

НАУЧНЫЕ ПОДХОДЫ К РАЗРАБОТКЕ ОСНОВНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ ЭКОЛОГИЗАЦИИ СТЕПНЫХ АГРОТЕХНОЛОГИЙ НА ОСНОВЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО ЦИФРОВОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ

Гулянов Ю.А.

Оренбургский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук, г. Оренбург, Российская Федерация

Аннотация. В статье обсуждаются научные подходы к разработке перспективных путей экологизации степных агротехнологий, направленных на нивелирование внутрипольной гетерогенности с использованием средств интеллектуальных цифровых технологий. С целью минимизации негативных экологических последствий обосновывается необходимость проведения комплекса реабилитационных агротехнических мероприятий, имеющих почвовосстановительный и средоулучшающий эффект.

Ключевые слова: внутрипольная гетерогенность, цифровое земледелие, степные агроландшафты, экологизация земледелия

SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF GUIDELINES FOR GREENING THE STEPPE AGRO-TECHNOLOGIES BASED ON SMART DIGITAL AGRICULTURE

Gulyanov Y.A.

Russian Academy of Sciences Institute of Steppe of Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Orenburg, Russian Federation

Abstract. The article discusses the scientific approaches to the development of promising ways of greening steppe agricultural technologies aimed at the leveling of a trench heterogeneity with the use of intelligent digital technology. In order to minimize negative environmental consequences, the necessity of carrying out a complex of rehabilitation agrotechnical measures that have a soil-restoring and environment-improving effect is justified.

Key words: intra-field heterogeneity, digital agriculture, steppe agricultural landscapes, ecologization of agriculture.

Интеллектуальные земледельческие технологии, выстраиваемые на новационных цифровых платформах, предполагают повсеместное внедрение в производственный процесс компьютерных технологий. Они базируются также на использовании портативных сенсоров с активными оптическими датчиками, данных дистанционного зондирования земли и воздушной съёмки с БЛА, компьютеризированных сельскохозяйственных машин и оборудования, объединённых в единую систему управления продуктивностью посевов [4]. Характерной чертой указанных технологий является переход от единообразия в наборе технологических приёмов и норм технологического воздействия на всём поле, «по умолчанию» признаваемом однородным в традиционных технологиях, к их дифференциации по элементарным участкам, отличающимся способностью формировать урожай равной величины [3]. По общему убеждению, учёных, экспериментирующих в данной области сельскохозяйственных знаний, это в большинстве случаев зависит от выравнивания плодородия почвы, т.е. её возможностей в обеспечении растений факторами внешней среды, необходимыми для полноценной реализации генетического потенциала, что в свою очередь зависит от однородности агрохимических, агрофизических, фитосанитарных и некоторых других параметров [2]. К сожалению, многие десятилетия потребительского отношения к сельскохозяйственным угождам, экстенсивное почвозатратное земледелие, активное распространение эрозионных процессов и вовлечение в оборот пахотнотнепригодных земель, привели к повсеместной деградации почв, широкой гетерогенности указанных параметров и внутрипольной вариабельности урожайности. Нивелировать же сложившуюся пестроту почвенного и растительного покрова при современном уровне развития сельскохозяйственной техники и технологий может дифференцированное технологическое воздействие на различные участки поля. Оно будет сопровождаться выравниванием продуктивных возможностей возделываемых растений на всём поле, ростом итоговой урожайности и снижением рисков загрязнения окружающей

среды за счет более рационального применения агрохимикатов и ощутимой экономии материальных ресурсов, в частности энергоносителей (например, углеводородного сырья) [4].

Таким образом, в переходе от почвоутомительных и ресурсозатратных стандартных технологий в земледелии, положительного эффекта в виде стабилизации урожайности и валовых сборов растениеводческой продукции, ожидают не только аграрии. Не менее весомым обоснованием внедрения цифровых технологий служит и их экологическая безопасность [2], связанная со строгим количественным нормированием и избирательным пространственным применением агрохимикатов и средств защиты растений [13].

Как известно, мировое сельское хозяйство достаточно оперативно включилось в цифровизацию своих отраслей. По информации, размещённой в открытых источниках, в ближайшей перспективе около 1 млрд. га посевных площадей будет вовлечено в этот процесс [2,12]. В полеводстве РФ интенсивность перехода на интеллектуальные цифровые технологии пока существенно ниже – ими активно охвачено только 10% пашни, а элементы цифровизации применяются лишь в 1800 хозяйствах на площади около 7,5 млн. га [7]. Инвестиции в информационные технологии, составляющие всего лишь 0,5% вложений в основной капитал сельского хозяйства, являются самыми низкими отраслевыми показателями в экономике России [2,9].

И это при том, что пора активного внедрения интеллектуальных технологий достаточно очевидна. К примеру, для сохранения и последующего воспроизводства плодородия обрабатываемых угодий необходима компенсация вынесенных урожаями элементов минерального питания. В то же время, поддержание чистоты окружающей природы в её безопасном для человека виде, требует научного обоснования их доз применительно к отдельным элементарным участкам поля, а также разработки приёмов их дифференцированного внесения, увязанного с внутривидовой почвенной гетерогенностью. Очевидно, что тоже самое можно утверждать и в отношении средств защиты растений. Следовательно, подкрепление экономических выгод от внедрения в отечественное земледелие интеллектуальных цифровых технологий экологическими составляющими, значительно повышает их актуальность. Что касается экономической и социальной целесообразности, то по утверждению отечественных экспертов, при комплексной цифровизации АПК России, производительность труда в сельском хозяйстве может повыситься в 3-5 раз, на 30-40% может сократиться расход топлива и агрохимикатов, на 20-25% - повыситься прибыльность без ухудшения качества продукции [2,10].

Как мы уже отмечали в своих публикациях [2-4], внедрение инновационных технологий в ландшафтно-адаптивное земледелие степной зоны, наряду с существенным повышением урожайности полей, позволит ещё и избежать дальнейшей деградации степных ландшафтов, снизит риски возникновения экологических катастроф и создаст благоприятные условия для сохранения уникальной степной биоты [11].

В последние годы актуальность обозначенных проблем стала возрастать в связи с прогрессирующей пестротой почвенного плодородия ввиду негативной сельскохозяйственной практики: повсеместной «коммерциализации» севооборотов, отказа от внесения минеральных и органических удобрений и др., ставших причиной усиления антропогенного прессинга в сельскохозяйственных экосистемах и снижения качества растениеводческой продукции, в частности зерна пшеницы. Таким образом, разработка основных направлений экологизации степных агротехнологий, сглаживающих указанные негативные для урожая и окружающей природной среды последствия, является **актуальным научным направлением**.

Особую значимость преодоление указанных проблем приобретает в постцелинных регионах степной зоны РФ, где оптимизация структуры землепользования предполагает выведение из оборота деградированных земель и выделения наиболее ценных в ландшафтном отношении местностей и урочищ, что будет неизбежно сопровождаться интенсификацией земледелия на пригодных для обработки почвах [2-4].

Цель настоящих исследований заключалась в верификации научных подходов к разработке приёмов экологизации зональных агротехнологий на фоне прогрессирующей пространственной гетерогенности почвенного и растительного покрова, в определении вариабельности фитометрических и структурных показателей посевов по элементарным участкам поля, определении степени их влияния на урожайность зерна яровой пшеницы в степной зоне Оренбургского Предуралья.

Достижение поставленной цели осуществлялось путём поэтапного выполнения следующих **задач**:

- определение фитометрических и структурных показателей посевов яровой пшеницы на закреплённых элементарных участках поля с использованием общепринятых методов;
- определение вариабельности урожайности и степени её влияния на итоговые показатели;
- проведение статистического анализа полученных результатов, их представление в графическом виде и в виде уравнений регрессии;

- подведение итогов и обоснование практической значимости полученных результатов.

Полевые эксперименты проводились на чернозёме южном среднесуглинистом в центральной почвенно-климатической зоне Оренбургской области. Мощность гумусового горизонта составляла 50-52 см, при содержании гумуса на уровне 4,0-4,1%, реакция почвенного раствора (рН) равнялась 7,6. Содержание в пахотном слое почвы подвижного фосфора (P_2O_5) и обменного калия (K_2O) составляло 2,7 и 30,0 мг/100г почвы соответственно [1]. Объектом исследования выступал рекомендованный для возделывания в центральной зоне Оренбургской области сорт яровой мягкой пшеницы Фаворит (разновидность *Lutescens*) селекции ФГБНУ «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Юго-Востока» (г. Саратов). Посев проводили по предшественнику озимая пшеница по физически спелой почве (10-15 мая) нормой 4,0 млн. всхожих семян на 1 га. Закладка полевых и лабораторных опытов, сопутствующие наблюдения и учёты осуществлялись в соответствии с методическими указаниями [5]. Определение вегетационного индекса посевов (NDVI) яровой пшеницы проводилось портативным устройством Green Seeker Handheld Crop Sensor, Model HCS – 100.

Не нуждается в дополнительной аргументации утверждение, что урожайность полевых культур существенно зависит от одновременного воздействия на возделываемые растения различных природных и антропогенных факторов, отличающихся пространственной неоднородностью. Поэтому очень часто, как мы уже отмечали выше, она оказывается также неоднородной по площади и зависит от параметров приведённых факторов [4,8].

В научной среде, включая и зарубежных исследователей, необходимость пространственной дифференциации норм технологического воздействия в инновационных цифровых технологиях, с целью выравнивания внутривидовой урожайности, чаще всего обосновывают неоднородностью агрохимических показателей почвы. В то же время присутствуют данные, указывающие на достаточно широкий перечень и других факторов, вызывающих подобные последствия [6].

Результаты проведенных нами экспедиционных исследований в различных почвенно-климатических зонах Оренбургского Предуралья с различными полевыми культурами позволили заключить, что среди факторов, вызывающих пространственную изменчивость урожайности, следует выделять климатические факторы. Среди них важнейшими являются частота и количество атмосферных осадков, интенсивность солнечного излучения, температура почвы и воздуха. К изменчивым следует относить и уже упомянутые почвенные факторы, такие как механический состав, сложение и структура почвы, доступность элементов минерального питания, загрязнение и проявление эрозионных процессов, определяющие в целом её плодородие. Не менее весомо действие географических факторов, определяющих микроклимат. Они тесно связаны с уклоном участков поля и пространственным ориентированием по сторонам света. Поражение культивируемых растений вредителями, угнетение сорняками и заболеваниями различной этиологии составляет биологическую группу факторов. В последние десятилетия наиболее обширной стала группа факторов, связанных с негативной сельскохозяйственной практикой. Среди них, прежде всего, выделяется несоблюдение научно обоснованных технологических рекомендаций, например - сроков и качества выполнения агротехнических приёмов. Стоит указать также на пространственную неравномерность высева семян, нарушение севооборотов, использование низкокачественных семян, приводящие к неравномерности развития и созревания растений, использование сортов с низким потенциалом продуктивности и технологически устаревших и предельно изношенных сельскохозяйственных орудий [4].

В наших исследованиях, на одиннадцати элементарных участках поля, расположенных по диагонали опытного участка равноудалено друг от друга, выявлена значительная неоднородность растительного покрова, выразившаяся в динамике фитометрических и структурных параметров агроценоза яровой пшеницы (табл. 1).

Так, пестрота вегетационного индекса (NDVI) посева в фазу колошения, соответствующую периоду максимального развития листостебельной массы, составила 0,17 единиц, изменяясь от 0,71 до 0,54 единиц с коэффициентом вариации 8,25%.

Анализ структурных элементов урожая яровой пшеницы выявил их высокую внутривидовую изменчивость. Так, варьирование плотности продуктивного стеблестоя при среднем значении 236,1 штук/м² составило 7,72%, изменяясь от 207,1 штук/м² на участках с изреженным стеблестоем до 254,2 штук/м² (больше на 47,1 штук/м²) – на более уплотнённых участках. Изменялась и масса зерна с колоса (от 0,56 до 0,69 г), коэффициент варьирования составил 6,52%. По совокупности изменчивость двух слагаемых урожая привела к более существенной пестроте урожайности зерна, составившей при среднем значении по наблюдаемым элементарным участкам поля 1,47 т/га более 13,0%, что соответствует средней степени рассеивания данных. Разница между полярными участками по приведённому показателю составила 0,61 т/га, что можно рассматривать в качестве резерва повышения урожайности путём нивелирования пестроты почвенного покрова дифференциацией норм технологического воздействия в интеллектуальных цифровых технологиях.

Таблица 1 - Динамика фитометрических и структурных показателей посевов яровой пшеницы по 11 элементарным участкам поля, средние за 2017-2019 гг.

Градации показателей	Вегетационный индекс посева (NDVI), фаза колошения	Плотность продуктивных стеблей в уборку, штук/м ²	Масса зерна с колоса, г	Биологическая урожайность, т/га
Min значения	0,54	207,1	0,56	1,16
Max значения	0,71	254,2	0,69	1,77
Среднее значение	0,63	236,1	0,62	1,47
Коэффициент вариации, %	8,25	7,72	6,52	13,1
Коэффициент корреляции с урожайностью (r)	0,96	0,93	0,91	
Коэффициент детерминации (R ²)	0,92	0,86	0,82	

Статистическая обработка представленных данных выявила сильную связь урожайности зерна с массой зерна с колоса и плотностью продуктивного стеблестоя в уборку ($r = 0,91-0,93$), причём урожайность зерна существенно зависела от числа продуктивных стеблей в уборку, детерминирующих 86,0% её вариации.

Как и в исследованиях с озимой пшеницей в зональных ландшафтно-адаптивных системах земледелия нами выявлена сильная связь урожайности зерна яровой пшеницы с вегетационным индексом (NDVI) посева в фазу колошения (рис.1).

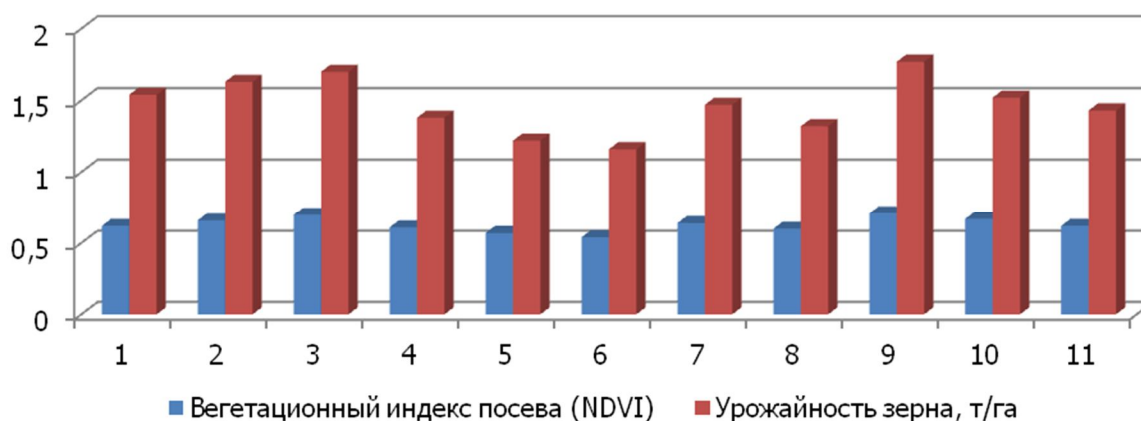


Рисунок 1 - Соотношение итоговой урожайности зерна яровой пшеницы и вегетационного индекса посева (NDVI) в фазу колошения, по элементарным участкам поля

Связь описывается уравнением регрессии $y = 3,537x - 0,764$, где x – вегетационный индекс (NDVI) посева, y – урожайность зерна, т/га. Полученные данные свидетельствуют о возможности контроля фитометрических параметров посева с помощью оперативного определения вегетационного индекса (NDVI) и принятия управленческих решений их доведения до параметров эталонных посевов дифференциацией норм технологического воздействия.

Представляется не менее важной еще одна, выявленная нами в процессе проведения полевых исследований проблема, грамотное разрешение которой может ещё дополнительно смягчить антропогенный прессинг на окружающую природную среду при переходе цифровизации земледелия в активную фазу [4]. Речь идёт о проведении комплекса подготовительных мероприятий, которые как и в любом другом важном деле, призваны исключить чрезвычайные меры или снизить величину воздействия. В нашем случае можно говорить о снижении норм применения агрохимикатов и средств защиты растений при высокой внутривидовой пестроте (подобной представленному эксперименту), особенно в первые годы освоения интеллектуальных технологий. В качестве решения указанной проблемы следует рассматривать проведение комплекса «реабилитационных» агротехнических мероприятий, вызывающих почвовосстановительный и средоулучшающий эффект, позволяющих нивелировать внутривидовое почвенное плодородие, защитить почву от дальнейшего эрозийного разрушения и окружающую среду от чрезмерной антропогенной нагрузки. Эти приёмы хорошо

известны, некогда они широко практиковались, но сегодня в связи с коммерциализацией сельскохозяйственных отраслей, их применение не всегда практикуется. К ним, учитывая концептуальные положения стратегии степного природопользования, относятся, прежде всего:

- внедрение ландшафтно-адаптивных систем земледелия с контурно-ландшафтной организацией сельскохозяйственных угодий;

- внедрение почвозащитных и почвовосстановительных севооборотов;

- внедрение агроприёмов, основанных на подражании природным процессам [4].

