

ПРОСТРАНСТВЕННАЯ ДЕТАЛИЗАЦИЯ ДИНАМИКИ РОСТА И РАЗВИТИЯ ПШЕНИЦЫ В СТЕПНЫХ УСЛОВИЯХ АКМОЛИНСКОЙ ОБЛАСТИ НА ОСНОВЕ ВЕГЕТАЦИОННЫХ ИНДЕКСОВ

Шупанова И.В.*, научный сотрудник
ira_irinka_irishka@bk.ru, <https://orcid.org/0009-0009-2252-0254>
Курбанбаев А.И. PhD, заведующий лабораторией
almaskurbanbaev@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3976-6970>
Жанзаков Б.Ж. PhD, заведующий лабораторией
baha_zhan93@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5645-1463>
Лисенович А.И. научный сотрудник
alllehandro@list.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6433-5008>

*ТОО «Научно-производственный центр зернового хозяйства им. А.И. Бараева», п. Шортанды,
Казахстан*

Аннотация. Развитие дистанционного зондирования Земли в сельскохозяйственном производстве формируется на спектрально-информационных аспектах позволяющих объективно и независимо оценивать состояния и динамику культур в агроценозе. Состояние роста и развития растений, оценивают расчетом индексов вегетации, отображающих количественный показатель фотосинтетической активности зеленых растений, который меняется в зависимости от плотности типа растений и насыщенности растений хлорофиллом. Чувствительность вегетационного индекса в каждой конкретной ситуации связана с устойчивой стабильностью фотосинтетической активности растений, которые изменяют химические, биометрические и морфологические показатели на протяжении всего вегетационного периода. Цель данной работы, изучить влияние различных сроков посева на особенности роста и развития мягкой пшеницы в условиях степной зоны Акмолинской области на основе вегетационного индекса NDVI. Показатели индекса NDVI на протяжении всего периода вегетации мягкой пшеницы по изучаемым срокам посева – 5 мая, 10 мая, 15 мая, 20 мая, 30 мая, 4 июня, 10 июня, получены летательным аппаратом Phantom 4 Multispectral оснащенного пятиканальной мультиспектральной камерой. Результатом исследований является наличие полиномиальной нелинейной связи между параметрами урожайности пшеницы и вегетационным индексом NDVI, коэффициент корреляции был – 0,8, с коэффициентом детерминации в 73 % случаев. Дистанционные работы с летательным аппаратом на стационарных посевах яровой пшеницы степной зоны Акмолинской области позволили отследить и отобразить фотосинтетическую активность культуры, проследивая периоды быстрого нарастания зеленой массы и плавного усыхания по мере созревания зерна.

Ключевые слова. Дистанционное зондирование, геоинформационные системы, индекс NDVI, мягкая пшеница, урожайность, корреляционные связи.

Введение. Развитие дистанционного зондирования Земли в практике сельскохозяйственного производства позволяет проводить оперативный мониторинг состояния вегетирующих растений, обрабатывать и визуализировать информацию на основе космических и аэроснимков [1]. Оперативность и достоверность получаемой дистанционной информации, ее объективность и независимость в оценке состояния и динамики исследуемых культур в агроценозе, формируется на спектрально-информационных аспектах, зависящих от качественно-количественных показателей земного покрова и их сезонной изменчивости [2].

Дистанционные изображения территорий в натуральной пространственной детализации обеспечивают расчет спектральных показателей в период вегетации, в разные этапы роста сельскохозяйственных культур, которые складываются в постоянно меняющихся условиях выращивания, влияющих друг на друга и на состояние растений. Такое сочетание условий, характеризующих рост и развитие растений, оценивают расчетом индексов вегетации, используемых для мониторинга динамики продуктивности посев [3].

Растительные индексы в определенной мере отображают количественный показатель фотосинтетической активности зеленых растений, который меняется в зависимости от плотности типа растений и насыщенности растений хлорофиллом [4]. Для расчета индексов вегетации используют множество различных формул – известно около 160 вариантов [5], которые рассчитываются на основе автоматизированной обработки значений спектрального отражения растений и почв.

Вегетационные индексы, отличаются по спектральному охвату и способу символического описания, преимущество которых изменяются от чувствительности показателя (атмосферного и почвенного фонов) в каждой конкретной ситуации. Поэтому, при выборе индекса, важно, наличие достаточно устойчивой стабильности в практической проверке его связи с фотосинтетической активностью растений [6, 7]. Такой подход дает полное понимание о процессе динамических изменений в растениях – изменяющихся химические, биометрические и морфологические показатели на протяжении всего вегетационного периода [8]. Цель данной работы, изучить влияние различных сроков посева на особенности роста и развития мягкой пшеницы в условиях степной зоны Акмолинской области на основе вегетационного индекса NDVI.

