницы. Обусловлено это рядом факторов. Озимые зерновые достаточно широко представлены на территории региона, что позволяет сформировать репрезентативную выборку, позволяющую подобрать достаточное число участков, расположенных на разных типах или подтипах почв. Вместе с этим предоставляется возможность подборки пахотных угодий, расположенных на склонах как северной, так и южной экспозиции.

Формирование аналитической выборки осуществлено методом дешифрирования посевов озимой пшеницы с использованием различных типов спутниковых данных. Пшеница озимая характеризуется рядом особенностей, позволяющих достаточно достоверно выделять ее в регионе на основе серий разновременных снимков. Участки пашни, на которых произрастает озимая пшеница, характеризуются более высокими значениями вегетационного индекса *NDVI* в сравнении с большинством остальных угодий за исключением многолетних трав в период середины марта – начала апреля. Вместе с этим уборка урожая на них, с последующей культивацией или распашкой происходит достаточно рано (в середине – второй половине июля), что обуславливает очень низкие значения вегетационного индекса в эти сроки. Кроме того, убранные или распаханые участки пашни уверенно дешифрируются на снимках среднего и высокого пространственного разрешения, например, *Landsat-8 OLI* или *Sentinel-2*. Вместе с этим озимые зерновые характеризуются своими особенностями сезонной динамики вегетационного индекса [Денисов и др., 2021], которые позволяют использовать их также для выявления посевов.

Исходя из особенностей озимой пшеницы, дешифрирование ее посевов осуществлено методом совместного анализа информационных продуктов *MOD13Q1*, содержащих 16-дневные композитные значения индекса *NDVI* и полностью охватывающих период активной вегетации с начала марта по конец июля, и снимков *Landsat-8 OLI* и *Sentinel-2* июня и июля. Для анализа был выбран 2020 год, на который удалось подобрать безоблачные снимки одновременно со всех сенсоров на значительную территорию региона.

Аналитическая выборка угодий сформирована, таким образом, чтобы обеспечить возможность объективного сравнения спектрально-отражательных свойств посевов,



отличающихся типом или подтипом почв, или особенностями экспозиции склонов, влияющих на теплообеспеченность. Выборка формировалась, исходя из ряда сформулированных критериев:

- анализируемые участки пашни с посевами озимой пшеницы должны располагаться в аналогичных агроклиматических условиях – в пределах одного агроклиматического района;
- участки пашни должны располагаться на склонах с уклонами не более 5°;
- участки пашни должны быть репрезентативно представлены на различных типах и подтипах почв, распространенных в регионе;
- участки пашни должны быть репрезентативно представлены на склонах северной и южной экспозиций;
- подбор пахотных угодий должен осуществляться с учетом ограничений пространственного разрешения спутниковых данных, на основе которых рассчитывали спектрально-отражательные характеристики.

Учет идентичности агроклиматических условий осуществлен, исходя из результатов современного агроклиматического районирования Белгородской области, учитывающего тенденции в изменениях сумм активных температур и гидротермического коэффициента. Анализируемые посевы находились в одном районе (северный агроклиматический район Белгородской области), для которого характерна сумма активных температур 2600–2800 °С и значения гидротермического коэффициента от 1 до 1,2 [Лебедева и др., 2015]. Определение уклона склонов, на которых располагались участки пашни с посевами озимой пшеницы, осуществлено с использованием цифровой модели местности открытого доступа *SRTM (SRTM 1 Arc-Second Global)*. Оценка типов и подтипов почв для конкретных пахотных угодий осуществлена с использованием Почвенной карты РСФСР масштаба 1:2500000¹. В общей сложности аналитическая выборка включала 354 участка пашни с посевами пшеницы озимой, расположенных на различных типах и подтипах почв, представленных в регионе (табл. 1), и склонах разных экспозиций.

Таблица 1
 Table 1

Характеристики изученных пахотных угодий с посевами пшеницы озимой
 Parameters of studied winter wheat crops

Подтип почв	Площадь средняя, га	Число угодий	Площадь суммарная, га
Темно-серые лесные	74,4	25	1860,6
Серые лесные	70,4	49	3448,3
Черноземы выщелоченные	83,7	36	3012,1
Черноземы оподзоленные	79,7	51	4067,1
Черноземы типичные	96,8	193	18678,3
Всего	87,8	354	31066,5

В качестве анализируемой спектрально-отражательной характеристики выбран вегетационный индекс *NDVI*, основанный на коэффициентах спектральной яркости в красной и ближней инфракрасной спектральной области [Huete et al., 2002; Jiang et al., 2021]. Его значения были получены из данных *MOD13Q1* версии 6², создаваемых на основе ежедневно получаемых снимков *MODIS*, прошедших этап атмосферной и радиометрической коррекции.

