

Научные основы и практические приёмы интеграции элементов «умного земледелия» в ландшафтно-адаптивное земледелие степной зоны*

Ю.А. Гулянов, д.с.-х.н., профессор, Институт степи Оренбургского ФИЦ УрО РАН; П.Г. Паламарчук, к.с.-х.н., ФГБОУ ВО Оренбургский ГАУ

Технологическая независимость и продовольственная безопасность России, как свидетельствует утверждённая Указом Президента РФ от 1 декабря 2016 г. № 642 «Стратегия научно-технологического развития Российской Федерации», предполагают безотлагательное развитие и реализацию интеллектуальных земледельческих технологий, имеющих научно обоснованную экологическую направленность [1]. Предусматривается, что наиболее подходящей платформой для реализации указанных инициатив является цифровая трансформация сельского хозяйства посредством интеллектуального земледелия, основанного на пространственной дифференциации уровня технологического воздействия на отдельных участках поля. Экологичность подобного подхода заключается, во первых, в выравнивании условий внешней среды для всех растений агроценоза, что способствует более полной реализации их биологического потенциала, а значит формированию высокого урожая качественной продукции. Во вторых, состоит в снижении рисков загрязнения прилегающих фитоценозов ввиду строго регламентированных (как правило, меньших) норм применения пестицидов и агрохимикатов в расчёте на 1 га посева и поддержании ресурсов биосферы.

Последнее особенно актуально для постцелинных регионов степной зоны РФ, где проблема оптимизации существующей структуры земледелия с целью обеспечения продовольственной безопасности населения предполагает интенсификацию земледелия на высокоплодородных почвах. Связано это с тем, что отведение деградированных земель под животноводческое использование, а также выделение из сельскохозяйственного оборота наиболее ценных в ландшафтном отношении местностей и урочищ, будет неизбежно сопровождаться сокращением земледельческих площадей и необходимостью существенного повышения их урожайности [2, 3].

В мировой сельскохозяйственной практике производственное внедрение элементов интеллектуального цифрового земледелия осуществляется путём картографирования внутривидовой неоднородности почвенного и растительного покрова

посредством сканирования посевов портативными наземными оптическими датчиками, съёмки с беспилотных летательных аппаратов, путём дистанционного зондирования (ДДЗ), использования программных средств и роботизированной сельскохозяйственной техники для дифференцирования технологических операций [4].

В связи с этим отработка приёмов мониторинга посевов активными оптическими датчиками (сенсорами) для определения уровня развития растений, соответствия их параметров высокопродуктивным эталонным посевам, оценки пространственной однородности и перспектив повышения урожайности экологоориентированными агротехническими приёмами является актуальным научным направлением.

На предыдущем этапе исследования (2017–2018 гг.) нами была отработана технология выявления гетерогенности почвенного и растительного покрова на различных участках поля и прогнозирования урожайности озимой пшеницы по индексу NDVI с помощью портативного устройства Green Seeker Handheld Crop Sensor, Model HCS-100 (Trimble, USA) [5]. Установлено, что в условиях засушливой степи Оренбургского Предуралья использование указанного оптического устройства позволяет с высокой достоверностью оценивать гетерогенность посевов и прогнозировать урожайность озимой пшеницы.

Основная цель данного этапа исследования заключалась в выявлении тесноты связи вегетационного индекса посева по фазам развития озимой пшеницы с урожайностью зерна и научном обосновании практических приёмов интеграции элементов «умного земледелия» в ландшафтно-адаптивное земледелие степной зоны.

Материал и методы исследования. Исследование проводили в 2018–2019 гг. с озимой мягкой пшеницей (*Triticum aestivum* L.) сорта Поволжская 86 на содержащих около 4 % гумуса чернозёмах южных центральной зоны Оренбургской области, характеризующейся недостаточным и неустойчивым атмосферным увлажнением с непродолжительными летними дождями ливневого характера. В целом же на указанной территории за год выпадает около 360–370 мм осадков, из которых лишь 120–130 мм – в период вегетации сельскохозяйственных культур. Для зоны иссле-

* Статья подготовлена по теме НИР Института степи УрО РАН: «Степи России: ландшафтно-экологические основы устойчивого развития, обоснование природоподобных технологий в условиях природных и антропогенных изменений окружающей среды», № ГР АААА-А17-117012610022-5.