Среди последних, следует особо выделить переход на влагосберегающие технологии, исключающие интенсивную обработку почвы. Положительные результаты в условиях сухих степей показывает и мульчирование поверхности почвы пожнивными остатками, разбрасывание соломы зерновых культур и максимальное долгое содержание почвы под покровом растений, исключающие непродуктивное испарение скудной почвенной влаги.

Подводя итог представленной в статье информации следует заключить, что определение зональных особенностей экологизации степных агротехнологий на основе интеллектуального цифрового земледелия должно предполагать и проведение комплексных полевых обследований, включая мониторинг определяющих продуктивность факторов., в т.ч. с широким использованием данных дистанционного зондирования земли. Перспективность же продолжения настоящих исследований, как нам видится, связана с обоснованием пределов варьирования урожайности, определяющих целесообразность дифференциации норм технологического воздействия в условиях современных климатических и антропогенных изменений. Экологическая направленность подобного подхода дополнительно создаст условия и для снижения рисков загрязнения природной среды, а также сохранения ресурсов биосферы. В том состоит практическая значимость результатов проведённых исследований.

Список использованных источников

1. Гулянов, Ю.А. Эффективность использования ресурсов влаги при различном сочетании приёмов удобрения озимой пшеницы на чернозёмах южных Оренбургского Предуралья / Ю.А.Гулянов, Д.Ж.Досов // Известия Оренбургского государственного университета. – 2014. - № 2(46). – С. 36-39.

2. Гулянов, Ю.А. Экологоориентированная трансформация степных агротехнологий на основе интеллектуального «цифрового земледелия» /Ю.А.Гулянов, П.Г.Паламарчук // Региональные проблемы геологии, географии, техносферной и экологической безопасности: материалы всероссийской научно-практической конференции, Оренбург, 18-20 ноября 2019. – Издательство ИП Востриков К «Полиарт». – С. 211-215.

3. Гулянов, Ю.А. Мониторинг фитометрических параметров с использованием инновационных методов сканирования посевов / Ю.А.Гулянов // Таврический вестник аграрной науки. - 2019. - № 3(19). - С.64-76.

4. Гулянов, Ю. А. Научные подходы к оценке уровня внутривидовой гетерогенности посевов в ресурсосберегающих технологиях «зелёной экономики» / Ю.А.Гулянов // Электронный научно-методический журнал Омского ГАУ. - 2019. - №2 (17) апрель - июнь. - URL <http://e-journal.omgau.ru/images/issues/2019/2/00717.pdf>. - ISSN 2413-4066

5. Доспехов, Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). - М.: Агропромиздат, 1985. –351с.

6. Личман, Г.И. Мониторинг урожайности сельскохозяйственных культур в точном земледелии / Г.И.Личман, А.И.Беленков // Нивы Зауралья. - 2014. - № 11(22).- С. 64-65.

7. Минсельхоз разрабатывает программу «Цифровизация сельского хозяйства» [Электронный ресурс]. URL: <https://xn--80aaak5cqb6j.xn--p1ai/index.php?id=422> (дата обращения 16.02.2020).

8. Сычёв, В.Г. Робототехника в технологиях точного земледелия / В.Г.Сычёв, Р.А.Афанасьев // Плодородие. - 2016. - № 3(90). - С. 2-6.

9. Фрумкин, Б.Е. Цифровизация сельского хозяйства: потенциал и проблемы / Б.Е.Фрумкин // Ломоносовские чтения-2018. Секция экономических наук «Цифровая экономика: человек, технологии, институты»: сборник статей. – М.: Экономический факультет МГУ имени М.В.Ломоносова, 2018. – С.250-252.

10. Цифровизация в сельском хозяйстве: технологические и экономические барьеры.13.09.2017 [Электронный ресурс]. URL: http://json.tv/ict_telecom_analytics_view/tsifrovizatsiya-v-selskomhozyaystve-tehnologicheskie-i-ekonomicheskie-barery-v-rossii-20170913024550 (дата обращения 20.02.2020).

11. 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 16.12.2019).

12. Gerhardt, C. Agriculture Is Fertile Ground for Digitization. / C. Gerhardt, D.Donnan D. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.foodqualityandsafety.com/article/agriculture-fertile-ground-digitization/> (дата обращения 18.02.2020).

13. Mc Bratney, A. Future directions of Precision Agriculture [Электронный ресурс] / A. Mc Bratney, B.Whelan, T.Ancev, J. Bouma // Precision Agriculture. - 2005. - № 6. – С.7-23. [Электронный ресурс]. URL: https://www.researchgate.net/publication/226724989_Future_Directions_of_Precision_Agriculture (дата обращения 15.02.2020).

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.