¹ Почвенная карта РСФСР. Масштаб 1:2500000. 1988. Под ред. В.М. Фридланда. М., ГУГК.

² Didan K. 2015. MOD13Q1 MODIS/Terra Vegetation Indices 16-Day L3 Global 250m SIN Grid V006 (College Park, MD, USA: NASA EOSDIS Land Processes DAAC).

Вегетационный индекс находится в зависимости от объема надземной зеленой фитомассы и ее проективного покрытия [Imukova et al., 2015; Терехин, 2019]. Ключевое преимущество *NDVI*, вычисляемого по данным *MODISQ1*, в сравнении со многими другими спектральными показателями, заключается в возможности построения на его основе непрерывных рядов значений за период вегетации [Zhang et al., 2014; Shammi, Meng 2021; Zhao et al., 2023]. Соответствующая особенность выступает одним из необходимых условий объективной оценки состояния посевов. Значения вегетационного индекса для отдельных угодий рассчитаны методом зональной статистики с использованием геоинформационных средств.

На этапе статистической обработки данных с применением дисперсионного анализа осуществлено сравнение параметров вегетационного индекса посевов озимой пшеницы, отличающихся типом/подтипом почв. Учитывая, что фактор экспозиции склонов мог оказывать влияние на особенности развития посевов (южные склоны получают больше тепла), оценка проведена отдельно для посевов, расположенных на склонах северной и южной экспозиции. На следующей стадии осуществлен анализ значений *NDVI* для посевов, расположенных на аналогичных типах почв, но на склонах контрастных экспозиций: северной и южной. Значения вегетационного индекса во всех случаях изучены для различных сроков периода активной вегетации, охватывая период с середины апреля до начала июля с интервалом 16 дней.

Результаты и их обсуждение

Анализ спектрально-отражательных характеристик посевов озимой пшеницы, расположенных на разных типах почв.

Во все ключевые даты периода активной вегетации и в среднем за вегетационный период (22 апреля – 25 июня) посевы, расположенные на черноземах, характеризуются более высокими значениями индекса в сравнении с посевами на серых лесных почвах (табл. 2). Выявленные различия статистически значимы на уровне 0,05 для всех анализируемых сроков, кроме периода 8–23 мая для посевов, расположенных на склонах северной экспозиции. Статистически значимы они и для значений индекса, усредненных в период апреля – июня, то есть средних за сезон.

Таблица 2
Table 2

Параметры вегетационного индекса *NDVI* (среднее и стандартная ошибка среднего) для посевов озимой пшеницы, расположенных на разных типах почв в разные сроки и в среднем за период активной вегетации

Parameters of *NDVI* vegetation index (mean value and standard error) for winter wheat crops located on different soil types in various dates of the growing season

Тип почв	Период				
	22.04–07.05	08.05–23.05	24.05–08.06	09.06–24.06	22.04–25.06
Посевы на склонах северных экспозиций					
Серые лесные	0,65 ± 0,014	0,77 ± 0,021	0,86 ± 0,009	0,84 ± 0,009	0,78 ± 0,011
Черноземы	0,68 ± 0,011	0,79 ± 0,010	0,88 ± 0,003	0,87 ± 0,005	0,81 ± 0,005
Посевы на склонах южных экспозиций					
Серые лесные	0,68 ± 0,011	0,79 ± 0,012	0,87 ± 0,005	0,85 ± 0,007	0,80 ± 0,011
Черноземы	0,72 ± 0,005	0,83 ± 0,004	0,88 ± 0,002	0,87 ± 0,002	0,83 ± 0,004

Выявленные более высокие значения вегетационного индекса для пшеницы озимой, расположенной на черноземах, в сравнении с ее посевами на серых лесных почвах наглядно проявляются при графической интерпретации результатов (рис. 1).

Установленная особенность проявляется и в отдельные сроки периода активной вегетации на склонах как северной, так и южной экспозиции (рис. 2).

