

УДК 633.14: 528.88

**ДИСТАНЦИОННАЯ И НАЗЕМНАЯ ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ПОСЕВОВ  
ОЗИМОЙ РЖИ ПО ВЕГЕТАЦИОННОМУ ИНДЕКСУ NDVI  
В ДЛИТЕЛЬНОМ ПОЛЕВОМ ОПЫТЕ РГАУ – МСХА ИМЕНИ  
К.А.ТИМИРЯЗЕВА**

*Железова Софья Владиславовна, д.с.-х.н., в.н.с. ФГБНУ ВНИИФ*

*Веллер Владислав Евгеньевич, аспирант кафедры земледелия и методики  
опытного дела ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный  
университет – МСХА имени К.А.Тимирязева»*

*Мельников Андрей Валерьевич, к.с.-х.н., агроном Полевой опытной станции,  
доцент кафедры МТП и ВТР института МЭ имени В.П. Горячкина ФГБОУ ВО  
«Российский государственный аграрный университет – МСХА имени  
К.А.Тимирязева» E-mail: soferrum@mail.ru ; vellervladislav@gmail.com ;  
diatrima@list.ru*

*Аннотация:* В длительном полевом опыте озимая рожь возделывается при применении разных сочетаний минеральных удобрений в бессменном посеве и в севообороте. Сопоставление вегетационного индекса NDVI озимой ржи во время вегетации позволяет оценивать развитие посевов по разным вариантам опыта и прогнозировать урожайность на основе сезонной динамики NDVI.

*Ключевые слова:* вегетационный индекс NDVI, рожь озимая, бессменные посевы, GreenSeeker, БПЛА

**Введение.** Уникальность и научная ценность длительных полевых опытов состоит в том, что на их основе можно проследить в буквальном смысле историю развития сельскохозяйственного производства: внедрение и освоение новых технологий, оценку их длительного воздействия на плодородие почвы и на развитие изучаемых сельскохозяйственных культур [1, 2]. Длительный полевой опыт РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева является уникальным полигоном, где на небольшой площади около 1,75 га сосредоточено множество сочетаний технологических факторов возделывания пяти культур на дерново-подзолистой почве: фактор известкования, фактор применения различных сочетаний минеральных и органических удобрений, фактор влияния севооборота [1, 2]. Изначально почвенный покров полигона неоднородный [3], он представлен агродерновыми почвами на различной литологической основе от средних суглинков до песчано-гравийных линз, где почвенные разности имеют площадь от нескольких единиц до нескольких десятков кв. м.. На развитие посевов во время вегетации одновременно оказывают влияние как природные агроландшафтные, почвенные и агроклиматические факторы [3, 4],

так и технологические. Для оценки развития посевов во время вегетации широко используется вегетационный индекс NDVI, который может быть получен на основе дистанционного зондирования Земли, при аэрофотосъёмке с беспилотного летательного аппарата (БПЛА) или при наземной оценке оптическими датчиками, например, системы GreenSeeker (Trimble) [5]. Сезонная динамика изменения индекса NDVI позволяет сравнивать развитие посевов в разных условиях, оценивать отклонение от нормального развития и предварительно прогнозировать урожайность.

**Цель.** Сравнить развитие посевов озимой ржи на разных вариантах опыта по сезонной динамике вегетационного индекса NDVI.