Метод и материалы. Принципы исследований, решаемые с использованием данных дистанционного зондирования Земли, имеют широкое применение в анализе состояния культур, которое отображает происходящие с ней изменения [9, 10, 11, 12]. Поскольку отражающие спектральные свойства растений, отличаются большими различиями излучений разных длин волн, мы использовали наиболее информативную формулу – широко распространенного показателя NDVI (Normalized Difference Vegetation Index):

$$NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED) [13]$$

нормализованный разностный индекс растительности можно использовать на протяжении всего периода вегетации культур, кроме случаев, когда растительный покров незначителен, и его отражательная способность слишком низкая.

Климатические условия вегетационного периода (апрель-сентябрь) 2024 года отмечены теплой и влажной погодой. Обильные осадки не лимитировали рост и развитие растений мягкой пшеницы, способствуя интенсивному нарастанию зеленой массы. Распределение осадков в течение вегетационного периода было неравномерным, их сумма составила 320,4 мм, что на 128 мм выше среднегодовой нормы, среднесуточная температура была выше многолетних величин на 1,3 °С, рисунок 1.

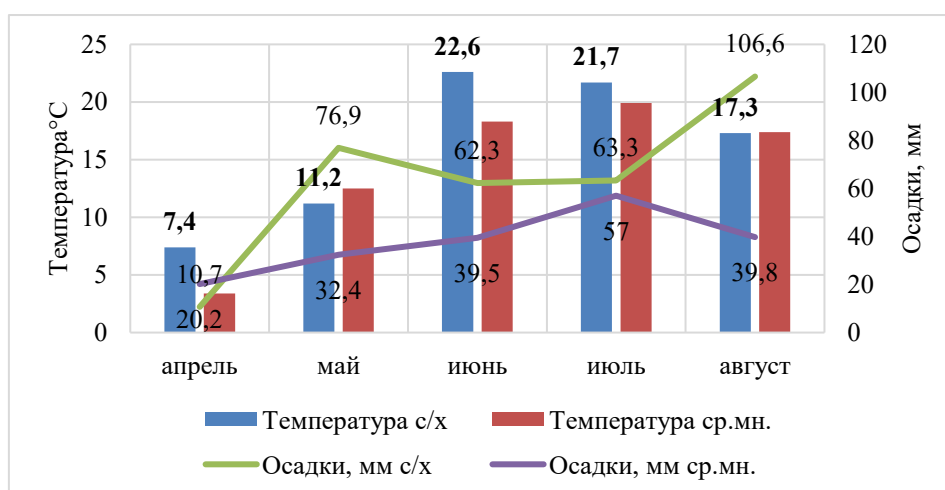


Рисунок 1 – Характеристика метеоусловий вегетационного периода

Опыты проводились в 2024 году. Мониторинг состояния растений мягкой пшеницы проводили в ТОО «НПЦ ЗХ им. А.И. Бараева» Шортандинского района Акмолинской области на стационарных опытах лаборатории агротехники полевых культур и

диверсификации растениеводства. Почвенный покров территории землепользования научно-производственного центра представлен карбонатным, тяжелосуглинистым, маломощным черноземом южным.

Повторность опыта – трехкратная. Площадь деленки 100 м². Постановка опыта проведена в посевах мягкой пшеницы сорта «Акмола 2» после химического пара. Удобрения вносили при посеве в рядки, азот – 20 кг/га д.в. и фосфор 20 кг/га д.в. Посев выполнили сеялкой СКП – 2,1 с нормой высева 3 млн всхожих семян на гектар в изучаемые сроки – 5 мая, 10 мая, 15 мая, 20 мая (контроль), 30 мая, 4 июня, 10 июня. Уборку выполнили селекционным зерноуборочным комбайном по мере созревания мягкой пшеницы.

Сбор данных индекса NDVI проводился в последовательные периоды от начала вегетации до созревая: в период всходов, фазы кущение, фазы выхода в трубку, фазы колошения, фазы цветения, фазы налива зерна пшеницы с помощью летательного аппарата Phantom 4 Multispectral оснащенного пятиканальной мультиспектральной камерой. Аэрофотоснимки обрабатывали в программе DJI Terra. Данные векторизовали в геоинформационной системе Quantum GIS версии 3.30. Средние значения вегетационного индекса NDVI рассчитаны инструментом зональной статистики, в очертании соответствующего контура делянок по каждой дате съемки. Статистический анализ рассчитанных значений проводили в MS Office Excel. Основную статистическую обработку полученных результатов исследования выполняли по методикам Доспехова Б.А. [14].