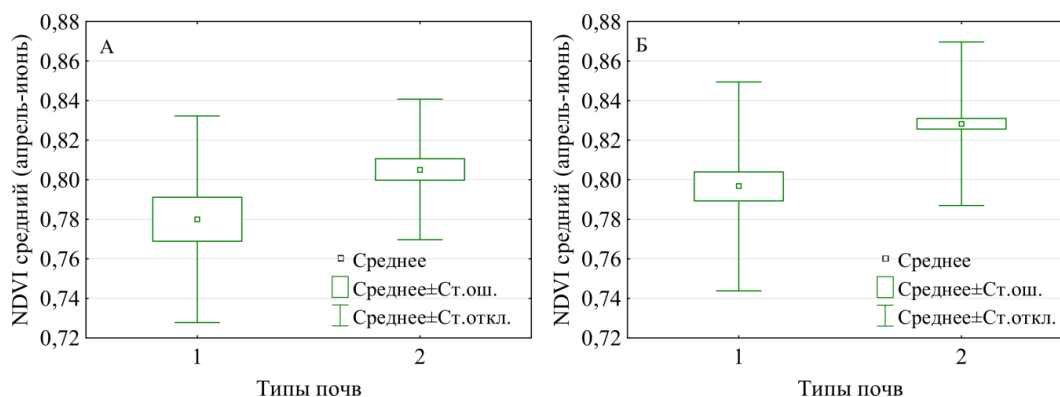


Рис. 1. Значения индекса *NDVI*, усредненные за вегетационный период, для посевов озимой пшеницы на участках пашни с серыми лесными почвами (1) и черноземами (2).

А – склоны северной экспозиции, Б – склоны южной экспозиции

Fig. 1. *NDVI* index values averaged over the growing season for winter wheat crops on lands with gray forest soils (1) and Chernozems (2). A – north-facing slopes, Б – south-facing slopes

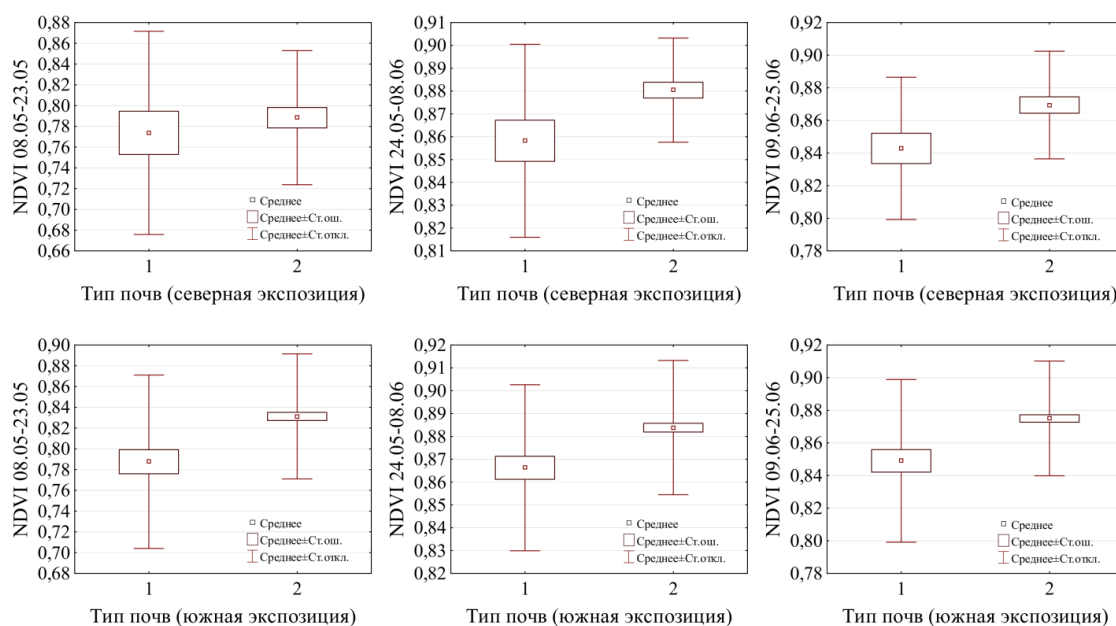


Рис. 2. Значения индекса *NDVI* для озимой пшеницы в разные даты периода активной вегетации на участках пашни с разными типами почв: 1 – Серые лесные, 2 – Черноземы
 Fig. 2. *NDVI* index values of winter wheat crops on different dates of the active vegetation period on arable land with different soil types: 1 – Gray forest soils, 2 – Chernozems

Учитывая, что вегетационный индекс находится в сильной связи с проективным покрытием зеленой фитомассы [Терехин, 2019], статистически значимые, более высокие значения *NDVI* для посевов на черноземах в сравнении с посевами на серых лесных почвах могут быть обусловлены различиями в надземной фитомассе посевов и скорости ее набора. Фактор типа почв (черноземы, серые лесные), таким образом, существенно проявляется на спектрально-отражательных характеристиках озимой пшеницы.

Фактор экспозиции склонов (северная, южная) также оказывает влияние на параметры вегетационного индекса, что следует из сравнения его значений для посевов, расположенных на одних и тех же типах почв (см. табл. 2, рис. 1). Для озимых,

расположенных на склонах с преобладанием южной экспозиции, практически во все сроки периода активной вегетации характерны более высокие значения спектрального индекса в сравнении с посевами на склонах северных экспозиций.