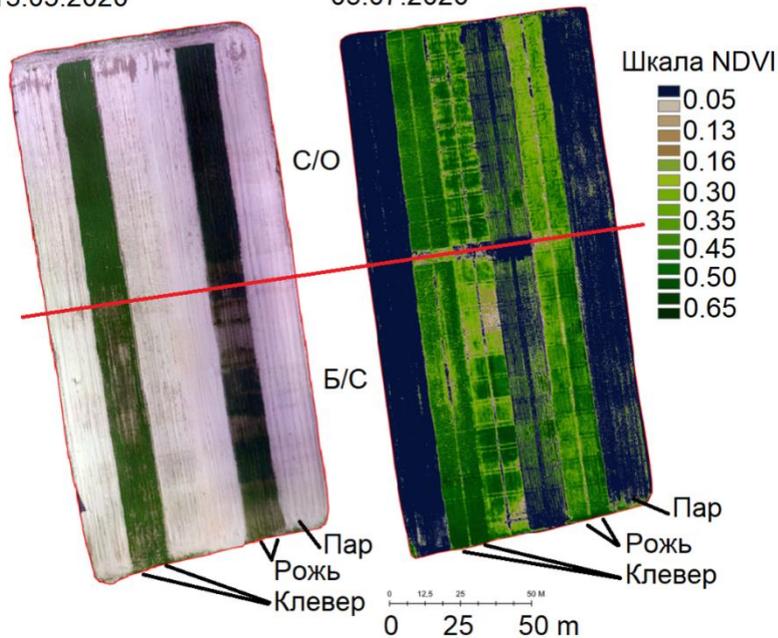
**Материалы и методы.** Мониторинг индекса NDVI посевов озимой ржи был проведен в течение вегетационного сезона 2020 г с применением наземной и беспилотной съёмки. Наземную съёмку NDVI проводили ручным прибором GreenSeeker Handheld (Trimble) еженедельно в течение всего вегетационного сезона. Первая съёмка была проведена 25 марта, сразу после таяния снега, заключительная съёмка – 20 июля, в фазу восковой спелости зерна. Беспилотную съёмку проводили два раза за вегетационный сезон: 13 мая (фаза начала выхода в трубку, ВВСН-30-31) и 5 июля (фаза молочной спелости, ВВСН-71-73). Для съёмки использовали БПЛА квадрокоптер DJI с мультиспектральной камерой. По результатам съёмки с БПЛА сравнивали пространственные особенности состояния посевов озимой ржи и других культур опыта. Результаты съёмки посевов ржи прибором GreenSeeker обрабатывали статистическими методами в Excel MS Office. Для сравнения сезонной динамики индекса NDVI в зависимости от применения азотного удобрения применяли анализ временных рядов.

**Результаты и их обсуждение.** По результатам беспилотной съёмки в видимом диапазоне спектра была оценена неоднородность посевов в начале вегетации (рисунок 1, в натуральном цвете). Даже без вычисления вегетационного индекса видна неравномерность состояния всходов, связанная со схемой опыта и с влиянием почвенных условий. При весеннем отрастании рожь и клевер в бессменном посеве выглядят значительно хуже, чем на участке с применением севооборота. Это связано с более плохой перезимовкой на бессменных посевах, по сравнению с вариантом культур в севообороте. Но во второй половине вегетации эта закономерность для данных культур перестаёт быть такой явной, и в большей степени начинает проявляться влияние применения удобрений в разных дозах и сочетаниях. На примере всех культур это хорошо видно при использовании изображения в цвете NDVI – участки с применением азотного удобрения окрашены в более яркий цвет (рис. 1).

Одномоментная съёмка состояния посевов даёт представление о зонах неравномерности, но не позволяет оценить сезонную динамику индекса NDVI. Зоны неравномерности связаны не только с применением той или иной технологии возделывания, но и с конкретными почвенными условиями, на которые попадают отдельные учётные делянки. Почвенные условия – постоянно действующий фактор, и они вносят определенную «помеху» при