Результаты. На основании полученных данных при исследовании различных сроков посева, отмечено их заметное влияние на общее состояние мягкой пшеницы и размеры морфологических органов культуры. Не меньшее значение на разные периоды онтогенеза оказали метеорологические условия вегетационного периода, обеспеченность влагой в фазы роста и развития пшеницы, что повлияло на формирование вегетативной массы и урожая. По каждому сроку посева яровой пшеницы на сравнительно небольших конкретных единицах, в качестве которых выступают стационарные делянки, идет постепенное нарастание значений индекса NDVI [15] от фазы всходов - 0,23 к фазе цветения - 0,58, накапливая наибольшие значения в фазе колошения - 0,71. В процессе формирования зерен, до фазы полной спелости – 0,33 наблюдается плавный спад значений индекса. Особенности изменения динамики усредненных значений индекса вегетации NDVI в различные сроки посева показаны на рисунке 2.

В мае обильные осадки – 76,9 мм способствовали равномерному появлению всходов и переходу к следующей фазе. Кривые значений индекса NDVI в начальные периоды активно формирующейся вегетативной массы мягкой пшеницы от фазы всходов до фазы колошения, увеличивались от раннего срока посева к позднему, что обусловлено приростом листовой поверхности, и скоростью ее образования.

Наибольшие значения индекса NDVI пшеницы – 0,75 отмечены по ранним срокам посева 5 мая (рисунок 1а) и 10 мая (рисунок 1б) в фазу колошения, а наименьшие значения индекса NDVI пшеницы в период колошения рассчитаны при посеве 15 мая (рисунок 1в) и при позднем сроке посева 10 июня (рисунок 1ж) – 0,70.

В межфазный период формирования генеративных органов, когда посевы пшеницы с последовательным отличием начинали цвести, в сумме за июль и август выпало 102,8 мм осадков, превышающие среднемноголетние показатели. В таких условиях значения NDVI пшеницы ранних сроков посева менялись постепенно, что связано с интенсивным убыванием фотосинтетической активности, следует отметить, что при посеве 5 и 10 мая, цветение пшеницы происходило в наиболее благоприятных условиях увлажнения обеспечив равномерное созревание культуры.

Самое плавное сезонное снижение фотосинтетической активности значений NDVI показали растения при посеве 20, 30 мая и 4 июня, именно этой особенностью превалировал образованный урожай, так как темпы активного цветения и налива зерен пшеницы проходили в течение умеренного периода атмосферного увлажнения с последующим постепенным интенсивным понижением значений индекса.



а



б



в



г



д



е



ж

Рисунок 2 – Сезонные изменения динамики индекса NDVI мягкой пшеницы в различные сроки посева

Причем наибольший вред посевам 15 мая нанесли избыточные осадки, выпавшие во вторую декаду июля – 22,6 мм, когда происходило цветение растений пшеницы, соответственно при большой влажности воздуха долгая длительность этого периода, оказала отрицательное влияние на опыление цветков и их завязь.

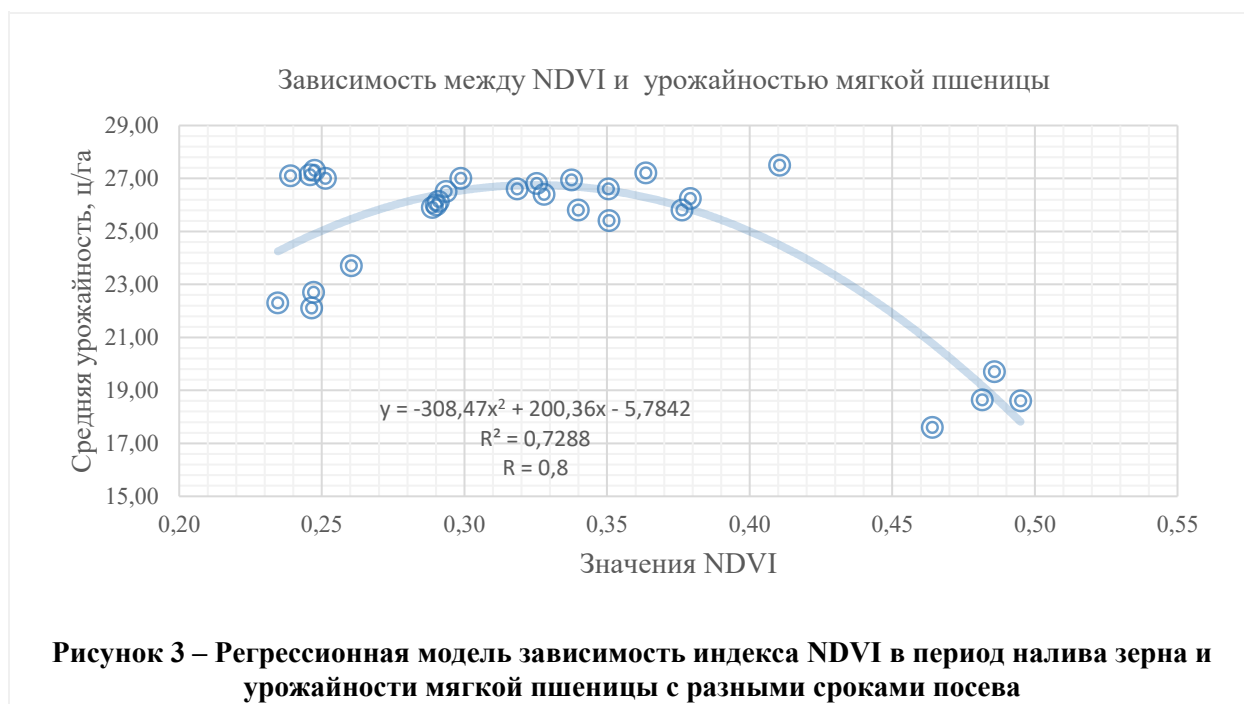
При посеве 10 июня, нарастание значений индекса NDVI листовой поверхности