Анализ спектрально-отражательных характеристик посевов озимых, расположенных на разных подтипах почв.

Для посевов озимых в период максимальных значений зеленой фитомассы (вторая половина мая – первая половина июня) выявлена тенденция повышения значений вегетационного индекса в ряду подтипов почв «серые лесные – темно-серые лесные – черноземы выщелоченные – черноземы оподзоленные – черноземы типичные» (рис. 3). Она характерна для озимых, расположенных как на участках с преобладанием северной, так и южной экспозиций. Аналогичная тенденция наблюдается для посевов на склонах южной экспозиции для значений спектрального индекса, усредненных за период активной вегетации, с апреля по июнь. Для посевов, расположенных на склонах северной экспозиции, характерно незначительное отклонение от этой тенденции.

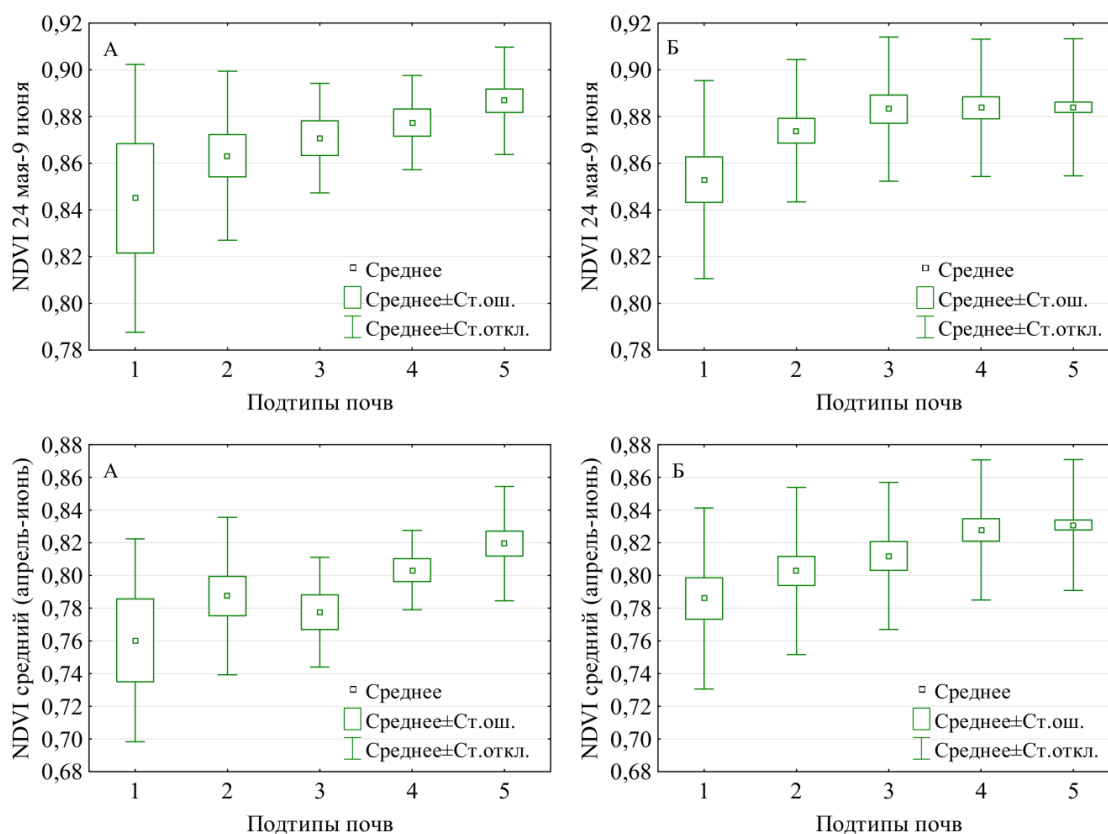


Рис. 3. Значения индекса *NDVI* для посевов озимой пшеницы в период максимальных сезонных величин (24 мая – 9 июня) и средних за вегетационный период на участках пашни с разными подтипами почв: 1 – Серые лесные, 2 – Темно-серые лесные, 3 – Черноземы выщелоченные, 4 – Черноземы оподзоленные, 5 – Черноземы типичные.

А – склоны северной экспозиции, Б – склоны южной экспозиции

Fig. 3. *NDVI* values for winter wheat crops during the period of maximum seasonal (May 24 – June 9) and average values for the growing season on arable lands with different soil subtypes:

1 – Gray forest soils, 2 – Dark gray forest soils, 3 – Leached chernozems, 4 – Podzolized chernozems, 5 – Typical chernozems. A – slopes of northern exposure, Б – slopes of southern exposure

С определенными отличиями эта же тенденция просматривается в некоторые остальные сроки периода активной вегетации. Например, для посевов на склонах северной



экспозиции она наблюдается в период второй половины апреля – начала мая (22.04 – 08.05) и в период середины июня (09.06 – 25.06).

