

НОВАЦИОННЫЕ ПРИЕМЫ РАЦИОНАЛЬНОГО ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ ПРИ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ЗЕМЛЕДЕЛИЯ НА ПАХОТНОПРИГОДНЫХ ПОЧВАХ СТЕПНОЙ ЗОНЫ УРАЛА И ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Ю.А. Гулянов, А.А. Чибилёв, С.В. Левыкин

Институт степи УрО РАН, Россия, Оренбург

e-mail: orensteppe@mail.ru

В статье представлены результаты оценки адаптивности реализуемых агротехнологий, их природоподобной и ресурсосберегающей направленности. Критериями оценки служили полнота и однородность формирования биологической массы полевых агроценозов посредством анализа пространственного распределения нормализованного разностного вегетационного индекса (NDVI). Объектом исследований выступали технологии возделывания полевых культур в традиционных и технологически инновационных модельных хозяйствах Курганской (КФХ «Иванов Н.Е.», ООО «Озерное»), Омской (КФХ «Люфт») областей и Алтайского края (ООО «Партнер»). Результаты проведенных исследований подтвердили высокую «пестроту» и низкую реализацию биологического потенциала выращиваемых культур при традиционных ресурсозатратных приемах возделывания. В качестве действенного средства повышения результативности полеводства, без усиления антропогенного прессинга, предложена оптимизация природоподобных ресурсосберегающих агроприемов и их адаптация в зональные системы земледелия. Они ориентированы на высокую реализацию биоклиматического потенциала, сохранение и расширенное воспроизводство почвенного плодородия, поддержание экологической безопасности прилегающих ландшафтов. Их внедрение способствует формированию более полной и однородной растительной массы, определяющей итоговую урожайность посевов и качество полученной продукции. Такие посевы характеризуются высокими значениями (0,75-0,80) NDVI и его меньшей полевой вариабельностью. Высока перспективность ландшафтообоснованного подхода к определению конфигураций полей (вписывание полей в естественный ландшафт) и насыщение севооборотов почвовосстанавливающими культурами (многолетние травы). Целесообразно использование высококачественного посевного материала и с.-х. техники, отказ от приемов агрессивной обработки почвы (вспашка, глубокое плоскорезное рыхление), мульчирование, переход к прямому посеву (No-till, Strip-till), выращивание жаростойких и засухоустойчивых скороспелых сортов местной селекции, внедрение прогрессивных способов уборки (очесывание). Не мене важны оптимизация отраслей растениеводства и животноводства, широкое применение органических удобрений и вермикомпостирование.

Ключевые слова: степная зона, рациональное природопользование, интенсификация земледелия, пахотнопригодные почвы, постцелинные регионы, Урал и Западная Сибирь.

Введение

При современном уровне развития пищевого производства и пищевых предпочтениях населения Земли обрабатываемые сельскохозяйственные угодья остаются важнейшим средством обеспечения продовольственной безопасности, оказывающей непосредственное влияние на экономическую устойчивость и социальную стабильность в мире [1-3].

Они являются основным «полигоном» по производству растительного пищевого сырья, и поддержание их продуктивности и безопасности входит в число главных стратегических приоритетов государств. Причем актуальность обозначенной проблемы

чрезвычайно высока не только для самых густонаселенных стран мира, к примеру Китая, с площадью пахотных земель на одного жителя (менее 0,1 га) значительно уступающей среднемировому показателю [4], но и менее населенных стран, включая Россию [5, 6].

К сожалению, стремительный рост населения Земли сопровождается повышенным потреблением природных ресурсов, ростом технологической нагрузки, снижением безопасности обрабатываемых земель и ведет к их экологической деградации [7, 8]. Она выражается в потере плодородия, фрагментации земельных участков и загрязнении почвенной среды [9, 10]. Значительно усиливают отмеченные негативные проявления устойчивое повышение засушливости климата [11, 12] и его чрезвычайная разбалансированность [13, 14], принявшие глобальный характер.

Отмеченные особенности современных условий производства растениеводческой продукции создают определенные трудности для высокой реализации биологического потенциала полевых культур и могут быть отнесены к одному из главных вызовов продовольственной безопасности.

В качестве выхода из сложившейся ситуации мировым и отечественным научным сообществом предлагается переход на ресурсосберегающие агротехнологии, способные существенно изменить условия ведения растениеводства и его главной отрасли – зернового хозяйства [15-18]. Исходя из их опыта внедрение новых технологий может значительно улучшить экономические и экологические показатели производства продукции растениеводства. При этом рациональное природопользование и минимальный экологический ущерб рассматриваются в качестве главной задачи при совершенствовании систем земледелия [19]. Их построение на ландшафтно-адаптивной основе предполагает обеспечение устойчивости почв и окружающих ландшафтов путем нормирования антропогенной нагрузки [20]. В дополнение к этому экологически сбалансированная интенсификация земледелия на пахотнопригодных почвах может способствовать выводу из обработки нарушенных и неустойчивых земель без ущерба для продовольственной безопасности [21].

По свидетельству отечественных учёных, занимающихся разработкой почвозащитных и влагосберегающих приёмов возделывания зерновых культур, ресурсосберегающие технологии имеют очевидный экологический и экономический эффект. Например, в черноземной степи Среднего Заволжья, они позволяют на 30-40 % снизить производственные затраты, в 1,5-2,0 раза сократить трудовые затраты и уменьшить расход топлива, существенно повысить рентабельность производства. При их реализации создаются лучшие условия для воспроизводства почвенного плодородия, исключается переуплотнение, снижаются риски деградационных процессов [22].

В Нижнем Поволжье замена энергозатратных традиционных технологий с глубокой обработкой почвы минимальными обработками с разбрасыванием измельченной соломенной мульчи снижает темпы минерализации гумуса и создает предпосылки к формированию его положительного баланса [23]. В степи Среднего Поволжья (Саратовская область) и Оренбургского Предуралья, южной лесостепи Республики Башкортостан, лесостепных агроландшафтах Челябинской области, лесостепи Приобья Алтайского края и многих других регионах РФ, минимизация обработки почвы повышает рентабельность производства, а также сопровождается значительным снижением расходов энергетических ресурсов и связанного с ними воздействия на окружающую среду, преимущественно в виде парниковых газов [24-29].

Аналогичные данные опубликованы учёными, проводившими исследования и в других влагодефицитных регионах мира, что свидетельствует об их перспективности и целесообразности в условиях современных климатических и антропогенных изменений [30, 31].

Для сухостепной зоны России особый интерес представляют технологии вообще без обработки почвы, с прямым посевом яровой пшеницы и других зерновых культур [32].

Принципиальная особенность прямого посева заключается в непосредственном врезании семян в почву по стерне предшествующей культуры после обработки поля гербицидами без какого-либо предшествующего механического воздействия на почву [33].

Исследования, проведенные в полевых агроландшафтах засушливых зон Ставропольского края [34], Нижнего Поволжья [35], Среднего Заволжья [36], Оренбургского Предуралья [37], Алтайского края [38] выявили существенные преимущества прямого посева, особенно в годы со значительным дефицитом атмосферного увлажнения. При таком подходе, за счёт сохранения стерни и укрытия поверхности поля измельченной соломой, улучшается водный режим почвы, обусловленный большим накоплением снега и лучшей утилизацией осенне-зимних осадков. В необрабатываемой много лет почве восстанавливается капиллярная сеть, увеличивается влагоемкость почвы, оптимизируется её плотность, что сопровождается прибавкой урожайности, повышается качество продукции.

Аналогичные результаты получены и зарубежными исследователями во влагодефицитных сельскохозяйственных территориях Австрии [39], на слабозасушливом Лессовом плато Китая [40], в засушливой провинции Фарс на юго-западе Ирана [41], в штате Колорадо США [42] и многих других территориях.

Как следует из представленной информации ресурсосберегающие приёмы возделывания полевых культур достаточно широко применяются в мировой и отечественной практике и их эффективность уже не вызывает сомнений. В тоже время нестабильность валовых сборов важнейших продовольственных культур в нашей стране, прежде всего зерновых, их зависимость от переменчивых климатических условий, указывают на необходимость постоянного совершенствования адаптивных технологических решений и их более активного внедрения в зональные агротехнологии. Нуждается в оперативной оптимизации и структура сельскохозяйственного землепользования, перенасыщенная обрабатываемыми земельными угодьями, в том числе низкопродуктивными маргинальными землями, в ущерб природным ландшафтам и биологическому разнообразию.

Наибольшей обостренностью указанных проблем характеризуются постцелинные степные регионы, традиционно специализирующиеся на выращивании продовольственного зерна и отличающиеся предельной распаханностью территории (табл. 1.)

Таблица 1. Структура сельскохозяйственного землепользования в постцелинных регионах Урала и Западной Сибири, на 1 января 2020 г.

Регион	Общая площадь региона, тыс. га	Сельскохозяйственные угодья		Обрабатываемые сельскохозяйственные угодья (пашня)		
		тыс. га	доля в общей площади региона, %	тыс. га	доля в площади с.-х. угодий, %	доля в общей площади региона, %
Республика Башкортостан	14295	7325	51,2	3663	50,0	25,6
Оренбургская область	12370	10813	87,4	6115	56,5	49,4
Челябинская область	8853	5094	57,5	3058	60,0	34,5
Курганская область	7149	4458	62,4	2403	53,9	33,6
Тюменская область	16012	3379	21,1	1289	38,1	8,1
Омская область	14114	6721	47,6	4157	61,8	29,4
Новосибирская область	17776	8399	47,3	3772	44,9	21,2
Алтайский край	16800	11004	65,5	6656	60,5	39,6
Всего	107368	57194	53,3	31112	54,4	29,0

Экстенсивная направленность структуры сельскохозяйственного землепользования постцелинных регионов и существующих подходов в земледелии нуждаются в переориентировании на рациональное природопользование по пути интенсификации земледелия на пахотнопригодных почвах и освобождения от бремени малопродуктивных земель.

В этой связи обобщение отечественных и зарубежных достижений реализации приемов рационального природопользования, выявление и актуализация передового опыта по возделыванию полевых культур в условиях природных и антропогенных изменений, повышающих стабильность зернового производства и обеспечивающих безопасность окружающей природной среды, сохраняют высокую актуальность для укрепления продовольственной безопасности населения.

Основная цель исследований заключалась в научном обосновании для постцелинных регионов Урала и Западной Сибири на базе технологически инновационных модельных хозяйств экологоориентированных интеллектуальных технологий выращивания экономически целесообразных урожаев основных полевых культур.

Для достижения намеченных результатов были сформулированы следующие задачи:

- актуализировать основные проблемы рационального природопользования при земледельческом использовании сельхозугодий в условиях современных природных и антропогенных вызовов;

- провести анализ и обобщение зарубежных и отечественных достижений в реализации агроприемов, основанных на рациональном и эффективном использовании природных ресурсов;

- оценить перспективность интерполяции инновационных технологических решений модельных хозяйств на другие территории постцелинного пространства Урала и Западной Сибири со схожими почвенно-климатическими и организационно-экономическими условиями.

Материалы и методы

Объектом исследований выступали технологии возделывания полевых культур в традиционных и технологически инновационных модельных хозяйствах постцелинных регионов Урала и Западной Сибири. В качестве перспективных технологических решений ресурсо- и природосберегающей направленности рассматривались новационные технологические подходы, реализуемые в КФХ «Иванов Н.Е» и ООО «Озёрное» Южной лесостепной зоны Курганской области, КФХ «Люфт» Южной лесостепной зоны Омской области и ООО КХ «Партнёр» Западно-Кулундинской зоны Алтайского края. Основными критериями оценки служили полнота и однородность формирования биологической массы посредством анализа пространственного распределения нормализованного разностного вегетационного индекса (NDVI) [43, 44]. Источником данных NDVI служили общедоступные космические снимки Landsat 8 и Santienel, имеющие пространственное разрешение 15-30 м/пиксел, размещённые на on-line ресурсах OneSoil.ai и Santienel-hub.com. Сведения об структуре сельскохозяйственного землепользования и валовых сборах зерна в разрезе отдельных регионов получали из открытых источников [45, 46]. Использовались также опросные материалы, результаты наблюдений и их обобщение в процессе экспедиционных исследований. При обработке цифрового материала применялись стандартные методы статистического анализа [47].

Результаты и обсуждение

В результате анализа эффективности растениеводства постцелинных регионов Урала и Западной Сибири за истекший двадцатилетний период выявлена значительная вариабельность валовых сборов зерновых и зернобобовых культур (рис. 1).

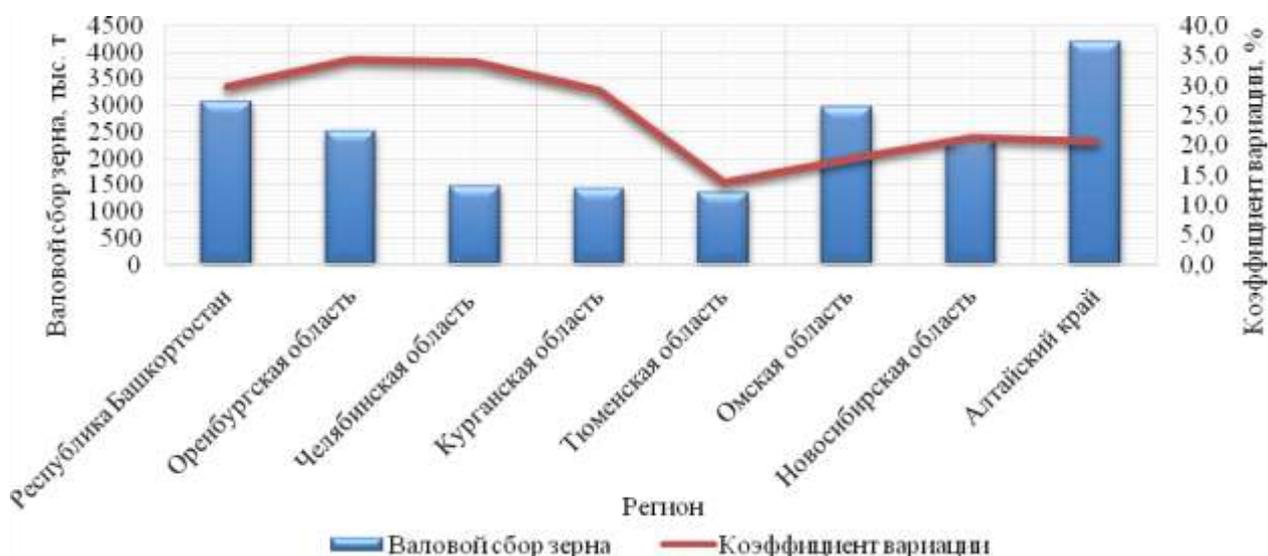


Рисунок 1 – Средняя величина и вариабельность валовых сборов зерна в постцелинных регионах Урала и Западной Сибири, 2002-2021 гг.

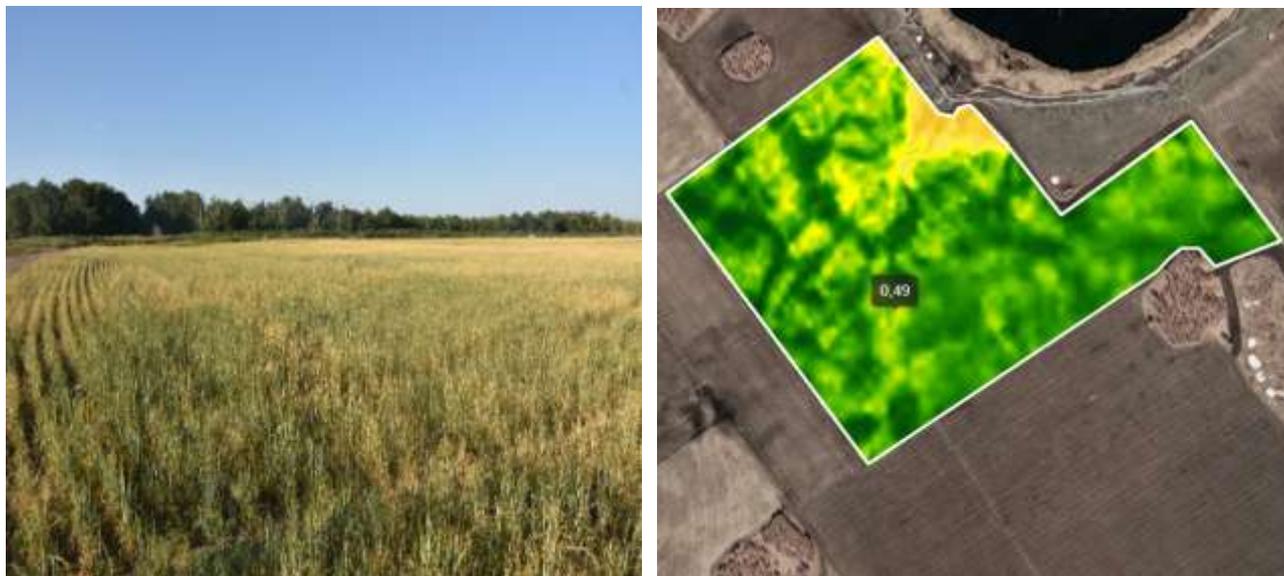
Размах вариации в целом по рассматриваемой территории составил более 12 млн т – от 25,2 млн т в относительно благоприятном по увлажнению 2017 г., до 13,2 млн т в острозасушливом, с повышенной солнечной инсоляцией 2010 г. Самой высокой изменчивостью валовых сборов отличаются уральские регионы – Республика Башкортостан, Оренбургская, Челябинская и Курганская области, характеризующиеся наибольшей разбалансированностью климата. Коэффициент вариации валовых сборов здесь колеблется на уровне 30-35 %. В регионах Западной Сибири изменчивость валовых сборов по годам также достаточно ощутима (18-21 %), хотя и на 12-14 п.п. (процентных пункта) ниже.

По итогам полевых выездов 2019-2021 гг. в хозяйствах постцелинной зоны Урала и Западной Сибири обследованы значительные площади обрабатываемых земледельческих угодий, характеризующихся высокой пестротой растительного покрова или общим низким уровнем его пространственного развития. Наиболее выраженная гетерогенность отмечена на сильно выработанных, истощенных, эродированных полях, особенно проявляющаяся при реализации низкоадаптивных технологических подходов в острозасушливые годы.

В качестве одного из таких полей можно рассмотреть гетерогенный земельный участок с чрезвычайно неоднородным агроценозом яровой пшеницы на чернозёме южном Степной почвенно-климатической зоны Омской области (Черлакский район). Различная интенсивность развития биологической массы по элементарным участкам поля вполне убедительно иллюстрируется вариативностью нормализованного разностного вегетационного индекса (NDVI) (рис. 2).

При средней по полю яровой пшеницы величине NDVI 0,54 единицы, свидетельствующей о низкой полноте формирования биологической массы, размах его вариации по элементарным участкам поля составил 0,64 единицы. От максимальных значений 0,77 до минимальных значений 0,13 единиц коэффициент вариации NDVI превысил 30,0 %. Визуализация гетерогенности растительного покрова указывает на значительную пространственную пестроту почвенного плодородия, определившего такой размах вариабельности.

Низкая полнота формирования биологической массы и ее значительная пространственная пестрота на многих полях выступают достаточно ощутимым фактором, лимитирующим урожайность и валовой сбор зерна. Нерешенность указанной проблемы, с целью компенсации недополученных валовых сборов, вынуждает и дальше сохранять в обработке малопригодные земли, в противовес курсу на ресурсосберегающее рациональное природопользование.



а

б

Рисунок 2 – Визуализация гетерогенности растительного покрова (а) и пространственная вариативность NDVI (б) по элементарным участкам поля яровой пшеницы, Омская область, Черлакский район, август 2020 г.

Вполне очевидно, что помимо пространственной вариации условий почвообразования, связанных с особенностями рельефа, влагообеспеченности, микроклимата и других факторов, особый отпечаток на однородность почвенных условий накладывает предшествующая земледельческая практика. К примеру, значительную пестроту влажности почвы, что в первую очередь становится причиной невыровненных всходов, неравномерности развития и созревания, высокой вариабельности урожайности, в условиях засушливости климата вызывает глубокая обработка почвы с оборотом пласта, иссушающая почву на большую глубину. Такими же последствиями сопровождается применение неисправных, выработавших свой ресурс сельскохозяйственных орудий, неподдающихся регулировке и настройке на требуемые параметры обработки почвы. Огромные потери влаги вызывает куртинная засоренность полей, оставленная на длительное время открытая поверхность поля. К пестроте почвенного плодородия приводит игнорирование севооборотов, монокультура и отказ от возмещения вынесенных урожаями элементов минерального питания, увлечение почвозатратными коммерческими культурами (подсолнечник) и ослабление технологического контроля.

Широко практикуемая ресурсозатратная направленность технологических приемов сопровождается прогрессирующей деградацией земельных угодий и формирует вполне осязаемые риски для прилегающих природных ландшафтов.

Продолжающаяся обработка неустойчивых и малопригодных для обработки почв приводит к стремительному сокращению естественных элементов ландшафтных структур, сохраняющихся в виде узких границ полей с полуестественными средами обитания [48].

Подмена интенсификации земледелия, основанной на мобилизации биологического потенциала полевых культур посредством внедрения ландшафтно-адаптивных систем земледелия, высокоурожайных засухоустойчивых и жаростойких сортов, возмещения выноса

элементов минерального питания внесением органических и минеральных удобрений, интегрированной защиты растений от болезней вредителей и сорняков и др., только интенсивной обработкой почвы и безвозмездной мобилизацией природных ресурсов, приводит к дестабилизации валовых сборов и сохранению в обработке не пахотнопригодных почв.

В условиях современных климатических изменений, связанных с усилением засушливости и учащением аномальных метеорологических проявлений, приводящих к снижению урожайности на больших площадях, целесообразно применение технологических приемов, направленных на сохранение и рациональное использование природных ресурсов, таких как минимальная обработка почвы, мульчирование поверхности пожнивными остатками, оптимальное соотношение в структуре посевов разнообразных биологических групп полевых культур и соблюдение севооборотов.

Следует признать, что активность внедрения указанных приемов рационального природопользования и повышения устойчивости обрабатываемых угодий в сельскохозяйственное производство не везде одинакова. Экономические приоритеты современного сельскохозяйственного производства вносят весомые коррективы в структуру посевных площадей и технологии выращивания полевых культур, зачастую не соответствующие экологической целесообразности и защите почв от антропогенной деградации.

Несмотря на приведенные, казалось бы, объективные обстоятельства, сопровождающиеся упрощенчеством и откровенными финансовыми приоритетами технологических предпочтений, в процессе экспедиционных обследований нами выявлены хозяйства, реализующие перспективные технологические решения ресурсо- и природосберегающей направленности. Нарботанный ими опыт может быть положен в основу разработки зональных агротехнологий, адаптированных к климатическим и антропогенным реалиям и других постцелинных регионов со схожими природными и социально-экономическими условиями.

В качестве перспективных технологических решений ресурсо- и природосберегающей направленности рассматривались новационные технологические подходы, сопровождающие высокой полнотой и однородностью развития биологической массы полевых культур, реализуемые в хозяйствах Курганской, Омской области и Алтайского края.

Земледелие Курганской области выделяется сочетанием трех элементов ландшафта, определяющих ее специфические особенности – озера, лесные колки и агроландшафты. Неповторимый облик зональным пейзажам придают вписанные в естественную природную среду поля, с сохранением внутри обрабатываемых участков даже небольших, представленных несколькими деревьями, колков или занимающие пригодные для обработки межозерные пространства (межозерное земледелие). Неминуемые при такой планировке земледельческих угодий технологические «нестыковки», связанные со сложностью применения широкозахватных сельскохозяйственных орудий, современных навигационных устройств, снижением производительности труда и др., компенсируются неоспоримыми преимуществами ландшафтно-адаптивных систем. К главным из них следует отнести формирование особого микроклимата, благоприятного для сельскохозяйственных культур и сохранение безопасной среды для степных обитателей, поддерживающее их биологическое разнообразие.

КФХ «Иванов Н.Е.» и ООО «Озёрное» зерно-животноводческой специализации расположены в Южной лесостепной почвенно-климатической зоне Курганской области, характеризующейся холодной и продолжительной малоснежной зимой, с частыми метелями и относительно коротким, но одновременно жарким летом, с периодически повторяющимися засухами. Почвенный покров земледельческих угодий представлен чернозёмами выщелоченными и чернозёмами обыкновенными мало- и среднегумусными с содержанием гумуса не выше 4,0-4,5 %, с низкой и средней обеспеченностью подвижным фосфором

(52,6-78,2 мг/кг) и очень высоким содержанием калия (207,6 мг/кг почвы). Зона характеризуется наличием большого количества озёр, встречаются залежи, периодически осваиваемые и забрасываемые вновь, что определяет специфику здешнего землепользования как межозёрно-залежного.

КФХ «Иванов Н.Е», располагающее 8000 га посевных площадей, отличается высокой культурой земледелия. Оно базируется на применении высокоурожайных неосыпающихся (Экада 109) и скороспелых (Исеть 45) сортов яровой пшеницы селекции Курганского НИИСХ, мульчировании, «курганской» технологии поверхностной обработки почвы без оборота пласта, глубоком плоскорезном рыхлении не чаще одного раза за ротацию севооборота (4-5 лет), бороновании игольчатыми боронами и посева стерновыми комплексами. Включенные в состав севооборотов бобовые травы (эспарцет песчаный и донник желтый) помимо кормового обеспечения молодняка КРС мясного направления способствуют поддержанию бездефицитного баланса гумуса, обогащая почву симбиотически связанным атмосферным азотом и пожнивными остатками, улучшают водный и воздушный режим почвы.

ООО «Озёрное», с присущим современному многоотраслевому сельскохозяйственному предприятию широким перечнем производств, в большей степени специализируется на выращивании зернобобовых, масличных, овощных культур, разведении молочного скота, овец, коз, свиней и глубокой переработке растениеводческой и животноводческой продукции. Реализуемые в хозяйстве агротехнологии научно обоснованы, характеризуются адаптивностью к метеорологическим и почвенным особенностям, включают приемы влагосберегающей обработки почвы (минимальная, no-till, strip-till), мульчирование пожнивными остатками, применение минеральных и органических удобрений, выращивание засухоустойчивых и жаростойких сортов. Широко применяются элементы точного земледелия. Они позволяют дифференцировать нормы технологического воздействия на различные элементарные участки поля, нивелировать гетерогенность почвенного покрова, защитить прилегающие ландшафты от чрезмерной агрохимической нагрузки. «Визитной карточкой» хозяйства являются высокопродуктивные агроценозы яровой пшеницы твердой и льна масличного, возделываемых по тщательно выверенным влагосберегающим технологиям в системах ландшафтно-адаптивного земледелия с использованием интеллектуальных приемов (рис. 3).

Анализ спутниковой информации подтвердил целесообразность применяемых технологических подходов, выразившуюся в формировании достаточно полной и однородной биологической массы яровой пшеницы мягкой. Вариативность нормализованного разностного вегетационного индекса (NDVI) в условиях КФХ «Иванов Н.Е» (2020 г.) при среднем отклонении по элементарным участкам поля равном 0,02 единицы, характеризовалась низким коэффициентом вариации, составившим 3,57 %. В посевах яровой пшеницы твердой в условиях ООО «Озёрное» (2021 г.), при достаточно высокой средней по полю величине NDVI (0,80), его пространственная изменчивость составила только 0,15 единиц с коэффициентом вариации 2,78 %.

Землепользование КФХ «Люфт» находится на нижней границе южной лесостепной природно-сельскохозяйственной зоны Омской области, также характеризующейся продолжительной и морозной зимой с неглубоким (до 35 см) снежным покровом, коротким жарким летом. Наиболее распространенными почвами являются чернозёмы обыкновенные, содержащие до 5,0-5,3 % гумуса, среднеобеспеченные подвижным фосфором, с высоким содержанием обменного калия [49].

В хозяйстве смешанная зерноживотноводческая специализация. Под выращивание растениеводческой продукции (зерна и кормов) ежегодно отводится более 22 тыс. га. Численность стада КРС на мраморную говядину составляет около 500 голов. Послеуборочная подработка зерна производится в собственном зерноочистительном комплексе, оборудованном современными зерноочистительными машинами решетного и

триерного типов, пневмосепараторами, разделителями зерна в световом потоке и магнитными уловителями. Использование на посев семян высоких репродукций с высокими посевными и урожайными свойствами является непререкаемым приоритетом хозяйства, организовавшего для этих целей специализированную лабораторию со штатом высокопрофессиональных специалистов и соответствующим оборудованием. Полевая всхожесть подготовленных ими семян превышает 90,0 %, что является чрезвычайно высоким показателем в постцелинном полеводстве. Через лабораторию ежегодно проходит более 30,0 тыс. т семян, в том числе 4-5 т семян пивоваренного ячменя, выращиваемого для собственного производства пивных напитков.



а



б



с



д

Рисунок 3 – Пространственная вариативность нормализованного вегетационного индекса (NDVI) по элементарным участкам поля яровой пшеницы и визуализация однородности растительного покрова в ландшафтно-адаптивных системах земледелия Курганской области, КФХ «Иванов Н.Е» Звериноголовского (а, б, 2020 г.) и ООО «Озёрное» Целинного районов (с, д, 2021 г.).

Характерной особенностью земледельческих технологий в КФХ «Люфт» Омской области является достаточно давний (с 1993 г.) отказ от обработок почвы, предполагающих агрессивное воздействие (вспашка и глубокое плоскорезное рыхление) и переход к прямому посеву в необработанную почву стерневыми сеялками, оборудованными стрельчатыми лапами. Наиболее перспективными и экономически целесообразными при выращивании зерновых культур в последние десятилетия (начиная с 2000-2005 г.) здесь признаны технологии прямого посева (No-till) сеялками с дисковыми и анкерными сошниками, исключая сплошное подрезание почвы. Для этих целей используют сеялки отечественного производства СЗС-2,1 или их модификации и зарубежные марки John Deere.

При таком посеве укрытый измельченными пожнивными остатками поверхностный слой почвы не подвергается интенсивной обработке, лучше противостоит эрозии, способен лучше впитывать и удерживать большее количество влаги [50].

С целью компенсации вынесенных урожаями элементов минерального питания (NPK) предпочтение отдается органическим удобрениям, агрохимикаты (кроме гербицидов и инсектицидов) используются в исключительных случаях, чаще как стартовые удобрения. Практикуется разведение калифорнийских червей, осваиваются производство вермигумуса и вермикомпостирование. Достаточно развитое животноводство (КРС мясного и молочного направления) способствует увеличению доли кормовых культур в структуре посевных площадей, представленных однолетними и многолетними травами, восстанавливающими зернистую структуру почвы, характерную для естественных степных угодий. В насыщенных природоподобными приемами зональных технологиях основа урожая закладывается в высококачественном семенном материале (включая семена трав), поддержании оптимальных физических и химических свойств почвы за счет внесения органики (навоза), тщательной технологической дисциплины. При минимальном использовании средств химизации такой подход обеспечивает получение стабильных урожаев кормовых, технических культур и зерна продовольственного назначения не ниже II класса.

Перечисленные технологические подходы адаптированы с естественным колочным ландшафтом, что на встроенных в него полях оптимизирует микроклимат, сдерживает разгул суховея, пыльных бурь и задерживает снег.

Достаточно активно внедряется уборка зерновых культур (кроме гороха и сои, требующих специальных жаток) методом очесывания, позволяющая приблизить архитектуру агроландшафта к естественному ландшафту. В нём практически полностью сохраняется стеблестой, защищающий почву от выдувания, чрезмерного испарения, накапливающий снег, регулирующий снеготаяние и способствующий лучшему впитыванию влаги. Длительная практика указанных технологических подходов способствует активному сдерживанию деградационных процессов в почве, улучшению её физических и биологических свойств, что сопровождается относительно стабильной урожайностью, не зависящей только от «капризов» погоды.

Детальная интерпретация спутниковых снимков подтвердила формирование достаточно развитой и однородной биологической массы в посевах различных культур, возделываемых с применением указанных выше технологических приемов. Так в посевах овса (рис. 4) вариативность нормализованного разностного вегетационного индекса (NDVI) по элементарным участкам поля характеризовалась стандартным отклонением 0,04 с коэффициентом вариации 5,40 %.



а



б

Рисунок 4 – Уборка овса очесывающими жатками (а) и пожнивные остатки на поле овса (б) в ООО «Люфт» Азовского немецкого национального района Омской области, 12 августа 2020 г.

ООО КХ «Партнёр» расположено в сухой равнинной Кулундинской степи Алтайского края, отличающейся высокой вероятностью лет с острым дефицитом влаги (80 %) и большой амплитудой минимальных ($-47-57^{\circ}\text{C}$) и максимальных ($+38-41^{\circ}\text{C}$) температур в течение года. Среднегодовое количество осадков варьирует от 250 до 320 мм из которых 160-180 мм выпадает в течение вегетации. Почвенный покров представлен каштановыми солонцеватыми почвами, сильно подверженными ветровой эрозии. Содержание гумуса в них составляет около 3,0 %, обеспеченность подвижным фосфором средняя и обменным калием – высокая.

ООО КХ «Партнёр» с показательными результатами производственной деятельности выделяется в череде описанных выше модельных хозяйств тесным контактом с наукой в лице Алтайских государственного и аграрного университетов. Его база традиционно используется в реализации крупных краевых и международных новационных проектов, как в растениеводческой отрасли, так и в животноводстве. В хозяйстве на долгосрочной основе заложены полевые и степные полигоны по изучению новационных приёмов землепользования, направленных на повышение устойчивости обрабатываемых земель и восстановление деградированных пастбищ в условиях меняющегося климата (рис. 5).



а



б



с



д

Рисунок 5 – Полевые (а), степные (б) научные полигоны, посевы озимой пшеницы (с) и мульчированная обработка почвы (д) в ООО «Партнёр» Михайловского района Алтайского края, 14 сентября 2019 г.

В земледелии широко практикуются консервирующие технологии обработки почвы, наиболее подходящие для эффективного управления плодородием почвы [51], способствующие в условиях засушливой степи Алтайского края сохранению и рациональному использованию скудных ресурсов влаги при существенном сокращении затрат на обработку.

Наиболее перспективными в этом отношении признаны технологии осенней полосной обработки почвы (strip-till), практически не нарушающей поверхность почвы, с внесением минеральных удобрений. Их применение рассматривается также в качестве одного из направлений снижения темпов деградации почвы от воздействия рабочих органов орудий, применяемых для интенсивной обработки (вспашки) и пересушенных степных ветров, вызывающих дефляцию. При таком подходе высев семян пропашных культур весной следующего года (кукуруза, подсолнечник) осуществляется непосредственно в обработанную с осени полосу, не нарушая целостности не обработанного почвенного покрова. При этом более 30 % поверхности почвы остается покрыто пожнивными остатками, защищающими почвенную влагу от чрезмерного испарения при активной солнечной инсоляции. Длительное применение в севообороте полосной обработки почвы под пропашные культуры способствует восстановлению естественной плотности почвы, повышает её водопоглотительную и водоудерживающую способность, нивелирует пространственную неоднородность, чем создаёт оптимальные условия для формирования выравненных полевых агроценозов.

Из различных вариантов осенней обработки почвы, опробованных в хозяйстве – нулевой, поверхностной мульчированной, минимальной на среднюю рабочую глубину и интенсивной, применение полосной обработки на глубину 0,32 м с внесением минеральных удобрений в дозе 100 кг/га сопровождается и большим экономическим эффектом, выражающемся в повышении урожайности на 9,3-13,5 % при существенной экономии затрат [51].

Приведенные результаты производственной деятельности модельных хозяйств постстепных регионов Урала и Западной Сибири подтверждают актуальность научного поиска новационных приемов рационального природопользования и повышения устойчивости обрабатываемых угодий, более полной реализации генетических ресурсов полевых культур, сохранения целостности окружающей среды и степного биоразнообразия.

Выводы

В постцелинных регионах Урала и Западной Сибири действенным средством повышения уровня реализации биологического потенциала выращиваемых культур, без усиления антропогенного прессинга на прилегающие ландшафты, следует рассматривать оптимизацию природоподобных ресурсосберегающих агроприемов и их адаптацию в зональные системы земледелия. Они ориентированы на высокую реализацию биоклиматического потенциала, сохранение и расширенное воспроизводство почвенного плодородия, поддержание биологического разнообразия степных обитателей. Их внедрение способствует формированию более полной и однородной растительной массы, определяющей итоговую урожайность посевов и качество полученной продукции. Такие посевы характеризуются высокими значениями (0,75-0,80) нормализованного разностного вегетационного индекса (NDVI) и его меньшей полевой вариабельностью. Высока перспективность ландшафтообоснованного подхода к определению конфигураций полей (вписывание полей в естественный ландшафт) и насыщение севооборотов почвосстанавливающими культурами (многолетние травы). Целесообразно использование высококачественного посевного материала и с.-х. техники, отказ от приемов агрессивной обработки почвы (вспашка, глубокое плоскорезное рыхление), мульчирование, переход к прямому посеву (No-till, Strip-till), выращивание жаростойких и засухоустойчивых скороспелых сортов местной селекции, внедрение прогрессивных способов уборки (очесывание). Не мене важны оптимизация отраслей растениеводства и животноводства, широкое применение органических удобрений и вермикомпостирование.

Благодарности

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда «Географические основы пространственного развития земледельческих постцелинных регионов Урала и Сибири» № 20-17-00069.

Список литературы

1. Lai Z., Chen M., Liu T. Changes in and prospects for cultivated land use since the reform and opening up in China // Land Use Policy. 2020. vol. 97. p. 104781.
2. Фудина Е.В. Развитие сельского хозяйства и продовольственная безопасность России // Успехи современной науки. 2015. № 5. С. 55-57.
3. Сулайманова Д.К., Маткеримова А.М. Продовольственная безопасность – основа жизнедеятельности людей // Экономика устойчивого развития. 2021. № 1(45). С. 131-134.
4. Zhou Y., Li X., Liu Y. Cultivated land protection and rational use in China // Land Use Policy. 2021. vol. 106. p. 105454.
5. Митрофанов Д.В. Повышение плодородия почвы и пути его сбережения на черноземах южных Оренбургского Предуралья // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2012. № 5(37). С. 27-30.
6. Степанова Л.П., Петелько А.И., Наконечный А.Г., Халимон С.Ю. Агроэкологическая оценка эффективности различных систем удобрения и контурных лесозащитных полос при воспроизводстве плодородия склоновых почв // Плодородие. 2020. № 1(112). С. 49-54.
7. Dengiz O., Baskan O. Land quality assessment and sustainable land use in Salt Lake specially protected area // Environmental Monitoring and Assessment. 2009. vol. 148. pp. 233-243.
8. Евдохина О.С. Мониторинг состояния земель сельскохозяйственного назначения и оценка использования технологических приемов почвозащитной системы

землепользователями Омской области // Актуальные вопросы современной экономики. 2020. № 6. С. 182-192.

9. Janus J. Measuring land fragmentation considering the shape of transportation network: A method to increase the accuracy of modeling the spatial structure of agriculture with case study in Poland // Computers and Electronics in Agriculture. 2018. vol. 148. pp. 259-271.

10. Безуглова О.С., Ильинская И.Н., Закруткин В.Е., Назаренко О.Г., Литвинов Ю.А., Гаевая Э.А., Меженков А.А., Жумбей А.И. Динамика деградации земель в Ростовской области // Известия Российской академии наук. Серия географическая. 2022. Т. 86. № 1. С. 41-54.

11. Collins B., Chenu K. Improving productivity of Australian wheat by adapting sowing date and genotype phenology to future climate // Climate Risk Management. 2021. vol. 32. p. 100300.

12. Сапанов М.К. Особенности и экологические последствия потепления климата в полупустыне Северного Прикаспия // Поволжский экологический журнал. 2021. № 1. С. 64-78.

13. Das J., Poonia V., Jha S., Kumar Goyal M. Understanding the climate change impact on crop yield over Eastern Himalayan Region: ascertaining GCM and scenario uncertainty // Theoretical and Applied Climatology. 2020. vol. 142. pp. 467-482.

14. Gulyanov Yu.A., Chibilyov A.A., Levykin S.V., Yakovlev I.V. Modern climatic resources of the farming post-virgin land regions in Ural and West Siberia and their agricultural assessment // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. vol. 624. p. 012226.

15. Максютов Н.А., Жданов В.М., Скороходов В.Ю., Кафтан Ю.В., Митрофанов Д.В., Зенкова Н.А., Жижин В.Н. Влагосберегающие приемы и технологии в земледелии Оренбуржья. 2015. № 6. С. 67-72.

16. Милюткин В.А., Стребков Н.Ф., Соловьев С.А., Макаровская З.В. Технические решения для технологий No-till и Strip-till // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2014. № 6(50). С. 61-63.

17. De Vita P., Di Paolo E., Fecondo G., Di Fonzo N., Pisante M. No-tillage and conventional tillage effects on durum wheat yield, grain quality and soil moisture content in southern Italy // Soil and Tillage Research. 2007. vol. 92. no. 1-2. pp. 69-78.

18. Hatfield J.L., Sauer T.J., Prueger J.H. Managing soils to achieve greater water use efficiency // Agronomy Journal. 2001. vol. 93. no. 2. pp. 271-280.

19. Tyler H.L. Winter cover crops and no till management enhance enzyme activities in soybean field soils // Pedobiologia. 2020. vol. 81-82. pp. 150666.

20. Беляков А.М., Назарова М.В. Агрорландшафты и технологии засушливого земледелия // Научно-агрономический журнал. 2018. № 1(102). С. 35-39.

21. Гулянов Ю.А., Чибилёв (мл.) А.А., Чибилёв А.А., Левыкин С.В. Проблемы адаптации степного землепользования к антропогенным и климатическим изменениям (на примере Оренбургской области) // Известия Российской академии наук. Серия географическая. 2022. Т. 86. № 1. С. 28-40.

22. Корчагин В.А., Горянин О.И. Почвозащитные и влагосберегающие технологии возделывания яровых зерновых культур // Аграрный вестник Юго-Востока. 2009. № 2(2). С. 43-44.

23. Шабаев А.И. Ресурсосберегающие технологии возделывания озимой пшеницы в агрорландшафтах Поволжья // Земледелие. 2009. № 4. С. 13-15.

24. Денисов Е.П., Солодовников А.П., Четвериков Ф.П., Гарбаев Ю.А. Влияние приемов минимизации обработки почвы и применения гербицидов на продуктивность ячменя в Поволжье // Нива Поволжья. 2013. № 1(26). С. 7-11.

25. Аношкин П.А., Васильев И.В., Скороходов В.Ю. Эффективность применения ресурсосберегающих технологий возделывания яровой мягкой пшеницы в условиях

Оренбургского Предуралья // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2016. № 3(59). С. 15-16.

26. Сергеев В.С., Ибрагимова Г.Х. Экономическая эффективность ресурсосберегающих способов обработки почвы // Аграрный вестник Урала. 2010. № 3(69). С. 52-53.

27. Агеев А.А. Совершенствование минимизации обработки почвы в Челябинской области // Вестник Курганской ГСХА. 2021. № 2(38). С. 3-9.

28. Синещев В.Е., Васильева Н.В., Дудкина Е.А. Экономические аспекты почвозащитной системы земледелия в лесостепи Приобья // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2011. № 3-4(219). С. 5-11.

29. Манылова О.В., Жаркова С.В. Влияние приемов минимизации обработки почвы на эффективность возделывания яровой пшеницы // Экономика и бизнес: теория и практика. 2020. № 10-2(68). С. 47-49.

30. Afshar R.K., Dekamin M. Sustainability assessment of corn production in conventional and conservation tillage systems // Journal of Cleaner Production. 2022. vol. 351. pp. 131508.

31. Barut Z.B., Ertekin C., Karaagac H.A. Tillage effects on energy use for corn silage in Mediterranean Coastal of Turkey // Energy. 2011. no. 36(9). pp. 5466-5475.

32. Kuhling I., Redozubov D., Broll G., Trautz D. Impact of tillage, seeding rate and seeding depth on soil moisture and dryland spring wheat yield in Western Siberia // Soil and Tillage Research. 2017. vol. 170. pp. 43-52.

33. Islam R., Reeder R. No-till and conservation agriculture the United States: An example from the David Brand farm, Carrol, Ohio // International Soil and Water Conservation Research. 2014. vol. 2. no. 1. pp. 97-107.

34. Дорожко Г.Р., Пенчуков В.М., Власова О.И., Бородин Д.Ю. Прямой посев полевых культур – одно из направлений биологизированного земледелия // Вестник АПК Ставрополя. 2011. № 2(2). С. 7-11.

35. Сухов А.Н., Плескачев Ю.Н., Борисенко И.Б., Беляков А.М. Прямой посев как основной элемент сберегающего земледелия // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2012. № 4(28). С. 54-57.

36. Горянин О.И., Щербинина Е.В. Прямой посев яровой твердой пшеницы в Среднем Заволжье // Успехи современного естествознания. 2018. № 10. С. 45-49.

37. Бакиров Ф.Г., Поляков Д.Г., Халин А.В., Баландина А.А. Прямой посев и No-till в Оренбуржье // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2018. № 5(73). С. 50-54.

38. Беляев В.И., Вольнов В.В., Рудев Н.В., Соколова Л.В. Оценка эффективности различных типов высевующих сошников при прямом посеве яровой пшеницы в условиях степной зоны Алтайского края // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2016. № 8(42). С. 143-148.

39. Liebhard G., Klik A., Neugschwandtner R.W., Nolz R. Effects of tillage systems on soil water distribution, crop development, and evaporation and transpiration rates of soybean // Agricultural Water Management. 2022. vol. 269. pp. 107719.

40. Peng Z., Wang L., Xie J., Li L., Coulter J.A., Zhang R., Luo Z., Cai L., Carberry P., Whitbread A. Conservation tillage increases yield and precipitation use efficiency of wheat on the semi-arid Loess Plateau of China // Agricultural Water Management. 2020. vol. 231. p. 106024.

41. Roozbeh M., Rajaie M. Effects of residue management and nitrogen fertilizer rates on accumulation of soil residual nitrate and wheat yield under no-tillage system in south-west of Iran // International Soil and Water Conservation Research. 2021. vol. 9. no. 1. pp. 116-126.

42. Melman D.A., Kelly C., Schneekloth J., Calderon F., Fonte S.J. Tillage and residue management drive rapid changes in soil macrofauna communities and soil properties in a semiarid cropping system of Eastern Colorado // Applied Soil Ecology. 2019. vol. 143. pp. 98-106.

43. Гулянов Ю.А. Перспективы использования информационных ресурсов ДЗЗ для управления продукционным процессом полевых культур // Земледелие. 2022. № 2. С. 26-31.
44. Gulyanov Yu. A. Scientific bases of principles estimating a state of the vegetation cover in steppe agrocenoses using innovative methods of smart agriculture // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Ninth International Symposium “Steppes of Northern Eurasia”, Orenburg, 07-11.06.2021. IOP Publishing. 2021. vol. 817. pp. 012039.
45. ЕМИСС. Государственная статистика. Площадь сельскохозяйственных угодий. Валовой сбор сельскохозяйственных культур [Электронный ресурс]. URL: <https://www.fedstat.ru/indicator/30950> (дата обращения: 20.06.2022).
46. Регионы России. Социально-экономические показатели. 2020: Стат. сб. / Росстат. М., 2020. 1242 с. [Электронный ресурс]. URL: <https://rosstat.gov.ru/folder/210/document/13204> (дата обращения: 10.04.2022).
47. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.
48. Eigner A.E., Nuppenau E.A. Applied spatial approach of modeling field size changes based on a consideration of farm and landscape interrelation // Agricultural Systems. 2019. no. 176. pp. 102648.
49. Красницкий В.М., Шмидт А.Г., Шойкин О.Д. Оценка состояния плодородия почв в Омской области // Плодородие. 2017. № 4(9). С. 27-29.
50. Berner, A., Hildermann, I., Fliebbach, A., Pfiffner, L., Niggli, U., Mader, A. Crop yield and soil fertility response to reduced tillage under organic management // Soil and Tillage Research. 2008. no. 101(1-2). pp. 89-96.
51. Тиссен Р., Беляев В.И., Кузнецов В.Н., Соколова Л.В. Оценка эффективности затрат при реализации полосовой технологии осенней обработки почвы в условиях засушливой степи Алтайского края // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2017. № 9(155). С.18-23.

Конфликт интересов: Автор декларирует отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Поступила в редакцию 22.06.2022

Принята к публикации 21.09.2022

**INNOVATIVE METHODS OF RATIONAL NATURE MANAGEMENT IN THE
INTENSIFICATION OF AGRICULTURE ON ARABLE SOILS OF THE STEPPE ZONE
OF THE URALS AND WESTERN SIBERIA**

Yu. Gulyanov, A. Chibilyov, S. Levykin

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

e-mail: orensteppe@mail.ru

The article presents the results of assessing the adaptability of implemented agricultural technologies, their nature-like and resource-saving orientation. The evaluation criteria were the completeness and uniformity of the formation of the biological mass of field agrocenoses by analyzing the spatial distribution of the normalized difference vegetation index (NDVI). The object of research was the technology of cultivation of field crops in traditional and technologically innovative model farms of the Kurgan (FE “Ivanov N.E.”, “Ozernoye” LLC), Omsk (FE “Lyuft”) regions and the Altai Territory (LLC “Partner”). The results of the carried studies confirmed the high “diversity” and low realization of the biological potential of cultivated crops with traditional resource-intensive cultivation methods. The optimization of nature-like resource-saving agricultural

practices and their adaptation to zonal farming systems is proposed as an effective means of increasing the effectiveness of field farming, without rising anthropogenic pressure. They are focused on the high realization of the bioclimatic potential, the preservation and expanded reproduction of soil fertility, and the maintenance of the ecological safety of adjacent landscapes. Their introduction contributes to the formation of a more complete and homogeneous plant mass, which determines the final yield of crops and the quality of the resulting products. Such crops are characterized by high values (0.75-0.80) of NDVI and its lower field variability. The landscape-based approach determining field configurations (fitting fields into the natural landscape) and saturation of crop rotations with soil-restoring crops (perennial grasses) is highly promising. The use of high-quality sowing material and agricultural machines, abandoning the methods of aggressive tillage (plowing, deep flat loosening), mulching, switching to direct sowing (No-till, Strip-till), growing heat-resistant and drought-resistant early-ripening varieties of local selection, introducing progressive harvesting methods (combing) are reasonable. The optimization of crop and livestock industries, the widespread use of organic fertilizers and vermicomposting are important.

Key words: steppe zone, rational nature management, intensification of agriculture, arable soils, post-virgin regions, the Urals and Western Siberia.

References

1. Lai Z., Chen M., Liu T. Changes in and prospects for cultivated land use since the reform and opening up in China. *Land Use Policy*. 2020. vol. 97. p. 104781.
2. Fudina E.V. Razvitie sel'skogo khozyaistva i prodovol'stvennaya bezopasnost' Rossii. *Uspekhi sovremennoi nauki*. 2015. N 5. S. 55-57.
3. Sulaimanova D.K., Matkerimova A.M. Prodoval'stvennaya bezopasnost' – osnova zhiznedeyatel'nosti lyudei. *Ekonomika ustoichivogo razvitiya*. 2021. N 1(45). S. 131-134.
4. Zhou Y., Li X., Liu Y. Cultivated land protection and rational use in China. *Land Use Policy*. 2021. vol. 106. p. 105454.
5. Mitrofanov D.V. Povyshenie plodorodiya pochvy i puti ego sbrezheniya na chernozemakh yuzhnykh Orenburgskogo Predural'ya. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2012. N 5(37). S. 27-30.
6. Stepanova L.P., Petel'ko A.I., Nakonechnyi A.G., Khalimon S.Yu. Agroekologicheskaya otsenka effektivnosti razlichnykh sistem udobreniya i konturnykh lesozashchitnykh polos pri vosproizvodstve plodorodiya sklonovykh pochv. *Plodorodie*. 2020. N 1(112). S. 49-54.
7. Dengiz O., Baskan O. Land quality assessment and sustainable land use in Salt Lake specially protected area. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2009. vol. 148. pp. 233-243.
8. Evdokhina O.S. Monitoring sostoyaniya zemel' sel'skokhozyaistvennogo naznacheniya i otsenka ispol'zovaniya tekhnologicheskikh priemov pochvozashchitnoi sistemy zemlepol'zovatelyami Omskoi oblasti. *Aktual'nye voprosy sovremennoi ekonomiki*. 2020. N 6. S. 182-192.
9. Janus J. Measuring land fragmentation considering the shape of transportation network: A method to increase the accuracy of modeling the spatial structure of agriculture with case study in Poland. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2018. vol. 148. pp. 259-271.
10. Bezuglova O.S., Il'inskaya I.N., Zakrutkin V.E., Nazarenko O.G., Litvinov Yu.A., Gaevaya E.A., Mezhenkov A.A., Zhumbei A.I. Dinamika degradatsii zemel' v Rostovskoi oblasti. *Izvestiya Rossiiskoi akademii nauk. Seriya geograficheskaya*. 2022. T. 86. N 1. S. 41-54.
11. Collins B., Chenu K. Improving productivity of Australian wheat by adapting sowing date and genotype phenology to future climate. *Climate Risk Management*. 2021. vol. 32. p. 100300.
12. Sapanov M.K. Osobennosti i ekologicheskie posledstviya potepleniya klimata v polupustyne Severnogo Prikaspiya. *Povolzhskii ekologicheskii zhurnal*. 2021. N 1. S. 64-78.

1. 13 Das J., Poonia V., Jha S., Kumar Goyal M. Understanding the climate change impact on crop yield over Eastern Himalayan Region: ascertaining GCM and scenario uncertainty. *Theoretical and Applied Climatology*. 2020. vol. 142. pp. 467-482.
2. 14 Gulyanov Yu.A., Chibilyov A.A., Levykin S.V., Yakovlev I.V. Modern climatic resources of the farming post-virgin land regions in Ural and West Siberia and their agricultural assessment. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021. vol. 624. p. 012226.
15. Maksyutov N.A., Zhdanov V.M., Skorokhodov V.Yu., Kaftan Yu.V., Mitrofanov D.V., Zenkova N.A., Zhizhin V.N. Vlagosberegayushchie priemy i tekhnologii v zemledelii Orenburzh'ya. 2015. N 6. S. 67-72.
16. Milyutkin V.A., Strebkov N.F., Solov'ev S.A., Makarovskaya Z.V. Tekhnicheskie resheniya dlya tekhnologii No-till i Strip-till. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2014. N 6(50). S. 61-63.
17. De Vita P., Di Paolo E., Fecondo G., Di Fonzo N., Pisante M. No-tillage and conventional tillage effects on durum wheat yield, grain quality and soil moisture content in southern Italy. *Soil and Tillage Research*. 2007. vol. 92. no. 1-2. pp. 69-78.
18. Hatfield J.L., Sauer T.J., Prueger J.H. Managing soils to achieve greater water use efficiency. *Agronomy Journal*. 2001. vol. 93. no. 2. pp. 271-280.
19. Tyler H.L. Winter cover crops and no till management enhance enzyme activities in soybean field soils. *Pedobiologia*. 2020. vol. 81-82. pp. 150666.
20. Belyakov A.M., Nazarova M.V. Agrolandshafty i tekhnologii zasushlivogo zemledeliya. *Nauchno-agronomicheskii zhurnal*. 2018. N 1(102). S. 35-39.
21. Gulyanov Yu.A., Chibilev (ml.) A.A., Chibilev A.A., Levykin S.V. Problemy adaptatsii stepnogo zemlepol'zovaniya k antropogennym i klimaticheskim izmeneniyam (na primere Orenburgskoi oblasti). *Izvestiya Rossiiskoi akademii nauk. Seriya geograficheskaya*. 2022. T. 86. N 1. S. 28-40.
22. Korchagin V.A., Goryanin O.I. Pochvozashchitnye i vlagosberegayushchie tekhnologii vozdeyvaniya yarovykh zernovykh kul'tur. *Agrarnyi vestnik Yugo-Vostoka*. 2009. N 2(2). S. 43-44.
23. Shabaev A.I. Resursosberegayushchie tekhnologii vozdeyvaniya ozimoi pshenitsy v agrolandshaftakh Povolzh'ya. *Zemledelie*. 2009. N 4. S. 13-15.
24. Denisov E.P., Solodovnikov A.P., Chetverikov F.P., Tarbaev Yu.A. Vliyanie priemov minimizatsii obrabotki pochvy i primeneniya gerbitsidov na produktivnost' yachmenya v Povolzh'e. *Niva Povolzh'ya*. 2013. N 1(26). S. 7-11.
25. Anoshkin P.A., Vasil'ev I.V., Skorokhodov V.Yu. Effektivnost' primeneniya resursosberegayushchikh tekhnologii vozdeyvaniya yarvoi myagkoi pshenitsy v usloviyakh Orenburgskogo Predural'ya. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2016. № 3(59). S. 15-16.
26. Sergeev V.S., Ibragimova G.Kh. Ekonomicheskaya effektivnost' resursosberegayushchikh sposobov obrabotki pochvy. *Agrarnyi vestnik Urala*. 2010. № 3(69). S. 52-53.
27. Ageev A.A. Sovershenstvovanie minimizatsii obrabotki pochvy v Chelyabinskoi oblasti. *Vestnik Kurganskoi GSKhA*. 2021. № 2(38). S. 3-9.
28. Sineshchekov V.E., Vasil'eva N.V., Dudkina E.A. Ekonomicheskie aspekty pochvozashchitnoi sistemy zemledeliya v lesostepi Priob'ya. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki*. 2011. № 3-4(219). S. 5-11.
29. Manylova O.V., Zharkova S.V. Vliyanie priemov minimizatsii obrabotki pochvy na effektivnost' vozdeyvaniya yarvoi pshenitsy. *Ekonomika i biznes: teoriya i praktika*. 2020. N 10-2(68). S. 47-49.
30. Afshar R.K., Dekamin M. Sustainability assessment of corn production in conventional and conservation tillage systems. *Journal of Cleaner Production*. 2022. vol. 351. pp. 131508.

31. Barut Z.B., Ertekin C., Karaagac H.A. Tillage effects on energy use for corn silage in Mediterranean Coastal of Turkey. *Energy*. 2011. no. 36(9). pp. 5466-5475.
32. Kuhling I., Redozubov D., Broll G., Trautz D. Impact of tillage, seeding rate and seeding depth on soil moisture and dryland spring wheat yield in Western Siberia. *Soil and Tillage Research*. 2017. vol. 170. pp. 43-52.
33. Islam R., Reeder R. No-till and conservation agriculture the United States: An example from the David Brand farm, Carrol, Ohio. *International Soil and Water Conservation Research*. 2014. vol. 2. no. 1. pp. 97-107.
34. Dorozhko G.R., Penchukov V.M., Vlasova O.I., Borodin D.Yu. Pryamoi posev polevykh kul'tur – odno iz napravlenii biologizirovannogo zemledeliya. *Vestnik APK Stavropol'ya*. 2011. N 2(2). S. 7-11.
35. Sukhov A.N., Pleskachev Yu.N., Borisenko I.B., Belyakov A.M. Pryamoi posev kak osnovnoi element sberegayushchego zemledeliya. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professional'noe obrazovanie*. 2012. N 4(28). S. 54-57.
36. Goryanin O.I., Shcherbinina E.V. Pryamoi posev yarovoi tverdoi pshenitsy v Srednem Zavolzh'. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya*. 2018. N 10. S. 45-49.
37. Bakirov F.G., Polyakov D.G., Khalin A.V., Balandina A.A. Pryamoi posev i No-till v Orenburzh'e. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2018. N 5(73). S. 50-54.
38. Belyaev V.I., Vol'nov V.V., Rudev N.V., Sokolova L.V. Otsenka effektivnosti razlichnykh tipov vysevayushchikh soshnikov pri pryamom poseve yarovoi pshenitsy v usloviyakh stepnoi zony Altaiskogo kraya. *Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2016. N 8(42). S. 143-148.
39. Liebhard G., Klik A., Neugschwandtner R.W., Nolz R. Effects of tillage systems on soil water distribution, crop development, and evaporation and transpiration rates of soybean. *Agricultural Water Management*. 2022. vol. 269. pp. 107719.
40. Peng Z., Wang L., Xie J., Li L., Coulter J.A., Zhang R., Luo Z., Cai L., Carberry P., Whitbread A. Conservation tillage increases yield and precipitation use efficiency of wheat on the semi-arid Loess Plateau of China. *Agricultural Water Management*. 2020. vol. 231. p. 106024.
41. Roozbeh M., Rajaie M. Effects of residue management and nitrogen fertilizer rates on accumulation of soil residual nitrate and wheat yield under no-tillage system in south-west of Iran. *International Soil and Water Conservation Research*. 2021. vol. 9. no. 1. pp. 116-126.
42. Melman D.A., Kelly C., Schneekloth J., Calderon F., Fonte S.J. Tillage and residue management drive rapid shanges in soil macrofauna communities and soil properties in a semiarid cropping system of Eastern Colorado. *Applied Soil Ecology*. 2019. vol. 143. pp. 98-106.
43. Gulyanov Yu.A. Perspektivy ispol'zovaniya informatsionnykh resursov DZZ dlya upravleniya produktsionnym protsessom polevykh kul'tur. *Zemledelie*. 2022. N 2. S. 26-31.
44. Gulyanov Yu. A. Scientific bases of principles estimating a state of the vegetation cover in steppe agrocenoses using innovative methods of smart agriculture. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Ninht International Symposium "Steppes of Northern Eurasia"*, Orenburg, 07-11.06.2021. IOP Publishing. 2021. vol. 817. pp. 012039.
45. EMISS. Gosudarstvennaya statistika. Ploshchad' sel'skokhozyaistvennykh ugodii. Valovoi sbor sel'skokhozyaistvennykh kul'tur [Elektronnyi resurs]. URL: <https://www.fedstat.ru/indicator/30950> (data obrashcheniya: 20.06.2022).
46. Regiony Rossii. Sotsial'no-ekonomicheskie pokazateli. 2020: Stat. sb. / Rosstat. M., 2020. 1242 s. [Elektronnyi resurs]. URL: <https://rosstat.gov.ru/folder/210/document/13204> (data obrashcheniya: 10.04.2022).
47. Dospekhov B.A. Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoi obrabotki rezul'tatov issledovaniy). M.: Agropromizdat, 1985. 351 s.

48. Eigner A.E., Nuppenau E.A. Applied spatial approach of modeling field size changes based on a consideration of farm and landscape interrelation // *Agricultural Systems*. 2019. no. 176. pp. 102648.

49. Krasnitskii V.M., Shmidt A.G., Shoikin O.D. Otsenka sostoyaniya plodorodiya pochv v Omskoi oblasti. *Plodorodie*. 2017. N 4(9). S. 27-29.

50. Berner, A., Hildermann, I., Fliebbach, A., Pfiffner, L., Niggli, U., Mader, A. Crop yield and soil fertility response to reduced tillage under organic management. *Soil and Tillage Research*. 2008. no. 101(1-2). pp. 89-96.

51. Tissen R., Belyaev V.I., Kuznetsov V.N., Sokolova L.V. Otsenka effektivnosti zatrat pri realizatsii polosovoi tekhnologii osennei obrabotki pochvy v usloviyakh zasushlivoi stepi Altaiskogo kraya. *Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2017. N 9(155). S.18-23.

Сведения об авторах:

Юрий Александрович Гулянов

Д.с.-х.н., профессор, в.н.с. отдела степеведения и природопользования, Институт степи УрО РАН

ORCID 0000-0002-5883-349X

Yuriy Gulyanov

Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Leading Researcher, Department of Steppe Studies and Nature Management, Institute of Steppe of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences

Александр Александрович Чибилёв

Академик РАН, д.г.н., профессор, научный руководитель, Институт степи УрО РАН

ORCID 0000-0002-6214-1437

Alexander Chibilyov

Academician of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Geographical Sciences, Professor, Scientific Supervisor, Institute of Steppe of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences

Сергей Вячеславович Левыкин

Д.г.н., профессор РАН, в.н.с., заведующий отделом степеведения и природопользования, Институт степи УрО РАН

ORCID 0000-0003-0949-9939

Sergei Levykin

Doctor of Geographical Sciences, Professor of the Russian Academy of Sciences, Leading Researcher, Head of the Department of Steppe Studies and Nature Management, Institute of Steppe of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences

Для цитирования: Гулянов Ю.А., Чибилёв А.А., Левыкин С.В. Новационные приемы рационального природопользования при интенсификации земледелия на пахотнопригодных почвах степной зоны Урала и Западной Сибири // *Вопросы степеведения*. 2022. № 3. С. 76-95. DOI: 10.24412/2712-8628-2022-3-76-95