дования характерна продолжительная морозная и не всегда снежная зима, короткая дружная весна с быстрым переходом в жаркое засушливое лето и продолжительная тёплая и сухая осень. Период нашего исследования характеризовался повышенной температурой воздуха в весенне-летне-осенние месяцы и острым дефицитом влаги, особенно в августе – сентябре.

Сканирование растений в агроценозах озимой пшеницы с целью определения вегетационного индекса (NDVI) проводили портативным устройством (ручной сенсор) Green Seeker Handheld Crop Sensor, Model HCS-100 (Trimble, USA), особенности работы с которым для получения достоверных результатов уже описывались нами в предшествующих публикациях [5].

Наблюдения проводили на выделенных в производственном посеве 15 участках размером 4 м на 100 м, закреплённых на местности. Учёт урожая и структурный анализ сноповых образцов проводили в фазу полной спелости зерна.

Результаты исследования. Возможность оперативного определения параметров (прежде всего фитометрических) агроценозов полевых культур и управления ими в направлении соответствия эталонным высокопродуктивным посевам открывает широкие перспективы повышения урожайности путём проведения экологоориентированных агротехнических мероприятий уже по ходу вегетации. Как известно, конечная урожайность агроценозов складывается из вклада каждого растения в общий урожай и из числа «вкладчиков» на единице площади, в данном случае числа продуктивных стеблей на 1 га. Урожайность отдельных растений колосовых зерновых культур определяется числом продуктивных стеблей и массой зерна с колоса, которая в свою очередь зависит от числа зёрен в колосе и их тяжеловесности – массы 1000 зёрен. Как показывает практика, в зоне нашего исследования урожайность зерновых культур чаще всего зависит от плотности продуктивного стеблестоя, т.е. числа продуктивных стеблей на 1 га, а масса зерна с одного колоса с итоговой урожайностью связана слабее. Следовательно, своевременное установление несоответствия параметров наблюдаемых агроценозов эталонным посевам, прежде всего по плотности стеблестоя, очень важно для их оперативной корректировки агротехническими приёмами. Повышение урожайности каждого растения в процессе вегетации может позволить увеличить урожайность всего агроценоза даже при их меньшем, чем планировалось при посеве, числе.

Мировой и отечественный земледельческий опыт свидетельствуют об успешной разработке приёмов управления развитием агроценозов в направлении повышения их продуктивности ещё со второй половины прошлого столетия [6].

Несравненно большие возможности для этого открываются при внедрении современных элементов интеллектуальных технологий «умного землепользования», особенно в регионах степной зоны РФ.

В результате ранее проведённых исследований с озимой пшеницей [7–9] нам удалось получить экспериментально подтверждённые данные, что весенняя некорневая подкормка азотными удобрениями вплоть до завершения фазы колошения позволяет растениям озимой пшеницы заложить более продуктивный колос с тяжеловесным зерном. На наш взгляд, связано это прежде всего с тем, что масса будущей зерновки зависит в том числе и от длины цветковых чешуй, рост которых заканчивается во время колошения. Улучшение условий азотного питания в это время может способствовать увеличению размеров цветочных чешуй. Последующие же, более поздние, азотные некорневые подкормки в фазу налива зерна способствуют росту зерна до полного заполнения пространства между цветковыми чешуями, т.е. формированию крупного выполненного зерна с массой в одном колосе до 0,86 г и более. Приведённая информация свидетельствует о том, что в течение весенне-летней вегетации озимой пшеницы в условиях сухих степей Оренбургского Предуралья имеется возможность оперативного управления ходом формирования урожая и его частичного «навёрстывания» в случае необходимости. Чаще всего такая потребность возникает при изреженности посевов из-за неудовлетворительных, прежде всего климатических, условий осеннего или зимнего периодов. Осеннюю изреженность вызывают крайне засушливые условия второй половины лета и начала осени, совпадающие со временем посева и появления всходов озимой пшеницы. Гибель растений за время перезимовки обычно бывает связана с их слабым развитием с осени, в силу указанных выше причин, поражением грибковыми болезнями слабых растений, вымерзанием в ноябрьское бесснежье, особенно на возвышенных участках рельефа. Компенсация урожайности потерянных по указанным причинам растений, более высокой продуктивностью сохранившихся, на наш взгляд, может рассматриваться как один из путей достижения запланированной урожайности и стабилизации производства зерна в ландшафтно-адаптивном земледелии степной зоны.