Особенности сезонных изменений значений вегетационного индекса для озимой пшеницы.

Для посевов пшеницы озимой, расположенных на всех изученных подтипах черноземных и серых лесных почв, характерна общая тенденция роста значений *NDVI* в период апреля – мая с достижением максимальных сезонных значений в период 24 мая – 9 июня (табл. 3–4). То есть для них характерна общая особенность сезонной динамики вегетационного индекса и, соответственно, зеленой фитомассы посевов. Вместе с этим следует отметить, что общие особенности сезонных изменений вегетационного индекса *NDVI* (период роста, время достижения максимальных значений, период снижения) аналогичны для посевов озимой пшеницы, расположенной на склонах обеих экспозиций. Отличия между ними проявляются в абсолютных значениях – на склонах, обращенных к югу, значения вегетационного индекса выше, чем на склонах, обращенных к северу. Общие особенности сезонной динамики *NDVI* озимой пшеницы, при различиях в его абсолютных значениях, могут быть обусловлены тем, что все анализируемые угодья расположены в пределах одного агроклиматического района.

Таблица 3
Table 3

Параметры *NDVI* озимых (среднее и стандартная ошибка), расположенных на разных подтипах почв в различные сроки периода активной вегетации. Склоны северной экспозиции
Parameters of *NDVI* vegetation index for winter crops (mean value and standard error) located on different soil subtypes in various dates of the growing season (north-facing slopes)

Подтип почв	Период				
	22.04–07.05	08.05–23.05	24.05–08.06	09.06–24.06	25.06–10.07
Серые лесные	0,61 ± 0,025	0,75 ± 0,032	0,85 ± 0,023	0,84 ± 0,030	0,75 ± 0,031
Темно-серые лесные	0,66 ± 0,016	0,78 ± 0,026	0,86 ± 0,009	0,84 ± 0,007	0,75 ± 0,017
Черноземы выщелоченные	0,64 ± 0,022	0,75 ± 0,021	0,87 ± 0,007	0,85 ± 0,011	0,79 ± 0,024
Черноземы оподзоленные	0,66 ± 0,018	0,80 ± 0,011	0,88 ± 0,006	0,88 ± 0,007	0,82 ± 0,012
Черноземы типичные	0,71 ± 0,014	0,80 ± 0,015	0,89 ± 0,005	0,88 ± 0,007	0,78 ± 0,013
Среднее	0,67 ± 0,009	0,78 ± 0,010	0,87 ± 0,004	0,86 ± 0,005	0,78 ± 0,008

Таблица 4
Table 4

Параметры *NDVI* озимых (среднее и стандартная ошибка), расположенных на разных подтипах почв в различные сроки периода активной вегетации. Склоны южной экспозиции
Parameters of *NDVI* vegetation index for winter crops (mean value and standard error) located on different soil subtypes in various dates of the growing season (south-facing slopes)

Подтип почв	Период				
	22.04–07.05	08.05–23.05	24.05–08.06	09.06–24.06	25.06–10.07
Серые лесные	0,66 ± 0,019	0,79 ± 0,012	0,85 ± 0,010	0,84 ± 0,014	0,74 ± 0,020
Темно-серые лесные	0,70 ± 0,014	0,79 ± 0,017	0,87 ± 0,005	0,85 ± 0,007	0,76 ± 0,012
Черноземы выщелоченные	0,69 ± 0,015	0,81 ± 0,014	0,88 ± 0,006	0,87 ± 0,007	0,80 ± 0,013
Черноземы оподзоленные	0,71 ± 0,012	0,83 ± 0,009	0,88 ± 0,005	0,88 ± 0,006	0,85 ± 0,006
Черноземы типичные	0,73 ± 0,005	0,83 ± 0,004	0,88 ± 0,002	0,87 ± 0,003	0,80 ± 0,005
Среднее	0,72 ± 0,004	0,82 ± 0,004	0,88 ± 0,002	0,87 ± 0,002	0,80 ± 0,004

Общие закономерности сезонной динамики вегетационного индекса для пшеницы озимой наглядно проявляются при сравнении средних сезонных значений *NDVI*, измеренных для разных подтипов почв (см. табл. 3–4).

Вместе с этим различия на уровне подтипов почв, например, в пределах типа черноземов, менее значимо проявляются на спектрально-отражательных свойствах посевов, чем различия на уровне типов (серые лесные, черноземные). Обусловлено это может быть тем, что на более высоком иерархическом уровне таксономических единиц почвенного покрова проявляются и более существенные различия во влиянии на объем зеленой фитомассы посевов.