В натуральном цвете,  
13.05.2020

В цвете NDVI,  
05.07.2020



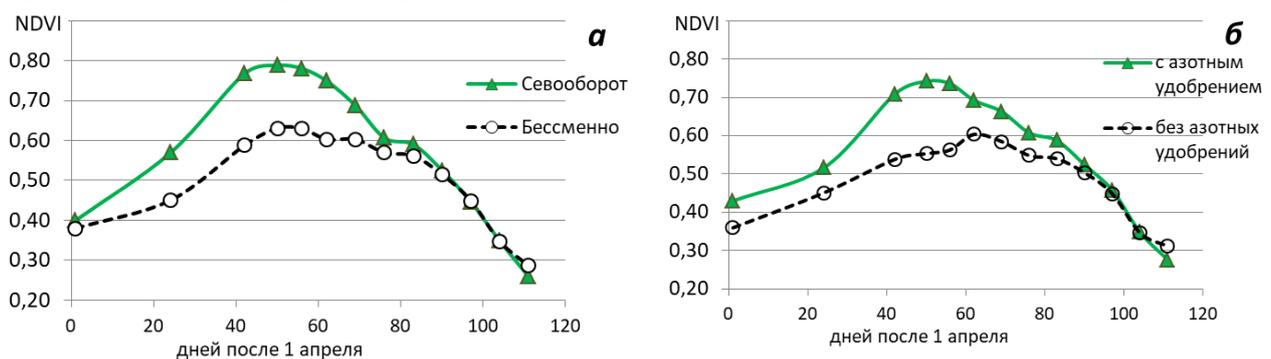
учете влияния технологических факторов. Изучение NDVI в динамике позволяет более точно оценить влияние почвенных условий и технологии возделывания на развитие биомассы посевов. Первое обследование NDVI посевов озимой ржи было проведено 25 марта, но в это время вегетация еще не

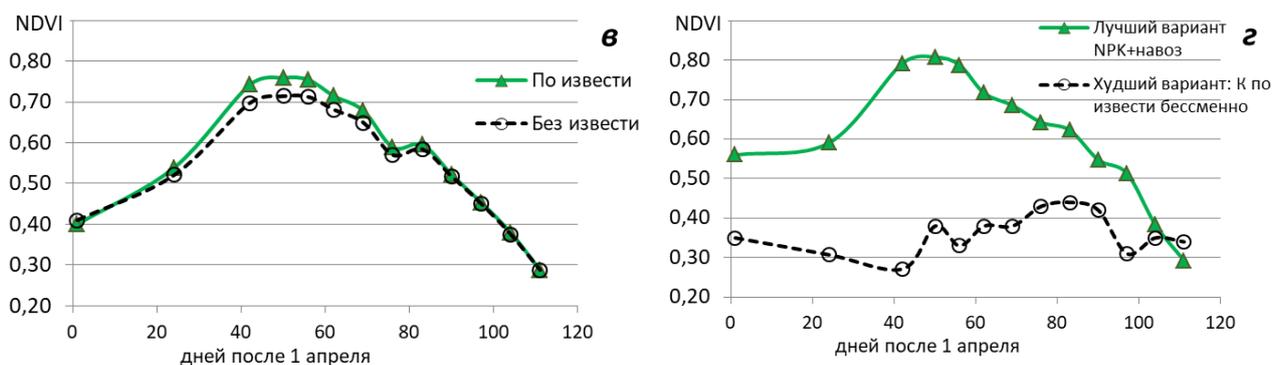
возобновилась. 1 апреля принято за стартовую точку для анализа сезонной динамики NDVI. Весна 2020 г. была не дружная, и лишь после 20 апреля началось быстрое возобновление вегетации. С этого момента проводили еженедельный мониторинг индекса NDVI.

**Рис. 1. Неравномерность состояния посевов культур длительного полевого опыта в два срока обследования.**

**Разделение поля: С/О – культуры в севообороте; Б/С – культуры в бессменном посеве**

Динамика индекса NDVI посевов при воздействии фактора севооборота и применения удобрений сравнивается на рисунке 2.





**Рис.2. Сезонная динамика индекса NDVI озимой ржи в разных вариантах опыта: а) сравнение бесменных посевов и в севообороте; б) влияние азотных удобрений; в) сравнение вариантов по известкованию почвы; г) сопоставление NDVI наилучшего и наихудшего состояния озимой ржи в сезоне 2020 г.**

Показатель NDVI бесменных посевов ржи в течение всего сезона был ниже, чем на варианте в севообороте (рис. 2, а).

Существенное влияние на индекс NDVI оказывает применение минерального азотного удобрения, как в сочетании с другими удобрениями, так и в виде моноудобрения. На делянках с применением азотных удобрений в пиковую фазу развития посевов, в конце колошения перед цветением (BBCH-55-59) показатель NDVI посевов достигает значений 0,75–0,80 (рис. 2, а, б, в).

По сравнению с контролем без применения азота показатель NDVI в эту фазу развития выше на 15–20%. Максимальные показатели NDVI в течение всего сезона наблюдались на вариантах с применением полного минерального удобрения в сочетании с навозом (рис. 2, г). Фактор известкования почвы не оказывал статистически значимого положительного влияния на сезонный показатель NDVI озимой ржи, и на делянках без внесения и с внесением известки ход показателя NDVI в течение всего сезона был практически одинаковым (рис. 2, в). По результатам обработки всех данных со всех делянок было выявлено, что наилучшего развития в течение сезона достигала рожь на делянке с применением полного минерального удобрения в сочетании с навозом (по этому варианту объединены данные по известки, без известки, в севообороте, и бесменные посевы), а наихудшее – на делянках с применением

**Заключение.** Вегетационный индекс NDVI является надёжным индикатором оценки состояния посевов во время вегетации. В сезонных наблюдениях за посевами озимой ржи в многофакторном эксперименте Длительного полевого опыта на примере мониторинга 2020 года было показано, что по разнице индекса NDVI существенно различаются делянки с разными вариантами опыта. Озимая рожь с разной скоростью и интенсивностью развивалась в зависимости от применения удобрений, известки и в бесменных посевах, и в севообороте. Бесменный посев ржи в целом менее интенсивно накапливает и удерживает зеленую биомассу в течение всего периода вегетации, что хорошо видно по сезонной динамике NDVI. Так, NDVI бесменных посевов в течение активной вегетации (до начала созревания) был на 15-20% ниже, чем на делянках в севообороте. Наивысшие показатели NDVI

в течение сезона приурочены к делянкам опыта с внесением полного минерального удобрения в сочетании с навозом. Низкое развитие биомассы озимой ржи отмечено на делянке с внесением только калийного удобрения в бессменных посевах. Рекомендуется использование метода мониторинга NDVI в течение всей ротации севооборота, и сопоставление временных рядов NDVI с интегральными показателями урожайности всех изучаемых в опыте культур. Это позволит по-новому оценить влияние и вклад природных и технологических факторов на урожайность культур севооборота Длительного полевого опыта.

**Благодарности.** Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования, проект N 075-15-2021-1409 и Фонда содействия инновациям, программа «Умник», персональный грант В. Веллера (с 2020 г.).

### **Библиографический список**

1. Zhelezova, S. Long-term field experiments of Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy / S. Zhelezova, O. Savoskina // 2nd Conference on Long-Term Field Experiments LOTEX-2019. Proceeding book. – Nyiregyhaza: 2019. – P. 79–84.
2. Матюк, Н.С. Действие 100-летних бессменных культур на агрохимические свойства дерново-подзолистой почвы / Н.С. Матюк, М.А. Мазиров, В.Д. Полин, Д.М. Кашеева // Агрохимический вестник. – 2012. – № 6. – С. 25–29.
3. Хитров, Н.Б. Почвы длительного полевого опыта ТСХА / Н.Б. Хитров // Известия ТСХА. – 2012. – № 3. – С. 62–78.
4. Белолобцев, А.И. Агроклиматическое обеспечение процессов воспроизводства плодородия почв и продуктивности сельскохозяйственных культур в длительном полевом опыте РГАУ–МСХА / А.И. Белолобцев, О.Э. Суховеева // в Книге «Длительному полевому стационарному опыту ТСХА 100 лет. Итоги научных исследований». – М.: РГАУ–МСХА. – 2012. – С. 24–49.
5. Железова, С.В. Мониторинг посевов озимой пшеницы с применением беспилотной аэрофотосъемки и оптического датчика GreenSeeker® RT200 / С.В. Железова, А.А. Ананьев, М.В. Вьюнов, Е.В. Березовский // Вестник Оренбургского Государственного Университета. – 2016. – № 6 (194). – С. 56–61.