становилось ниже, в связи с совпадением критических фаз развития пшеницы с избыточным выпадением осадков, по сравнению с остальными посевами, проходящих в это время свои этапы органогенеза. А точнее, в критический период по потреблению влаги, когда пшеница более позднего срока четко отражала прирост зеленой массы и формировала колос – выпало 90,0 мм осадков, – на 54,9 мм больше среднегодовой нормы, тем самым затянув длительность периода созревания растений [16].

Анализ динамических изменений временных периодов спектрально – отражательной чувствительности растений пшеницы, при исследуемых сроках посева позволил, определить начала прохождения фаз развития и их длительность, с некоторыми отличиями в значениях индекса NDVI.

Соответственно, влияние постоянно меняющихся межфазных периодов роста и развития пшеницы, в нестабильных условиях внешней среды, на индекс вегетации NDVI имеет важное значение при мониторинге прироста биомассы культуры. Поскольку одни и те же величины индекса NDVI в начальные периоды роста и развития подобны в поздние периоды, из-за интенсивной концентрации хлорофилла [17].

График установленной зависимости спектральных значений индекса NDVI с неравномерным формированием урожая зерна мягкой пшеницы, посеянной в разные сроки, представлен на рисунке 3.



Выявлено наличие полиномиальной нелинейной связи между указанными параметрами, коэффициент корреляции был – 0,8. Коэффициент детерминации в 73 % случаев свидетельствует о очевидной наибольшей тесноте связи величин индекса вегетации NDVI с неравномерным созреванием пшеницы исходя от сроков посева.

Связь количественных показателей урожая носит характер тесной корреляционной зависимости, такой, что чем больше фотосинтетическая продуктивность культуры, либо количество ее биомассы, тем больше интенсивность усредненных значений индекса NDVI и в этом случае значения урожайности посевов пшеницы в период налива зерна нарастают.

Установленная тесная связь между урожаем пшеницы и значениями мультиспектрального дистанционного обследования, особенно заметна превышением индексов NDVI при посевах 5, 10, 20, 30 мая и 4 июня, так как растения этих сроков не попадали под негативное влияние обильных осадков и обеспечили получение наибольшего урожая.

Динамические изменения интенсивности отражений света в красном и инфракрасном диапазоне растений пшеницы в период вегетации, в течение которого всячески проявляются все жизненные процессы органогенеза, показывают, что величина урожая, полученного в конце вегетации, есть итог воздействия общего состояния формирования органов, составляющих структуру урожая пшеницы и величину последнего. Иными словами, если состояние культурных растений хорошее на протяжении всего периода роста, то вероятность получить высокий урожай увеличивается. В том же случае, если в какой – нибудь промежуток произрастания состояние растений отклонилось в сторону ухудшения, то вероятность получить высокий урожай уменьшается [18].

Обсуждение. Правильным условием повышения оперативности мониторинга состояния и продуктивности посевов – пространственное измерение отражательной способности культуры, достоверные значения нормализованного относительного индекса NDVI указывающие на интенсивность зеленой окраски растения, для моделирования динамики состояние его здоровья и развития.

Индексирование неравномерного роста и развития культур в течение всего периода вегетации – когда наблюдается неоднородность отражающего указанного соотношения коэффициентов поглощения в красной и ближней инфракрасной диапазонов яркости, объясняет влияние совокупных условий выращивания [19]. Исходя из этого, в представленной работе динамика сезонного распределения индекса NDVI яровой мягкой пшеницы показывает измеренные значения индекса NDVI по разным срокам посева, которые отражают влияние разнообразных метеорологических условий территории и развитие фаз культуры.

В целом наши исследования, проведенное в степной зоне Акмолинской области, позволили выявить сильную связь между фактическим урожаем и индексом NDVI в фазе налива зерна. Полученные результаты оперативного и достоверного мониторинга с помощью устройства Phantom 4 Multispectral, позволили дистанционно оценить спектрально-информационное состояние и детализировать динамику мягкой пшеницы по разным срокам посева.

Также, исследованиями установлено, что в сложившихся климатических условиях наибольшая урожайность (около 27 ц/га) формировалась в посевах мягкой пшеницы сорта «Акмола 2», посеянных 10 мая и 4 июня. Однако, столь категоричные результаты являются следствием аномально увлажненного года, которые не отражает истинную многолетнюю динамику. В связи с чем, данные исследования будут продолжаться далее, в разных условиях увлажнения, до установления достоверной динамики роста и развития растений мягкой пшеницы.

Выводы. Изучение динамики индекса NDVI под влиянием сроков посева показало, что большие значения получены в посевах 5, 10, 20, 30 мая и 4 июня, это обусловлено периодом умеренного атмосферного увлажнения. Понижение значений индекса NDVI отмечены при посеве 15 мая, так как избыточные осадки, совпавшие с периодом цветения растений пшеницы, привели к формированию невысокого урожая. А при позднем посеве 10 июня, значения индекса NDVI становились ниже, в отличие от ранних сроков посева, ввиду скалывающихся погодных условий, в большей степени от недостатка тепла, воздействие которого снижало накопление вегетационной массы растений пшеницы формируя низкий урожай.

Установленная полиномиальная нелинейная связь между фактической урожайностью и значениями индекса вегетации NDVI, имеющих неравномерный оптический спектральный охват исходя от сроков посева. А именно, связью $R = 0,8$ исследуемых данных в период окончания фазы образования зерна наблюдаемой в 73 % случаев, когда, снижается интенсивность индекса NDVI, при вызревании пшеницы, приводящая к нарастанию фактического урожая.

Данные результатов мониторинга стационарных посевов яровой пшеницы в степной зоне Акмолинской области позволили отследить и отобразить, кривую динамических

изменений индекса NDVI пшеницы под влиянием постоянно меняющихся условиях, в том числе количества выпавших осадков в период образования генеративных органов. Дистанционные работы с летательным аппаратом Phantom 4 Multispectral как метод получения данных фотосинтетической активности культуры, позволяет проследить периоды быстрого нарастания зеленой массы и плавного усыхания по мере созревания зерна.

Финансирования. Работа выполнена в рамках ПЦФ МСХ РК: BR22885719 «Разработать и внедрить устойчивые системы земледелия для рентабельного производства сельскохозяйственной продукции в условиях изменяющегося климата для различных почвенно-климатических зон Казахстана на 2024-2026 гг.»

Литература:

- [1] **Буховец А.Г.,** Семин Е.А., Костенко Е.И. Яблоневская С.И. Моделирование динамики вегетационного индекса NDVI озимой пшеницы в условиях ЦФО. // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2018. № 2. С. 186-199. <https://doi.org/10.17238/issn2071-2243.2018.2.186>
- [2] **Ничипорович З.А.,** Радевич Е.А. Опыт использования NDVI-индекса для мониторинг сельскохозяйственных земель по данным спектрально-космической съемки IKONOS. // Журнал прикладной спектроскопии. 2012. № 4. С. 681-684.
- [3] **Кадырова Г.Д.,** Лагутина А.И., Пономарев А.С., Решетникова Т.Ю., Якушева В.Н. Разработка стратегии дифференцированного внесения удобрений с использованием данных дистанционного зондирования Земли. // Управление рисками в АПК. 2021. № 39. С. 46-59. <https://doi.org/10.53988/24136573-2021-01-04>
- [4] **Комаров А.А.,** Комаров А.А. Оценка состояния травостоя с помощью вегетационного индекса NDVI. // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. 2018. № 2 (51). С. 124-129.
- [5] **Гопп Н.В.,** Савенко О.А., Смирнов А.В. Цифровое картографирование урожайности яровой пшеницы на основе вегетационных индексов и оценка ее изменений в зависимости от свойств антропогенно-преобразованных почв. // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2019. № 3. С. 125-139. <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2019-16-3-125-139>
- [6] **Тугуз Р.К.,** Панеш А.Х. Оценка урожайности озимой пшеницы с помощью сервисов геоинформационных систем. // Новые методы и результаты исследований ландшафтов в Европе, Центральной Азии и Сибири. 2018. №. С. 448-453. <https://doi.org/10.25680/6129.2018.76.74.088>
- [7] **Серета И.И.,** Тутубалина О.В. Использование вегетационных индексов для оценки состояния посевов кукурузы на основе воздушных гиперспектральных снимков. // Научные исследования молодых ученых-картографов, выполненные под руководством сотрудников кафедры картографии и геоинформатики географического факультета МГУ имени м. В. Ломоносова. Сборник научных работ. 2017. № 2 (9). С. 61-69.
- [8] **Терехин Э.А.** Оценка сезонных значений вегетационного индекса (NDVI) для детектирования и анализа состояния посевов сельскохозяйственных культур. // Исследования земли из космоса. 2015. № 1. С. 23-31. <https://doi.org/10.7868/S0205961415010108>
- [9] **Зубарев Ю.Н.,** Фомин Д.С., Чашин А.Н., Заболотнова М.В. Использование беспилотных летательных аппаратов в сельском хозяйстве. // Вестник ПФИЦ. 2019. № 2. С. 47-51. <https://doi.org/10.7242/2658-705X/2019.2.5>
- [10] **Лисенович А.И.,** Тен Е.А., Жанзаков Б.Ж., Шупанова И.В. Применение дистанционной оценки коллекционных питомников, на примере чечевицы. // Ауыл шаруашылығы ғылымдары Қорқыт ата атындағы Қызылорда университетінің хабаршысы. 2024. № 3(70). С. 19-28. <https://doi.org/10.52081/bkaku.2024.v70.i3.170>
- [11] **Фомин Д.С.,** Чашин А.Н. Вегетационный индекс NDVI в оценке зерновых культур опытных полей Пермского НИИСХ. // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2018. – № 4 (72). С. 39-42.
- [12] **Павловская Н.Е.,** Родимцев С.А., Бородин Д.Б., Вершинин С.В., Гагарин И.Н. Оценка состояния посевов озимой пшеницы и ярового ячменя по среднему значению NDVI, на основе космоснимков // Вестник аграрной науки. 2020. № 6 (87). С. 25-32. <https://doi.org/10.17238/issn2587-666X.2020.6.25>
- [13] Вегетационный индексы для сельского хозяйства [Электронный ресурс] URL:

<https://eos.com/ru/blog/vegetacionnye-indeksy/>. Дата обращения: 13.01.2025.

- [14] **Доспехов Б.А.** Методика полевого опыта. М.: Колос. 1968. С. 336.
- [15] **Евтюшкин А.В.,** Брыксин В.М., Рычкова Н.В. Оценка состояния растительных покровов по данным дистанционного зондирования и подспутниковых экспериментов. // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2010. № 10 (72). С. 50-53.
- [16] **Малов Н.П.** Влияние сорта яровой пшеницы на рост и развитие растений. Вестник Казанского ГАУ. 2018. № 3(50). С. 35-38. https://doi.org/10.12737/article_5bcf5573059500.42622747
- [17] **Гулянов Ю.А.** Мониторинг фитометрических параметров с использованием инновационных методов сканирования посевов. // Таврический вестник аграрной науки. 2019. № 3(19). С. 64-76. <https://doi.org/10.33952/2542-0720-2019-3-19-64-76>
- [18] **Бондур В.Г.,** Гороховский К.Ю., Игнатъев В.Ю., Мурынин А.Б., Гапонова Е.В. Метод прогнозирования урожайности по космическим наблюдениям за динамикой развития вегетации. // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. 2013. № 6. С. 61-68.
- [19] **Сторчак И.Г.,** Шестакова Е.О., Ерошенко Ф.В. Связь урожайности посевов озимой пшеницы и NDVI для отдельных полей. // Аграрный вестник Урала. 2018. № 4 (173). С. 64-68.

References:

- [1] **Buhovec A.G.,** Semin E.A., Kostenko E.I., Jablonovskaja S.I. Modelirovanie dinamiki vegetacionnogo indeksa NDVI ozimoy pshenicy v usloviyah CFO. // Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2018. № 2. S. 186-199. <https://doi.org/10.17238/issn2071-2243.2018.2.186>
- [2] **Nichiporovich Z.A.,** Radevich E.A. Opyt ispol'zovaniya NDVI-indeksa dlja monitoring sel'skhozjajstvennyh zemel' poles'ja po dannym spektrozonal'noj kosmos#emki IKONOS. // Zhurnal prikladnoj spektroskopii. 2012. № 4. S. 681-684.
- [3] **Kadyrova G.D.,** Lagutina A.I., Ponomarev A.S., Reshetnikova T.Ju., Jakusheva V.N. Razrabotka strategii differencirovannogo vnesenija udobrenij s ispol'zovaniem dannyh distancionnogo zondirovaniya Zemli. // Upravlenie riskami v APK. 2021. № 39. S. 46-59. <https://doi.org/10.53988/24136573-2021-01-04>
- [4] **Komarov A.A.,** Komarov A.A. Ocenka sostojanija travostoja s pomoshh'ju vegetacionnogo indeksa NDVI. // Izvestija Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2018. № 2 (51). S. 124-129.
- [5] **Gopp N.V.,** Savenko O.A., Smirnov A.V. Cifrovoe kartografirovanie urozhajnosti jarovoj pshenicy na osnove vegetacionnyh indeksov i ocenka ee izmenenij v zavisimosti ot svoystv antropogennopreobrazovannyh pochv. // Sovremennye problemy distancionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa. 2019. № 3. S. 125-139. <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2019-16-3-125-139>
- [6] **Tuguz R.K.,** Panesh A.H. Ocenka urozhajnosti ozimoy pshenicy s pomoshh'ju servisov geoinformacionnyh sistem. // Novye metody i rezul'taty issledovanij landshaftov v Evrope, Central'noj Azii i Sibiri. 2018. №. S. 448-453. <https://doi.org/10.25680/6129.2018.76.74.088>
- [7] **Sereda I.I.,** Tutubalina O.V. Ispol'zovanie vegetacionnyh indeksov dlja ocenki sostojanija posevov kukuruzy na osnove vozdušnyh giperspektral'nyh snimkov. // Nauchnye issledovanija molodyh uchenykh-kartografov, vypolnennye pod rukovodstvom sotrudnikov kafedry kartografii i geoinformatiki geograficheskogo fakul'teta MGU imeni m. V. Lomonosova. Sbornik nauchnyh rabot. 2017. № 2 (9). S. 61-69.
- [8] **Terehin Je.A.** Ocenka sezonnyh znachenij vegetacionnogo indeksa (NDVI) dlja detektirovaniya i analiza sostojanija posevov sel'skhozjajstvennyh kul'tur. // Issledovanija zemli iz kosmosa. 2015. № 1. S. 23-31. <https://doi.org/10.7868/S0205961415010108>
- [9] **Zubarev Ju.N.,** Fomin D.S., Chashhin A.N., Zabolotnova M.V. Ispol'zovanie bespilotnyh letatel'nyh apparatov v sel'skom hozjajstve. // Vestnik PFIC. 2019. № 2. S. 47-51. <https://doi.org/10.7242/2658-705X/2019.2.5>
- [10] **Lisenovich A.I.,** Ten E.A., Zhanzakov B.Zh., Shupanova I.V. Primenenie distancionnoj ocenki kollekcionnyh pitomnikov, na primere chechevicy. // Auyll sharuashylygy rylymdary Korkyt ata atyndary Kyzylorda universitetiniñ habarshysy. 2024. № 3(70). S. 19-28. <https://doi.org/10.52081/bkaku.2024.v70.i3.170>
- [11] **Fomin D.S.,** Chashhin A.N. Vegetacionnyj indeks NDVI v ocenke zernovyh kul'tur opytnykh polej Permskogo NIISH. // Izvestija Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2018. – № 4 (72). S. 39-42.

- [12] **Pavlovskaja N.E.**, Rodimcev S.A., Borodin D.B., Vershinin S.V., Gagarin I.N. Ocenka sostojanija posevov ozimoj pshenicy i jarovogo jachmenja po srednemu znacheniju NDVI, na osnove kosmosnimkov // Vestnik agrarnoj nauki. 2020. № 6 (87). S. 25-32. <https://doi.org/10.17238/issn2587-666X.2020.6.25>
- [13] Vegetacionnyj indeksy dlja sel'skogo hozjajstva [Elektronnyj resurs] URL: <https://eos.com/ru/blog/vegetacionnye-indeksy/>. Data obrashhenija: 13.01.2025.
- [14] **Dospehov B.A.** Metodika polevogo opyta. M.: Kolos. 1968. S. 336.
- [15] **Evtjushkin A.V.**, Bryksin V.M., Rychkova N.V. Ocenka sostojanija rastitel'nyh pokrovov po dannym distancionnogo zondirovanija i podsputnikovyh jeksperimentov. // Vesnik Altajskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2010. № 10 (72). S. 50-53.
- [16] **Malov N.P.** Vlijanie sorta jarovoj pshenicy na rost i razvitie rastenij. Vestnik Kazanskogo GAU. 2018. № 3(50). S. 35-38. https://doi.org/10.12737/article_5bcf5573059500.42622747
- [17] **Guljanov Ju.A.** Monitoring fitometricheskikh parametrov s ispol'zovanie innovacionnyh metodov skanirovanija posevov. // Tavricheskij vestnik agrarnoj nauki. 2019. № 3(19). S. 64-76. <https://doi.org/10.33952/2542-0720-2019-3-19-64-76>
- [18] **Bondur V.G.**, Gorohovskij K.Ju., Ignat'e V.Ju., Murynin A.B., Gaponova E.V. Metod prognozirovaniya urozhajnosti po kosmicheskim nabljudenijam za dinamikoj razvitiya vegetacii. // Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Geodezija i ajerofotos'emka. 2013. № 6. S. 61-68.
- [19] **Storchak I.G.**, Shestakova E.O., Eroshenko F.V. Svjaz' urozhajnosti posevov ozimoj pshenicy i NDVI dlja otdel'nyh polej. // Agrarnyj vestnik Urala. 2018. № 4 (173). S. 64-68.

АҚМОЛА ОБЛЫСЫНЫҢ ДАЛА ЖАҒДАЙЫНДА ВЕГЕТАЦИЯЛЫҚ ИНДЕКСТЕР НЕГІЗІНДЕ БИДАЙДЫҢ ӨСУІ МЕН ДАМУЫНЫҢ КЕҢІСТІКТІКТЕ НАҚТЫЛАНУЫ

Шупанова И.В.*, ғылыми қызметкер
Құрбанбаев А.И., PhD, зертхана меңгерушісі
Жанзаков Б.Ж., PhD, зертхана меңгерушісі
Лисенович А.И., ғылыми қызметкер

«А.И. Бараев атындағы астық шаруашылығының ғылыми-өндірістік орталығы ЖШС», Шортанды, Қазақстан

Аннотация. Ауыл шаруашылық өндірісінде, жерді қашықтықтан бақылаудың спектрлік-ақпараттық аспектілердің қалыптасып дамуы, агроценоздағы дақылдардың жағдайы мен өсу динамикасын нақты және тәуелсіз бағалауға мүмкіндігін қалыптастырды. Өсімдіктердің өсіп-жетілу жағдайы, өсімдік түрінің тығыздығына, хлорофилмен қанықтылығына байланысты өзгертін жасыл өсімдіктердің фотосинтетикалық белсенділігінің сандық көрсеткішін көрсететін вегетациялық индекстер негізінде бағаланады. Әрбір нақты жағдайда вегетациялық индекстің сезімталдығы бүкіл вегетациялық кезеңде химиялық, биометриялық және морфологиялық көрсеткіштерді өзгертетін өсімдіктердің фотосинтетикалық белсенділігінің тұрақтылығымен байланысты. Бұл жұмыстың мақсаты, NDVI вегетациялық индексі негізінде Ақмола облысының дала аймағы жағдайында жұмсақ бидайдың өсу және даму ерекшеліктеріне себудің әртүрлі мерзімдерінің әсерін зерттеу. Зерттелетін себу мерзімдері – 5 мамыр, 10 мамыр, 15 мамыр, 20 мамыр, 30 мамыр, 4 маусым, 10 маусым бойынша жұмсақ бидайдың бүкіл вегетациялық кезеңінде NDVI индексінің көрсеткіштері, Phantom 4 Multispectral бес арналы мультиспектрлі камерамен жабдықталған ұшқышсыз ұшу аппаратымен алынған. Зерттеудің негізінде бидай өнімділігі параметрлері мен NDVI вегетациялық индексі арасында көпсалалы сызықтық емес байланыс анықталды, корреляция коэффициенті – 0,8, анықтау коэффициенті 73% болды. Ақмола облысының дала аймағының жаздық бидайының стационарлық егістіктерінде ұшқышсыз ұшу аппаратымен қашықтықтан аэротүсірілім жасау, бидайдың пісіп-жетілген сайын жасыл массаның жедел өсуі мен дән пісу барысында біртіндеп қурауын бақылауға, соның негізінде фотосинтетикалық белсенділікті бағалауға мүмкіндік берді.

Тірек сөздер. Қашықтықтан бақылау, геоақпараттық жүйелер, NDVI индексі, жұмсақ бидай, өнімділік, корреляциялық байланыстар.

SPATIAL DETAIL OF WHEAT GROWTH AND DEVELOPMENT DYNAMICS IN STEPPE CONDITIONS OF AKMOLA REGION BASED ON VEGETATION INDICES

Shupanova I.V.* Research Associate
Kurbanbaev A.I. PhD, Head of the laboratory
Zhanzakov B.J. PhD, Head of the laboratory
Lisenovich A.I. Research Associate

*Scientific and Production Center of Grain Industry named after A.I. Barayev, LLP, P. Shortandy,
Kazakhstan*

Annotation. The development of remote sensing of the Earth in agricultural production is based on spectral information aspects that allow an objective and independent assessment of the state and dynamics of crops in the agro-cenosis. The state of plant growth and development is assessed by calculating vegetation indices, which display a quantitative indicator of the photosynthetic activity of green plants, which varies depending on the density of the plant type and the saturation of plants with chlorophyll. The sensitivity of the vegetation index in each specific situation is related to the stable stability of photosynthetic activity of plants, which change chemical, biometric and morphological parameters throughout the growing season. The purpose of this work is to study the influence of different sowing periods on the growth and development of soft wheat in the steppe zone of the Akmola region based on the vegetation index NDVI. NDVI index indicators for the entire growing season of soft wheat according to the studied sowing dates – May 5, May 10, May 15, May 20, May 30, June 4, June 10, obtained by the Phantom 4 Multispectral aircraft equipped with a five-channel multispectral camera. The result of the research is the presence of a polynomial nonlinear relationship between wheat yield parameters and the NDVI vegetation index, the correlation coefficient was 0.8, with a coefficient of determination in 73% of cases. Remote work with an aircraft in stationary spring wheat crops in the steppe zone of the Akmola region made it possible to track and display the photosynthetic activity of the crop, tracing the periods of rapid growth of the green mass and smooth drying as the grain matures.

Keywords: Remote sensing, geographic information systems, NDVI index, soft wheat, yield, correlations.