Анализ значений вегетационного индекса посевов на склонах контрастных экспозиций.

Для посевов озимой пшеницы, расположенных на серых лесных почвах, во все сроки периода активной вегетации, со второй половины апреля по конец июня (22.04–25.06), значения *NDVI* на склонах южных экспозиций выше, чем на склонах северных экспозиций. Более высокие значения индекса на склонах южной экспозиции выявлены и для его значений, усредненных за вегетационный период: 0,797 для склонов южной экспозиции и 0,780 для склонов северной экспозиции, соответственно. Вместе с этим выявленные различия статистически значимы не во все сроки периода активной вегетации.

Для посевов озимой пшеницы, расположенных на черноземах, во все сроки периода активной вегетации значения *NDVI* на склонах южных экспозиций также превышали аналогичные значения на склонах северной экспозиции. При этом в среднем за вегетационный период (22.04–25.06) между ними установлены статистически значимые различия на уровне значимости 0,05. Для посевов, расположенных на черноземах, среднее за вегетационный сезон значения *NDVI* на южных склонах составило 0,828, на северных склонах – 0,805. Таким образом, для фактора экспозиции склонов, так же как и для фактора типа почв, установлено влияние на спектрально-отражательные характеристики посевов на примере значений индекса *NDVI*. Влияние типов почв на значения вегетационного индекса (связанного с фитомассой и ее проективным покрытием) может быть обусловлено различной продуктивностью черноземов и серых лесных почв. Влияние фактора экспозиции может обуславливаться тем, что южные склоны получают больше тепла, что способствует более высокой интенсивности набора зеленой фитомассы посевами.

Заключение

На основе анализа данных с 354 участков пашни с посевами озимой пшеницы, расположенных на территории юга Среднерусской возвышенности, изучено влияние почвенных условий и экспозиции склонов на значения вегетационного индекса *NDVI*. В различные сроки периода активной вегетации, со второй половины апреля по конец июня, и в среднем за вегетационный период посевы, расположенные на черноземах, характеризуются более высокими значениями *NDVI*, чем посевы на серых лесных почвах. В период максимальных сезонных значений зеленой фитомассы посевов (конца мая – начала июня) значения вегетационного индекса посевов растут в ряду подтипов почв «серые лесные – темно-серые лесные – черноземы выщелоченные – черноземы оподзоленные – черноземы типичные». Аналогичная закономерность наблюдается для усредненных за вегетационный период значений индекса, измеренных для посевов на склонах южных экспозиций, и с небольшими отличиями она наблюдается для усредненных значений индекса посевов на склонах северных экспозиций. Влияние фактора экспозиции на значения вегетационного индекса проявляется в его более высоких значениях для посевов, расположенных на склонах южных экспозиций, чем на склонах северных экспозиций.