### **REMOTE AND GROUND-BASED ASSESSMENT OF THE WINTER RYE CROPS WITH THE VEGETATION INDEX NDVI IN THE LONG-TERM FIELD EXPERIENCE OF RUSSIAN STATE AGRARIAN UNIVERSITY – MOSCOW TIMIRYAZEV AGRICULTURAL ACADEMY**

*Zhelezova Sofia V., Doctor of Agricultural Sciences, leading researcher, All-Russian Scientific Institute of Phytopathology E-mail: soferrum@mail.ru ;  
Veller Vladislav E., Post-graduate student, Department of Agriculture and Field Research Methods, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy E-mail: vellervladislav@gmail.com*

**Abstract:** *In a long-term field experiment, winter rye is cultivated with the use of different combinations of mineral fertilizers in permanent monocrop and in the crop rotation. Comparison of the vegetation index NDVI of winter rye during the growing season makes it possible to assess the development of crops according to different variants of experience and predict yields based on seasonal dynamics of NDVI.*

**Keywords:** *NDVI, winter rye, permanent monocrop, GreenSeeker, UAV*

**УДК 632.51: 528.88**

**О ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ БПЛА ДЛЯ ОЦЕНКИ  
СОРНОГО КОМПОНЕНТА В ДЛИТЕЛЬНОМ ПОЛЕВОМ ОПЫТЕ  
РГАУ – МСХА ИМЕНИ К.А.ТИМИРЯЗЕВА**

**Ермолаева Ольга Сергеевна**, ст. преподаватель кафедры прикладной информатики, Институт экономики и управления АПК ФГБОУ ВО «РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева»

**Железова Софья Владиславовна**, д.с.-х.н., в.н.с. ФГБНУ ВНИИФ  
**Зейлигер Анатолий Михайлович**, д.б.н., профессор кафедры прикладной информатики, Институт экономики и управления АПК ФГБОУ ВО «РГАУМСХА имени К.А. Тимирязева»

**Веллер Владислав Евгеньевич**, аспирант кафедры земледелия и методики опытного дела ФГБОУ ВО «РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева»

**E-mail:** *ol\_ermolaeva@mail.ru ; soferrum@mail.ru ; azeiliger@mail.ru ; vellervladislav@gmail.com*

**Аннотация:** *Апробирован метод оценки сорного компонента агрофитоценоза на основе обследования посевов с применением беспилотной съёмки в видимом диапазоне. Рассмотрены примеры оценки засорённости, проведенные в разных условиях. Показаны преимущества и недостатки метода дистанционной оценки засорённости, оценены перспективы использования данного метода для условий Длительного полевого стационарного опыта с ограниченной возможностью посещения.*

**Ключевые слова:** *БПЛА, разрешающая способность съёмки, сорные растения*

**Введение.** Длительный полевой опыт РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева входит во Всероссийский и международный реестр длительных полевых опытов и является уникальным достоянием мировой науки [1]. Важность сохранения длительных полевых опытов состоит в том, что на основе многолетних научных наблюдений можно проследить некоторые важные аспекты защиты растений и фитосанитарной обстановки [2]. Изучение сорного компонента в посевах полевого опыта позволяют получить уникальную агрофитоценотическую информацию [3]. В то же время, такие полигоны, подобно заповедникам, являются весьма уязвимыми, т.к. при любом посещении