В результате данного этапа исследования нам удалось выявить, что теснота связи вегетационного индекса посева (NDVI) с его будущей урожайностью в различные фазы развития растений существенно различается (рис. 1).

При возобновлении весенней вегетации, весеннем кущении и молочно-восковой спелости зерна связь между указанными параметрами средняя ($r = 0,63-0,75$). В периоды же максимального

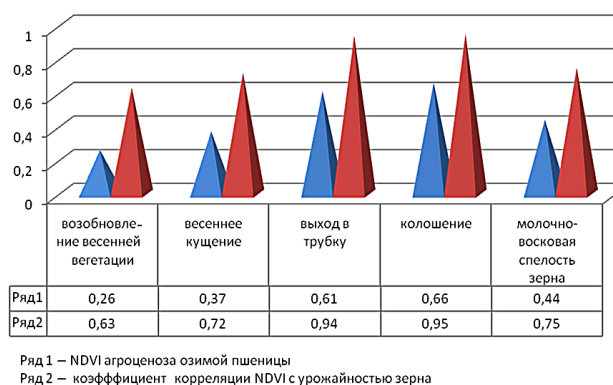


Рис. 1 – Теснота связи вегетационного индекса агроценоза озимой пшеницы с его урожайностью

развития растений она становится сильной, с коэффициентом корреляции от 0,94 в фазу выхода в трубку до 0,95 в фазу колошения.

Приведённая зависимость урожайности зерна от вегетационного индекса посева (NDVI) в фазу выхода в трубку (рис. 2) описывается уравнением регрессии:

$$y = 2,385x + 0,770, \quad (1)$$

где y – урожайность зерна, т/га;

x – вегетационный индекс посева (NDVI).

Коэффициент детерминации (r^2) указывает на зависимость урожайности зерна от динамики вегетационного индекса в данную фазу в 89,1 % случаев.

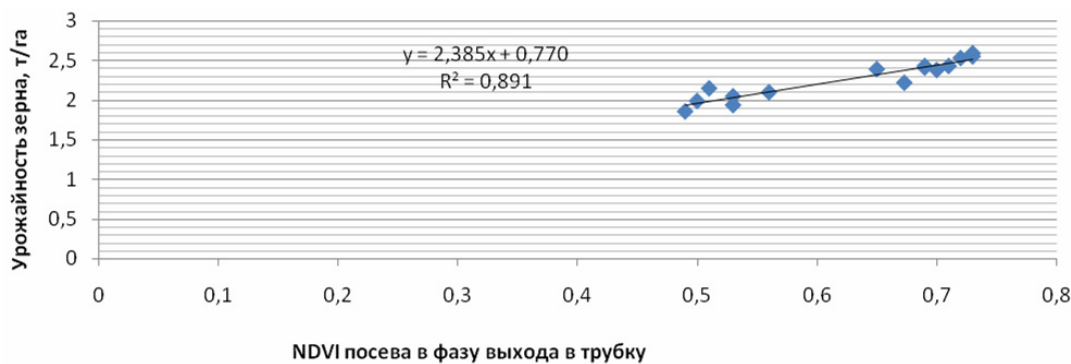


Рис. 2 – Зависимость урожайности зерна от вегетационного индекса (NDVI) агроценоза озимой пшеницы в фазу выхода в трубку



Рис. 3 – Зависимость урожайности зерна от вегетационного индекса (NDVI) агроценоза озимой пшеницы в фазу колошения

Зависимость урожайности зерна от вегетационного индекса посева (NDVI) в фазу колошения (рис. 3) описывается уравнением регрессии:

$$y = 3,377x + 0,059, \quad (2)$$

где y – урожайность зерна, т/га;

x – вегетационный индекс посева (NDVI).

Зависимость ещё более тесная, свидетельствующая о влиянии вегетационного индекса посева (NDVI) на урожайность зерна в 91,7 % случаев.

Аналогичные данные о связи приведённых параметров посевов, используемые для прогнозирования урожайности полевых культур, получены и в условиях Ставропольского края [10], что свидетельствует о возможности распространения полученных результатов на всю степную зону Европейской России.

Опираясь на выявленные зависимости урожайности зерна от вегетационного индекса (NDVI) агроценозов озимой пшеницы, можно заключить о возможности их трансформации в сторону повышения продуктивности путём оптимизации условий минерального питания растений посредством проведения некорневых подкормок водными растворами азотных удобрений при формировании колоса и закладке его основных элементов.

Выводы. Внедрение элементов «умного земледелия» в технологический процесс позволяет осуществлять управление развитием

растений в агроценозах и улучшать их урожайные перспективы в процессе вегетации. Так, использование оптического устройства Green Seeker Handheld Crop Sensor, Model HCS-100 (Trimble, USA) предоставляет возможность оперативной оценки вегетационного индекса (NDVI) зерновых культур на его соответствие высокопродуктивным эталонным посевам. В случае значительного занижения указанного параметра, чаще всего связанного с изреженностью посевов, наверстать упускаемую урожайность возможно за счёт существенного повышения продуктивности сохранившихся растений, например, путём проведения некорневых азотных подкормок в фазы выхода в трубку и колошения.

Литература

1. Стратегия научно-технологического развития Российской Федерации (утверждена Указом Президента Российской Федерации от 1 декабря 2016 г. № 642. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/41449> (дата обращения 29.10.2019).
2. Чибилёв А.А. Ключевые проблемы региональной экологической политики в степной зоне России и сопредельных государств // Степной бюллетень. 1998. № 2. [Электронный ресурс]. URL: <http://savesteppe.org/ru/archives/5435> (дата обращения 29.10.2019).
3. Лопырев М.И. Модернизация систем земледелия на эколого-ландшафтной основе // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2012. № 3 (34). С. 49–56.
4. Афанасьев Р.А. Агрехимическое обеспечение точного земледелия // Проблемы агрохимии и экологии. 2008. № 3. С. 46–53.
5. Гулянов Ю.А. Возможности интеллектуальных цифровых технологий в экологизации ландшафтно-адаптивного земледелия степной зоны // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2019. 4 (78). С. 8–11.
6. Филин В.И. Программирование урожая: от идеи к теории и технологиям возделывания сельскохозяйственных культур // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса. 2014. № 3 (35). С. 1–11.
7. Гулянов Ю.А. Адаптация приёмов возделывания озимой пшеницы к климатическим особенностям // Земледелие. 2004. № 4. С. 28–29.
8. Гулянов Ю.А. Адаптация технологических приёмов возделывания озимой пшеницы в степных районах Южного Урала // Агробиологические особенности, технологии возделывания и параметры моделей высокопродуктивных агроценозов полевых культур в засушливых условиях Южного Урала: сб. науч. трудов. Оренбург: Издательский центр ОГАУ, 2006. С. 10–23.
9. Гулянов Ю.А., Коренной А.С., Дорошева Е.Е. Роль азотсодержащих минеральных удобрений в формировании полноценного зерна озимой пшеницы на чернозёмах южных Оренбургского Предуралья // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2016. № 2 (58). С. 24–26.
10. Ерошенко Ф.В., Сторчак И.Г., Шестакова Е.О. Данные дистанционного зондирования и фотосинтетическая продуктивность посевов озимой пшеницы // Вестник АПК Ставрополя. 2016. № 4 (24). С. 157–162.