Список литературы

- Денисов П.В., Середа И.И., Трошко К.А., Лупян Е.А., Плотников Д.Е., Толпин В.А. 2021. Возможности и опыт оперативного дистанционного мониторинга состояния озимых культур на территории России. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 18(2): 171–185. DOI: 10.21046/2070-7401-2021-18-2-171-185
- Косолапов В.М., Трофимов И.А., Трофимова Л.С., Яковлева Е.П. 2015. Агрорландшафты Центрального Черноземья. Районирование и управление. Москва, Издательский дом «Наука», 198 с.
- Лебедева М.Г., Соловьев А.Б., Толстопятова О.С. 2015. Агроклиматическое районирование Белгородской области в условиях меняющегося климата. Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Естественные Науки, 9(206): 160–167.
- Нечетова Ю.В., Нарожняя А.Г. 2010. Изучение овражно-балочной сети Белгородской области с применением ГИС-технологий. Землеустройство, кадастр и мониторинг земель, 11(71): 96–100.
- Спивак Л.Ф., Витковская И.С., Батырбаева М.Ж., Кауазов А.М. 2015. Анализ результатов прогнозирования урожайности яровой пшеницы на основе временных рядов статистических данных и интегральных индексов вегетации. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 12(2): 173–182.
- Терехин Э.А. 2019. Сезонная динамика проективного покрытия растительности агроэкосистем на основе спектральной спутниковой информации. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 16(4): 111–123. DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-4-111-123
- Шинкаренко С.С., Бодрова, В.Н., Сидорова Н.В. 2019. Влияние экспозиции склонов на сезонную динамику вегетационного индекса NDVI посевных площадей. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование, 1(53): 96–105. DOI: 10.32786/2071-9485-2019-01-12
- Chen Y., Lu D., Moran E., Batistella M., Dutra L.V., Sanches I.D., da Silva R.F.B., Huang J., Luiz A.J.B., de Oliveira M.A.F. 2018. Mapping Croplands, Cropping Patterns, and Crop Types Using MODIS Time-Series Data. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 69: 133–147. DOI: 10.1016/j.jag.2018.03.005
- Gao L., Wang X., Johnson B.A., Tian Q., Wang Y., Verrelst J., Mu X., Gu X. 2020. Remote Sensing Algorithms for Estimation of Fractional Vegetation Cover Using Pure Vegetation Index Values: A Review. ISPRS Journal of photogrammetry and remote sensing, 159: 364–377. DOI: 10.1016/j.isprsjprs.2019.11.018
- Huete A., Didan K., Miura T., Rodriguez E.P., Gao X., Ferreira L.G. 2002. Overview of the Radiometric and Biophysical Performance of the MODIS Vegetation Indices. Remote sensing of environment, 83(1–2):195–213. DOI: 10.1016/S0034-4257(02)00096-2
- Imukova K., Ingwersen J., Streck T. 2015. Determining the Spatial and Temporal Dynamics of the Green Vegetation Fraction of Croplands Using High-Resolution RapidEye Satellite Images. Agricultural and Forest Meteorology, 206: 113–123. DOI: 10.1016/j.agrformet.2015.03.003
- Jiang L., Liu Y., Wu S., Yang C. 2021. Analyzing Ecological Environment Change and Associated Driving Factors in China Based on NDVI Time Series Data. Ecological Indicators, 129: 107933. DOI: 10.1016/j.ecolind.2021.107933
- Shammi S.A., Meng Q. 2021. Use Time Series NDVI and EVI to Develop Dynamic Crop Growth Metrics for Yield Modeling. Ecological Indicators, 121: 107124. DOI: 10.1016/j.ecolind.2020.107124
- Tenreiro T.R., García-Vila M., Gómez J.A., Jiménez-Berni J.A., Fereres E. 2021. Using NDVI for the Assessment of Canopy Cover in Agricultural Crops within Modelling Research. Computers and Electronics in Agriculture, 182: 106038. DOI: 10.1016/j.compag.2021.106038
- Wardlow B.D., Egbert S.L. 2010. A Comparison of MODIS 250-m EVI and NDVI Data for Crop Mapping: a Case Study for Southwest Kansas. International journal of remote sensing, 31: 805–830. DOI: 10.1080/01431160902897858
- Zhang J., Zhang L., Xu C., Liu W., Qi Y., Wo X. 2014. Vegetation Variation of Mid-Subtropical Forest Based on MODIS NDVI Data – A Case Study of Jinggangshan City, Jiangxi Province. Acta ecologica sinica, 34(1): 7–12. DOI: 10.1016/j.chnaes.2013.09.005
- Zhao X., Wu T., Wang S., Liu K., Yang J. 2023. Cropland Abandonment Mapping at Sub-Pixel Scales Using Crop Phenological Information and MODIS Time-Series Images. Computers and Electronics in Agriculture, 208: 107763. DOI: 10.1016/j.compag.2023.107763

References

- Denisov P.V., Sereda I.I., Troshko K.A., Lupyan E.A., Plotnikov D.E., Tolpin V.A. 2021. Opportunities and Experience of Operational Remote Monitoring of Winter Crops Condition in Russia. *Current Problems in Remote Sensing of the Earth From Space*, 18(2): 171–185 (in Russian). DOI: 10.21046/2070-7401-2021-18-2-171-185
- Kosolapov V.M., Trofimov I.A., Trofimova L.S., Yakovleva E.P. 2015. *Agrolandshafty Tsentralnogo Chernozemia. Rayonirovaniye i upravleniye [Agrolandscapes of Central Chernozem Region. Zoning and Management]*. Moscow, Publ. Nauka, 198 p.
- Lebedeva M.G., Solovyov A.B., Tolstopyatova O.S. 2015. Agroclimatic Zoning of the Belgorod Region in a Changing Climate. *Belgorod State University Scientific Bulletin. Natural sciences series*, 9(206): 60–167 (in Russian).
- Nechetova Yu.V., Narozhnyaya A.G. 2010. Study of Gullies and Ravines Network within Belgorod Region Using GIS Technology. *Land Management, Monitoring and Cadastre*, 11(71): 96–100 (in Russian).
- Spivak L.F., Vitkovskaya I.S., Batyrbaeva M.Zh., Kauazov A.M. 2015. Analysis of Spring Wheat Yield Forecasts Based on Time Series of Statistical Data and Integrated Vegetation Indices. *Current Problems in Remote Sensing of the Earth From Space*, 12(2): 173–182 (in Russian).
- Terekhin E.A. 2019. Seasonal Dynamics of the Agroecosystems Green Vegetation Fraction Derived from Satellite Data. *Current Problems in Remote Sensing of the Earth From Space*, 16(4): 111–123 (in Russian). DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-4-111-123
- Shinkarenko S.S., Bodrova, V.N., Sidorova N.V. 2019. Influence of the Exhibition of the Slopes on the Seasonal Dynamics of the Vegetation Industry NDVI Index of Area Planted. *Proceedings of Nizhnevolskiy agrouniversity complex: science and higher vocational education*, 1(53): 96–105 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2019-01-12
- Chen Y., Lu D., Moran E., Batistella M., Dutra L.V., Sanches I.D., da Silva R.F.B., Huang J., Luiz A.J.B., de Oliveira M.A.F. 2018. Mapping Croplands, Cropping Patterns, and Crop Types Using MODIS Time-Series Data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 69: 133–147. DOI: 10.1016/j.jag.2018.03.005
- Gao L., Wang X., Johnson B.A., Tian Q., Wang Y., Verrelst J., Mu X., Gu X. 2020. Remote Sensing Algorithms for Estimation of Fractional Vegetation Cover Using Pure Vegetation Index Values: A Review. *ISPRS Journal of photogrammetry and remote sensing*, 159: 364–377. DOI: 10.1016/j.isprsjprs.2019.11.018
- Huete A., Didan K., Miura T., Rodriguez E.P., Gao X., Ferreira L.G. 2002. Overview of the Radiometric and Biophysical Performance of the MODIS Vegetation Indices. *Remote sensing of environment*, 83(1–2):195–213. DOI: 10.1016/S0034-4257(02)00096-2
- Imukova K., Ingwersen J., Streck T. 2015. Determining the Spatial and Temporal Dynamics of the Green Vegetation Fraction of Croplands Using High-Resolution RapidEye Satellite Images. *Agricultural and Forest Meteorology*, 206: 113–123. DOI: 10.1016/j.agrformet.2015.03.003
- Jiang L., Liu Y., Wu S., Yang C. 2021. Analyzing Ecological Environment Change and Associated Driving Factors in China Based on NDVI Time Series Data. *Ecological Indicators*, 129: 107933. DOI: 10.1016/j.ecolind.2021.107933
- Shammi S.A., Meng Q. 2021. Use Time Series NDVI and EVI to Develop Dynamic Crop Growth Metrics for Yield Modeling. *Ecological Indicators*, 121: 107124. DOI: 10.1016/j.ecolind.2020.107124
- Tenreiro T.R., García-Vila M., Gómez J.A., Jiménez-Berni J.A., Fereres E. 2021. Using NDVI for the Assessment of Canopy Cover in Agricultural Crops within Modelling Research. *Computers and Electronics in Agriculture*, 182: 106038. DOI: 10.1016/j.compag.2021.106038
- Wardlow B.D., Egbert S.L. 2010. A Comparison of MODIS 250-m EVI and NDVI Data for Crop Mapping: a Case Study for Southwest Kansas. *International journal of remote sensing*, 31: 805–830. DOI: 10.1080/01431160902897858
- Zhang J., Zhang L., Xu C., Liu W., Qi Y., Wo X. 2014. Vegetation Variation of Mid-Subtropical Forest Based on MODIS NDVI Data – A Case Study of Jinggangshan City, Jiangxi Province. *Acta ecologica sinica*, 34(1): 7–12. DOI: 10.1016/j.chnaes.2013.09.005
- Zhao X., Wu T., Wang S., Liu K., Yang J. 2023. Cropland Abandonment Mapping at Sub-Pixel Scales Using Crop Phenological Information and MODIS Time-Series Images. *Computers and Electronics in Agriculture*, 208: 107763. DOI: 10.1016/j.compag.2023.107763



*Поступила в редакцию 02.08.2023;
поступила после рецензирования 29.08.2023;
принята к публикации 06.09.2023*

*Received August 02, 2023;
Revised August 29, 2023;
Accepted September 06, 2023*

Конфликт интересов: о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.
Conflict of interest: no potential conflict of interest related to this article was reported.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Терехин Эдгар Аркадьевич, кандидат географических наук, старший научный сотрудник отдела геоинформатики Федерально-регионального центра аэрокосмического и наземного мониторинга объектов и природных ресурсов, доцент кафедры природопользования и земельного кадастра Института наук о Земле, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Edgar A. Terekhin, PhD in Geography, Senior Researcher, Department of Geoinformatics, Federal Regional Center for Aerospace and Ground Monitoring of Objects and Natural Resources, Associate Professor, Department of Natural Resources and Land Cadastre, Institute of Earth Sciences, Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia