

Министерство сельского хозяйства РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Ульяновский государственный аграрный
университет имени П.А. Столыпина»

А.Л. Тойгильдин, О.Л. Кибалюк,
И.А. Тойгильдина, Д.Э. Аюпов

СЕВООБОРОТЫ ДЛЯ ТЕХНОЛОГИИ
ПРЯМОГО ПОСЕВА В УСЛОВИЯХ
ЛЕСОСТЕПНОЙ ЗОНЫ СРЕДНЕГО
ПОВОЛЖЬЯ

Ульяновск, 2023

ББК 41.41

УДК 631.582 : 631.584.4

Севообороты для технологии прямого посева в условиях лесостепной зоны Среднего Поволжья / А. Л. Тойгильдин, О. Л. Кибалюк, И. А. Тойгильдина, Д. Э. Аюпов. – Ульяновск: УлГАУ, 2023. – 192 с.

ISBN 978-5-6051071-0-1

Рецензенты:

Арефьев А.Н., декан агрономического факультета ФГБОУ ВО Пензенский государственный аграрный университет, доктор сельскохозяйственных наук, профессор.

Никифорова С.А., кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник отдела земледелия и новых технологий. Самарский Федеральный исследовательский центр РАН, Ульяновский научно-исследовательский институт сельского хозяйства им. Н.С. Немцева.

В монографии представлены результаты исследований по оценке эффективности технологии прямого посева в оптимизации агрофизических свойств почвы, влагообеспеченности посевов, засоренности, продуктивности и экономической эффективности возделывания полевых культур в условиях лесостепной зоны Среднего Поволжья. Особое внимание уделено использованию промежуточных почвопокровных культур в севооборотах. Разработаны методологические подходы в подборе почвопокровных культур, проектировании севооборотов и оценке эффективности возделывания полевых культур в технологии прямого посева. В монографии представлены результаты научных исследований, выполненных согласно тематическому плану-заданию Министерства сельского хозяйства Российской Федерации, регистрационный номер ЕГИСУ НИОКТР 123031600036-5.

Печатается по решению научно-технического
совета ФГБОУ ВО Ульяновского ГАУ.

Протокол № 2 от 11.10.2023 г.

© Тойгильдин А. Л., Кибалюк О. Л., Тойгильдина И. А.,
Аюпов Д. Э., 2023

© ФГБОУ ВО Ульяновский ГАУ, 2023

Содержание

Введение	5
Глава 1. Теоретические основы разработки и обоснования севооборотов	8
1.1. Развитие научных основ о севообороте.....	8
1.2. Севооборот и плодородие почвы	14
1.3. Особенности технологии прямого посева и требования к севооборотам	25
Глава 2. Почвенно-климатические условия лесостепной зоны Поволжья.....	35
2.1. Характеристика климатических условий региона	35
2.2. Земельные ресурсы и почвенный покров	40
Глава 3. Научное обоснование технологии прямого посева в условиях лесостепи Среднего Поволжья	52
3.1. Агрофизические свойства почвы.....	52
3.1.1. Структурно-агрегатный состав почвы	52
3.1.2. Плотность почвы и сопротивление пенетрации.....	55
3.2. Влагообеспеченность посевов полевых культур	61
3.4. Динамика изменения засоренности посевов	67
3.5. Урожайность и экономическая эффективность полевых культур.....	70
Глава 4. Роль почвопокровных культур в севооборотах на прямом посеве	78
4.1. Продуктивность почвопокровных культур в одновидовых и в смешанных посевах.....	83
4.2. Почвопокровные культуры и сорные растения.....	87
4.3. Водно-физические свойства почвы.....	93

4.4. Урожайность следующих культур в севообороте.....	99
4.5. Концепция подбора культур для почво- покровного промежуточного посева.....	112
Глава 5. Методология разработки и обоснования схем севооборотов для технологии прямого посева	121
5.1. Принципы построения схем севооборотов и их особенности на прямом посеве.....	121
5.2. Методика построения схем севооборотов для технологии прямого посева.....	138
5.3. Методология оценки эффективности севооборотов на прямом посеве	149
Заключение	159
Список литературы	162

Введение

Современное земледелие в погоне за высокой продуктивностью и экономической эффективностью, как правило, не отличается адаптацией к местным условиям и характеризуется нерациональным использованием сельскохозяйственных угодий, зачастую, как показывает практика, применяется необоснованная интенсификация производства. В связи с этим на полях агропредприятий лесостепной зоны Среднего Поволжья отмечаются нарушение научно-обоснованных схем севооборотов, снижение биоразнообразия, приводящая к деградации почв ее обработка, чрезмерное применение агрохимикатов и пестицидов в агротехнологиях – все это приводит к ухудшению здоровья почвы и снижению качества получаемой продукции. Необоснованные системы земледелия обуславливают нарастание экологических проблем: чрезмерной минерализации органического вещества почвы, ухудшение физических свойств почвы, эрозии почвы и в целом деградации почвенного плодородия.

В подтверждении вышесказанного можно привести данные межправительственной группы экспертов по изменению климата, где указано, что около четверти свободной ото льда площади суши подвержено деградации, вызванной антропогенной деятельностью, а эрозия почвы сельскохозяйственных полей оценивается в настоящее время от 10 до 20 раз (без обработки почвы) до более чем в 100 раз (традиционная обработка почвы) выше, чем скорость почвообразования (Изменение климата и..., 2020) и, согласно данным, приведенным во Всемирном атласе опустынивания, три четверти наземного покрова уже деградировало, и к 2050 году эта цифра может вырасти до 90%.

Возникает необходимость разработки принципиально новых систем землепользования, направленных на решение поставленных проблем, способных обеспечить получение экологически безопасной продукции в объемах общественной потребности, воспроизводство плодородия почвы с устойчи-

вым и экономически выгодным производством. Для решения экологических проблем ключевую роль должно сыграть кардинальное изменение парадигмы ведения сельского хозяйства, направленное на сохранение и увеличение почвенного органического углерода.

Для этого внедряют различные варианты систем земледелия – альтернативное, органическое, биодинамическое и другие. Наряду с преимуществами отмеченные системы земледелия имеют ряд недостатков, прежде всего, они требуют высокой доли ручного труда, имеют низкую производительность и отличаются невысокой продуктивностью а, следовательно, неспособны решить проблему продовольственной безопасности (Кирюшин В.И., 2019).

Один из методов снижения отрицательного действия сельскохозяйственного производства на почву является внедрение практик почвозащитного и ресурсосберегающего земледелия, которые в последние годы широко пропагандируются ООН и ФАО как одно из основных средств достижения целей устойчивого развития (Rumpel C. et al., 2018; Don A. et al., 2018).

Мировая практика показывает рост территорий, пользующихся системой прямого посева, однако в России эта система не изучена и практически малоосвоена, хотя из истории развития систем земледелия известны попытки И.Е. Овсинского, Т.С. Мальцева и А.И. Бараева переосмыслить философию землепользования. Поэтому изучение, теоретическое обоснование и практическое освоение технологий прямого сева в различных регионах России является актуальным направлением, обладает научной новизной и откроет новые направления развития исследований, прежде всего, в разработке техники для прямого посева в России.

Технология прямого посева требует более детального внимания в сравнении с устоявшимися традиционными подходами, которые внедрены достаточно длительное время.

Зарубежные авторы, изучающие No-till, отмечают, что данная технология не уступает традиционным, однако, она может быть ниже в случаях, если не выдержаны требования,

например, недостаточный опыт при регулировке сеялки: глубина заделки семян, заделка посевной борозды; отсутствие системного подхода. При переходе нужно не только исключить обработку почвы, но и оптимизировать защиту растений от вредных организмов, подобрать севооборот (так как для прямого посева нужен плодосмен), использовать почвопокровные культуры (Derpsch R. et al., 2014).

Особенные требования к севообороту не случайны, поскольку в условиях отсутствия механического рыхления почвы очень важно сохранить оптимальные значения ее плотности и других агрофизических свойств, а также фитосанитарного состояния. Все это требует детального изучения литературы, проведения полевых опытов и разработки методологических подходов, поэтому данная работа носит актуальный характер и будет полезной для всех, кто интересуется данной тематикой и особенно для последующих исследований.

Авторы выражают глубокую признательность ректорату ФГБОУ ВО Ульяновский ГАУ, коллективу Института «Агротехнологическая академия» ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского» и ФГБНУ Федеральный Ростовский аграрный научный центр (г. Ростов-на-Дону) за предоставленную возможность проведения научной работы по данной тематике, а также всем, кто приняли участие в исследованиях и в обсуждении полученных результатов.

Глава 1. Теоретические основы разработки и обоснования севооборотов

1.1. Развитие научных основ о севообороте

Научно-теоретическое обоснование чередования культур и учение о севооборотах появилось в период развития естественных наук в XVIII–XIX веках, чему способствовало развитие химии, ботаники, физики и многочисленные научные открытия в области естественных наук.

В России первые практические рекомендации по основанию севооборотов дал основоположник отечественной агрономии А.Т. Болотов (1738 – 1833). В своем труде «О разделении полей», изданном раньше, чем работы в Европе, он приводит основные положения по введению севооборотов и организации сельскохозяйственной территории. Впервые в истории севооборот стал рассматриваться не только как чередование культур, но и как основа системы земледелия. Необходимость севооборота из организационных и экономических соображений отмечалась и в работах И.М. Комова (1750 – 1792).

Первая попытка научно обосновать роль севооборота принадлежит А.Д. Тэеру (1772 – 1828), им создана гумусовая теория питания растений, на которой строилось учение об истощении и обогащении почв: растения он делил на обогащающие (почвоулучшатели) и истощающие (почпоухудшатели). Соответственно при построении севооборотов те и другие растения должны чередоваться в должных пропорциях. К первым относятся бобовые и пропашные культуры, ко вторым – зерновые культуры. На этом основании А.Д. Тэер, анализируя и обобщая английский опыт земледелия, пришел к выводу, что и для условий Германии пригоден норфольский севооборот: клевер – озимая рожь – картофель – ячмень с подсевом клевера. В дальнейшем данное чередование было усовершенствовано и усилен эффект плодосмена в шестипольном севообороте за счет более высокой доли бобового

почвоулучшателя. Таким образом, А. Тэйром были созданы предпосылки для закона плодосмена – «любое агротехническое мероприятие более эффективно при плодосмене, чем при бессменном посеве».

В немецкой специализированной литературе можно встретить разделение культур в севообороте на Halmfrucht – узколистные – ухудшатели, и Blattfrucht – широколистные – улучшатели (Прянишников Д.Н., 1962; Diebrebrock W. et al., 2005). В западной литературе и в практике сегодня применяется подобный подход, и все культуры разделяют на широколистные и узколистные, добавляя и другие признаки (теплолюбивые и холодостойкие) для более эффективного чередования, особенно для технологии прямого посева (Anderson R.L., 2014).

Позднее Ж.Б. Буссенго (1802 – 1887), открыв симбиотическую азотфиксацию, внес ясность в различие бобовых и небобовых культур по влиянию на плодородие почвы и подтвердил характеристику, данную А.Д. Тэром клеверу и люцерне как растениям, обогащающим почву азотом.

Важным научным открытием явилась теория минерального питания растений Ю. Либиха (1803 – 1873), им сформулированы «закон минимума» и «закон полного возврата». Несмотря на то, что Ю. Либих не признавал плодосмен и отрицал значение органических удобрений, им подготовлена фундаментальная основа для развития учения о севооборотах. Ю. Либих делил все культурные растения на три группы в зависимости от того, какой элемент питания относительно больше потребляется данной культурой – калий, кальций или фосфор. Согласно этой теории необходимо чередовать культуры с различной потребностью в зольных элементах питания. Снижение урожая при бессменных посевах одной и той же культуры объяснялось уменьшением в почве того или иного элемента питания, не зря ему принадлежат слова «нет более прямого пути к абсолютному обнищанию народа, как непрерывная культура однолетних растений».

Одна из первых гипотез, которая объясняет эффективность севооборотов, заключалась в том, что при монокультуре

в почве накапливаются выделения высших растений, делающую почвенную среду непригодной для выращивания культурных растений тех же видов. Так появились представления о почвоутомлении, на чем основывалась теория самоотравления растений своими корневыми выделениями ботаника О.П. Декандоля (1778 – 1841).

Большой вклад в развитие учения о плодосмене внес российский ученый А.В. Советов (1826 – 1901), который определял уровень культуры земледелия и развития сельского хозяйства расширением полевого травосеяния, побуждающего вести хозяйство на научной основе. Следует отметить работы И.А. Стебута (1833 – 1923) и А.С. Ермолова (1846 – 1916), которые подчеркивали, что севооборот выражает не только чередование культур, но и производственное направление хозяйства.

П.А. Костычев (1845 – 1895) и В.В. Докучаев (1946 – 1903) пришли к выводу, что степная растительность, прежде всего многолетние злаки, способствуют накоплению перегноя в почве и образованию прочной зернистой структуры. Они объясняли необходимость чередования культур тем, что при возделывании одних ухудшаются физические свойства почв, а при возделывании других – улучшаются, вследствие чего повышается плодородие почвы, улучшаются ее питательный и водный режимы. На основании этого были сделаны рекомендации по чередованию посевов многолетних бобовых трав в смеси со злаковыми травами, которые улучшают и восстанавливают агрономически ценную структуру почвы, с посевами однолетних зерновых культур, при возделывании которых такая структура якобы утрачивается. Позднее данные идеи были развиты В.Р. Вильмсом (1863 – 1939), так появилась травопольная система земледелия.

В начале XX века В.Г. Ротмистров (1910) пришел к выводу, что необходимо чередовать культуры, имеющие разную корневую систему, в силу чего разные растения могут использовать воду и питательные элементы с различной глубины. Он разделил все сельскохозяйственные культуры на три группы по глубине проникновения корней в почву: с неглубокой кор-

невой системой – картофель, гречиха, лен, просо, горох; со средней – пшеница, рожь, вика, ячмень и с глубокой корневой системой – люцерна.

Таким образом, исследователи на первых стадиях развития научной агрономии эффективность севооборота объясняли различными причинами: теорией гумусового питания растений (А.Д. Тэер, М.Г. Павлов и др.), теорией минерального питания (Ю. Либих, Ж.Б. Бусенго др.), причиной почвоутомления (О.П. Декандоль и др.), различной мощностью корневой системы чередующихся растений (В.Г. Ротмистров, А.М. Модестов и др.), улучшением структуры почвы под действием многолетних злаковых трав (П.А. Костычев, В.В. Докучаев, В.Р. Вильямс и др.) и другими причинами.

Д.Н. Прянишников (1865 – 1948), используя обширный материал предшественников и результаты экспериментального изучения севооборотов, особо подчеркивал их значение и необходимость их дифференциации в зависимости от возделываемых культур, природных и экономических условий. Он сформулировал четыре группы причин чередования сельскохозяйственных культур: химического порядка, физического порядка, биологического порядка и экономического порядка и сформулировал закон плодосмена (Прянишников Д.Н., 1962).

По мнению В.Г. Лошакова (2012) со времени формирования причин чередования сельскохозяйственных культур значительно расширились познания и более широко раскрыты механизмы взаимодействия в системе почва – растение-окружающая среда, однако принципиальные положения, выдвинутые Д.Н. Прянишниковым, по-прежнему актуальны и лежат в основе современных принципов составления севооборотов и систем земледелия.

Сидоров М.И. (1993) отмечал, что «...плодосмен по влиянию на свойства почвы подобен фитоценозам, но проявляет свое воздействие во времени» и сегодня севооборот многими учеными рассматривается как следствие из всеобщего закона единства растительных организмов и среды их обитания.

Севообороты и набор культур в них всегда определяли типы и виды систем земледелия, которые в ретроспективе эво-

люционировали от примитивных (паровой) до современных – адаптивно-ландшафтных систем (Каштанов, 2010; Агроэкологическое оценка..., 2005; Кирюшин В.И., 2011; Лошаков В.Г., 2012).

На западе в 1950-х и начале 1960-х годов считалось, что синтетические удобрения и пестициды могут навсегда заменить севооборот без потери урожая, аналогичное мнение сформировалось в кругах определенного круга сельхозтоваро-производителей в начале 21 века и в нашей стране, но сегодня это мнение изменилось. Убедительно доказано, что севооборот увеличивает продуктивность культур, повышает экономическую эффективность и обеспечивает устойчивое производство.

В современном земледелии севооборот рассматривается не только с позиции чередования культур, как это обозначено в определении термина ГОСТ 16265-89, особая функция севооборота состоит в регулировании режима органического вещества почвы (Морозов В.И. и др., 1994; Холзаков В.М., 2006; Казаков Г.И., 2008; Новиков М.Н., 2004, Лыков А.М. и др., 2004; Зотиков В.И., 2007 и др.; Лошаков В.Г., 2012). Высока роль севооборота в оптимизации фитосанитарного состояния посевов (Яговенко Л.Л., 2004; Морозов В.И., 2004; Голомолзин Р.С. и др., 2012; Максимов В.А., 2013), что определяет его биологическую сущность.

Севооборот является аналогом сукцессии – последовательной смены фитоценозов в агроландшафтных экосистемах и рассматривается как агроэкосистема, а главный механизм ее развития – биотический круговорот вещества и превращения энергии (Морозов В.И., 2004; Зотиков В.И., Задорнов А.Д., 2007; Акименко А.С., 2015), в чем просматривается экологическая сущность севооборота.

Севооборот является организационно-технологической основой земледелия, отражает специализацию хозяйства и напрямую связан со структурой посевных площадей – в этом его экономическая сущность (Системы земледелия, 2006; Лошаков В.Г., 2012).

Севооборот выступает агротехническим, биологическим и организационно-хозяйственным средством управления

продукционным процессом растений и регулирования биотического круговорота вещества и энергии (воспроизводства плодородия почвы), защиты ее от эрозии и приобретает все большее экологическое и фитосанитарное значение в системе земледелия, особенно при технологиях минимальной обработки почвы и прямом посеве.

По мнению ряда ученых, перспективы развития научной агрономии связаны с биосферной парадигмой природопользования, что объясняется экологическими проблемами, возникшими на планете, – загрязнение окружающей среды, потепление климата, эрозия почвы и деградация ее плодородия (Доклад конференции ООН, 1993; Программа действий: повестка..., 1998; Кирюшин В.И., 2011; Лошаков В.Г., 2012). Актуальность принципов экологической оптимизации земледелия связана с осознанием человечеством ограниченности природных ресурсов и отрицательной направленности общего вектора развития современного природопользования (Моисеев Н.Н., 1998; Кирюшин В.И., 1996; Фрумин И.Л., 2004).

Достижение отмеченных принципов возможно за счет процесса экологизации земледелия (Кирюшин В.И., 2011). В.И. Кирюшин (2011, 2012) в своих работах определяет, что сущность экологизации сельского хозяйства заключается в приведении его в соответствие с экологическими законами, решении задач сохранения биоразнообразия, адаптации к агроэкологическим условиям, оптимизации соотношения природных и сельскохозяйственных угодий, гармонизации земледелия и животноводства, создании оптимальной инфраструктуры агроландшафтов с учетом энергомасс-сопереноса, биологизации земледелия.

В целом на основе результатов многолетних исследований, выполненных в различных почвенно-климатических условиях, доказано, что научнообоснованное чередование культур в севооборотах, построенных на принципах плодосмена, позволяет при том же уровне применения удобрений и других средств производства повысить продуктивность пашни в 1,5-2 раза по сравнению с бессменными посевами. При недостатке органических и минеральных удобрений особое значение

приобретает рациональное использование в севооборотах как органических и минеральных удобрений, так и менее распространенных форм – соломы, растительных остатков, зеленого удобрения и других. Оптимальное сочетание научно обоснованных доз удобрений с правильным чередованием культур на полях обеспечивает их высокий агротехнический, агроэкологический и экономический эффект в современных системах земледелия (Лошаков В.Г., 2016).

Таким образом, смена на полях культур с существенными различиями по биологии и технологии возделывания – озимых или яровых зерновых с бобовыми или с пропашными, многолетних с однолетними, широколиственных с узколиственными, «почвоулучшателей» с «почвоухудшателями», растений с глубоким и мелким залеганием корневой системы (корнесмен) – эти и другие элементы плодосмена получили развитие и научное обоснование в современной теории севооборота и нашли отражение в законе плодосмена: смена культур на полях при прочих равных условиях эффективнее их бессменного возделывания, и эффективность плодосмена тем выше, чем больше различия в биологии и технологии выращивания культур.

1.2. Севооборот и плодородие почвы

Если обратиться к данным об изменении плодородия почвы, то становится понятно, что в целом антропогенное использование земель ведет к разрушению почвенных ресурсов. В мире за последние 120 лет эрозии подверглось около 2,5 млрд. га земель. Эрозия сопровождается процессом дегумификации почв. Гумус является одним из важнейших показателей почвенного плодородия. Сокращение его запасов влечет за собой снижение урожайности сельскохозяйственных культур, истощение, деградацию и разрушение почв. Высокоплодородные почвы в настоящее время составляют 3 % площади суши, среднеплодородные – 9 %. Человечество ежегодно теряет около 7 млн. га биологически продуктивных почв в результате деградации агроландшафтов (Добровольский Г.В., 2008).

Однако российские черноземы с прошлого века являлись образцом плодородия почвы и выставлены экспонатами в музее национального агрономического института в Париже, музее естественной истории в Амстердаме, музее почвоведения под Лейпцигом и других музеях. В.В. Докучаев писал о них, что «чернозем... для России дороже всякой нефти, всякого каменного угля, дороже золотых и железных руд; в нем – вековечное неистощимое русское богатство!» (Добровольский Г.В., 2010).

Для того, чтобы понять, почему происходит деградация, следует обратиться к информации об использовании сельскохозяйственных угодий и понять, какие культуры и какие севообороты преобладают в земледелии России. Обратимся к публикации коллектива авторов, которые сообщают, что основную часть занимают полевые севообороты : 150 из 167 опытов, аттестованных и занесенных в «Реестр аттестатов длительных опытов с удобрениями и другими агрохимическими средствами Российской Федерации» (Значение предшественника для..., 2016). Авторы отмечают, что в опытах изучаются севообороты и звенья, которые используются в производственных условиях, размещенные на основной части пахотных земель нашей страны.

Значительная часть полевых севооборотов в других 46 длительных опытах Геосети включает чистые пары, без которых устойчивое земледелие невозможно на большей части пахотных земель России, расположенных в районах недостаточного увлажнения. В этих опытах эффективность различных систем удобрения изучают в зернопаровых, зернопаропропашных, зернопаротравяных, зернопаротравянопропашных и других севооборотах с обязательным наличием в них паровых полей.

Существенную роль в усилении эрозионных процессов играет интенсификация сельскохозяйственного производства с ориентацией на пропашные монокультуры и чистые пары, оголяющие почву, ослабляющие почвозащитные и противоэрозионные свойства агроэкосистем. Так, в кукурузном поясе США, в самом плодородном его районе (юг штата Айова)

за 100 лет потеряна половина плодородного пахотного слоя почвы (Назаренко В.И., 1991). На черноземах России за 100 лет, по обобщенным данным, уменьшение запасов гумуса на пашне в пахотном слое 0–30 см составило в лесостепной зоне – до 90 т/га (0,7–0,9 т/га в год), в степи – 50–70 т/га (0,5–0,7 т/га в год). За 100 лет черноземы России потеряли до 30–50 % гумуса (Государственный (национальный) доклад..., 1993).

Согласно последним данным деградация земель рассматривается как фактор, влияющий на их продуктивность, а значит и на снижение производства объемов продовольствия и сокращение доходов сельскохозяйственных предприятий и фермеров (Sartori M. et al., 2019). Также в мире обостряется проблема изменения климата, прежде всего, увеличиваются продолжительность и интенсивность засух, ожидается, что это приведет к снижению урожайности многих сельскохозяйственных культур (Li G. et al., 2020; Ortiz-Bobea et al., 2021).

В России деградация земель ежегодно нарастает, и в настоящее время 65 % пашни, 28% сенокосов и 50% площади пастбищ подвержены разрушающему действию эрозии, дефляции, периодическому действию засух и суховеев. Ежегодная убыль гумуса в почвах в среднем составляет 0,62 т/га, его содержание за последние 100 лет снизилось на 30–40 %. Ущерб от нерационального использования агроландшафтов впечатляет: так от вредного воздействия природно-антропогенных факторов ежегодный недобор продукции растениеводства в РФ достигает 43 млн. т. в зерновом эквиваленте (Кулик К.Н. и др., 2018).

Интенсивная обработка почвы в растениеводстве приводит к росту объемов выделяемого в атмосферу углекислого газа, что усугубляет парниковый эффект и глобальное потепление (Иванов А.Л., Столбовой В.С., 2019; Столбовой В.С. 2020). По разным оценкам от 14 до 28 % суммарных выбросов парниковых газов в атмосферу приходится на сельское хозяйство, лесное хозяйство и другие виды землепользования (Изменение климата..., 2020, Gan Y.T. et al., 2014), по некоторым данным 35% CO₂, 47% CH₄, 53% N₂O и 21% оксида азота (NO) соответствующие глобальным годовым выделениям относятся к дегазации почвы (Heinemeyer A., McNamara N.P., 2011).

Почвенное плодородие – национальное богатство, от его создания и использования во многом зависят качество продуктов питания и здоровье нации, его значимость признается на государственном уровне. Падение плодородия обрабатываемых земель и почвы практически повсеместно в нашей стране признают многие ученые, что объясняется необоснованными массовыми и шаблонными экспериментами, реформами без учета достижения науки и мирового опыта (Кирюшин В.И., 1993; 1996, 2011; Морозов В.И., 1994; 1996; Лыков А.М., 2004; Лошаков В.Г., 2012; Терентьев О.В., 2007; Немцев С.Н., 2005; Добровольский Г.В., 2013; Кравченко Ю.С., 2015; Andreeva D., 2010).

Академик А.Л. Иванов (2011) отмечал: «В России процесс снижения плодородия почв, ухудшения состояния земель, используемых или предназначенных для ведения сельского хозяйства, приобретает фатальный характер... Вынос основных элементов питания не компенсируется минеральными и органическим удобрениями, биологическим азотом. Экологический каркас почвы разрушается за счет «выжимания» уже потенциально и даже трудно доступных форм фосфора. По сути, мы проедаем хлеб наших потомков».

Проблему плодородия почвы принято связывать с содержанием органического вещества, поскольку оно регулирует важнейшие физико-химические и биологические свойства почвы, сохраняет ее энергетический потенциал, является источником питательных элементов для растений.

В современной науке сформировалось представление, что органическое вещество почвы и процессы его трансформации играют важнейшую роль в формировании почвы и главного свойства – плодородия, а его запасы рассматриваются с точки зрения экологической устойчивости почв как компонента биосферы (Вильямс В.Р., 1939, 1948; Вернадский В.И., 1973; Роде А.А., 1971; Костычев П.А., 1940, 1951; Кулаковская Т.И., 1984; Кравков С.П., 1978; Александрова Л.Н., 1980; Кононова М.М., 1963; Кирюшин В.И., 1996, 2000; Лыков М.И. и др., 2004; Орлов Д.С., 1974; Орлов Д.С. и др. 1996; Прянишников Д.Н., 1934,1962; Тюрин И., 1937; Пошон Ж.,

Баржак Г.Д., 1960; Рюзенбан Э., Рауэ К., 1969; Тейт Р.Л., 1991; Ревут И.Б., 1972; Холзаков В.М., 2006; Добровольский Г.В., 2013).

Первичное органическое вещество, поступившее в почву, подвергается сложным превращениям, включающим процессы разложения, вторичного синтеза в форме микробной плазмы и гумификации (Ваксман С.А., 1937; Дюшофур Ф., 1970; Кирюшин В.И., 2000; Кононова М.М., 1963; Кравков С.П., 1978; Лыков АМ, 1985; Орлов Д.С., 1974; Роде А.А., 1955; Тейт Р.Л., 1991; Фокин А.Д., 1986; Тюрин И.В., 1937; Allison F.E., 1973, Flaig W., 1971).

Изучение динамики содержания и запасов гумуса в условиях лесостепи Поволжья и в Ульяновской области, в частности, коллективом кафедры земледелия Ульяновского ГАУ показало, что в период 1976 – 1996 гг. ежегодные некомпенсированные его потери достигали 1,5 – 3,0 т/га (Морозов В.И., 1996), на сегодняшний день ситуация практически не поменялась и даже усугубилась (Черкасов Е.А., Куликова А.Х., 2016; Чекмарев П.А., Черкасов Е.А., 2017).

В России внедрялись Федеральные целевые программы повышения плодородия почв России, которые были призваны не только предотвратить снижение плодородия почвы, но и, стабилизировав его, создать предпосылки для его расширенного воспроизводства и оздоровления экологической обстановки в агроландшафтах, но по ряду причин кризисного характера эти научно обоснованные рекомендации не были выполнены, и земледелие страны из года в год остается при отрицательном балансе питательных веществ – в среднем минус 70 кг/га NPK в год.

Следует отметить, что еще А.А. Жученко (2009) подчеркнул, что снижение плодородия почвы стало главной причиной несоответствия между потенциальной и фактической продуктивностью современных сортов сельскохозяйственных культур. Уровень фактической урожайности современных сортов в производственных условиях нашей страны, как правило, не превышает 30-40 % от заложенного селекционером потенциала их урожайности.

Мониторинг за динамикой состояния плодородия почв показал, что с 1965 г. происходило систематическое снижение запасов гумуса, и его средневзвешенное содержание к 2010 году составляло 4,66 %, если учесть, что по результатам экспедиций В.В. Докучаева в 1877 – 1878 гг. содержание гумуса в среднем по Заволжью составляло 11,6 %, следует признать, что наши почвы примерно за 120 лет потеряли более половины исходных запасов гумуса, основной причиной является все возрастающее антропогенное воздействие на почву (Черкасов Е.А., Куликова А.Х., 2016).

При отсутствии мер по сохранению баланса гумуса в почвах происходят необратимые изменения, снижается их значение как объекта экологической среды и средства жизнеобеспечения, а также биоэнергетического потенциала ландшафта. По данным НИИСХ Юго-Востока потери гумуса в Поволжье за 30 лет составили 0,40 т/га. Бездефицитный баланс гумуса был получен при внесении 6,0-7,0 т/га органического вещества в год на 1 га севооборотной площади (Чуб М.П., 2003).

Аналогичные данные представлены и Самарским НИИСХ, в Самарской области за последние годы сократились площади среднегумусных чернозёмов, увеличились площади малогумусных и слабогумусированных (на 10%). Пахотные земли бедны подвижным азотом и фосфором. Ежегодные потери гумуса в пахотном слое составляют 0,7 т/га, а по отдельным районам – более 1 т/га (Обущенко С.В., 2014).

А.М. Лыков с соавторами (2004) отмечают, что в агрофитоценозах поток углерода (органического вещества почвы) по скорости и направлению отличается от потока углерода в естественных биогеоценозах.

Замена естественных фитоценозов агрофитоценозами – это сильнейшее воздействие на биосферу и, в первую очередь, на ее важнейший элемент – почву. В агрофитоценозах снижается способность системы почва-растение к самообеспечению почвообразовательного процесса и воспроизводству органического вещества. При отчуждении большей части органического вещества (урожая) нарушается ход почвообразователь-

ного процесса, поэтому изменение растительности не может не сказываться на ее функциях.

В последние годы разработаны концепции воспроизводства плодородия почвы с учетом отмеченных проблем (Кирюшин В.И., 1993, Концепция сохранения и..., 1999; Куликова А.Х., 2007.; Лыков А.М. и др., 2004; Обущенко С.В., 2014), которые предполагают, прежде всего, максимальное накопление биогенных ресурсов плодородия в агроценозах, что в значительной мере определяется набором сельскохозяйственных культур в севооборотах.

Очевидно, что при отсутствии должных объемов применения минеральных и органических удобрений необходимо пересматривать структуру посевных площадей, увеличивая площади под зернобобовыми культурами, сидератами, и использовать в качестве источников органического вещества пожнивно-корневые остатки и излишки соломы (Кирюшин В.И., 1993; Морозов В.И., 1996; Холзаков В.М., 2006; Ильина Л.В., 2004; Лошаков В.Г., 2012).

По мнению В.И. Зотикова и А.Д. Задорина (2007), севооборот должен начинаться с поля, в котором интенсивно улучшается почвенное плодородие, и заканчиваться неприхотливыми культурами. При такой структуре севооборотов эффективность использования пашни будет выше, при этом прослеживается зависимость: чем выше разница в биологии и их технологии возделывания культур, тем выше средообразующие функции севооборота. Нарушение данного принципа ведет к снижению продуктивности звеньев и севооборотов.

Учитывая, что в агрофитоценозах основным источником органического вещества почвы являются растительные остатки – стерневые, корневые, опад и побочная продукция, получаемая при возделывании сельскохозяйственных культур, а также корневые выделения – ризодепозиция, существует возможность управления объемом их накопления.

Исследования ряда ученых показывают, что от 50 до 70% фотосинтетического углерода остается над землей, а от 20 до 30% – перемещается в почву, в свою очередь из объема, поступающего в почву, около 50% используется для роста

корней, а около 30% выделяются в ризосферу или высвобождаются при корневом дыхании (Kuzyakov Y., Cheng W., 2001; Kuzyakov Y.V., 2002).

J. Molina с соавторами (2001) отмечают, что 24% чистого углерода, зафиксированного фотосинтезом, превратилось в ризодепозицию, то есть С, обнаруженный в ризосфере, полученный из корневых экссудатов, слизи и отслоившихся клеток. Таким образом, ризодепозиция является важнейшим компонентом развития подземной пищевой сети.

Последние исследования показывают, что существуют неучтенные ресурсы накопления углерода в более глубоких слоях почвы (White K.E. et al., 2020). Углерод, усваиваемый растениями, либо интегрируется в биомассу, выделяется в виде корневых экссудатов, либо выдыхается обратно в виде CO_2 (Ostle N. et al., 2003), в целом большая часть (61%) усвоенного углерода переносится в побеги, 20% – в корни и 7% – в почву (Mathew I. et al., 2020).

В целом, очевидно, что степень интенсивности севооборотов, набор культур в них предполагает неодинаковые темпы накопления разного по биохимическому составу органического вещества (Морозов В.И., 1996; Кирюшин В.И., 1993, 2011; Лыков А.М., 2004; Лошаков В.Г., 2012).

Исследованиями, проведенными в разных странах и регионах РФ, установлено, что по накоплению биомассы культуры условно можно расположить в порядке увеличения: кукуруза > сорго > суданская трава > озимая рожь > озимая пшеница > овес > яровая пшеница > ячмень > подсолнечник > горох > другие двудольные (широколистные) культуры (Ганжара Н.Ф., 1993; Лыков А.М. и др., 2004; Голомолзин Р.С. и др. 2012; Остин В.Н., 2021). Данная информация имеет ценность для подбора культур в севообороты и накопления мульчирующего слоя в технологиях прямого посева (Дридигер В.К., 2021).

Растительные остатки обладают полифункциональными свойствами, оказывая действие на биологические, химические и физические свойства почвы, а также являются источником элементов питания, служат энергетической основой функци-

онирования микробиоценозов, осуществляющих минерализацию и иммобилизацию соединений азота. Постоянное наличие на поверхности почвы слоя мульчи неизбежно будет влиять на трансформацию отмершего растительного вещества. Например, мульчирующий слой уменьшает потери влаги из почвы и понижает температуру поверхностного слоя. Кроме того, отсутствие стимуляции активности почвенных аэробов за счет обработки почвы приводит к меньшей минерализации соединений углерода и азота (Завалин А.А. и др., 2018).

Однако при учете поступления биомассы в почву большое значение имеет ее качество, особенно соотношение С:N (Лошаков В.Г., 1992; Орлова О.В., 2011; Орлова О.В., 2013; Маслов М.Н., 2015). При соотношении углерода к азоту 1:20-25 весь азот свежих растительных остатков потребляется микроорганизмами и переводится в мобильную форму, пополняя его запасы в почве, поэтому по утверждению Л.Н. Александровой (1980) соотношение С:N = 15–30:1 следует считать оптимальным для процесса гумификации, также считают и другие авторы (Зотиков В.И., Задорин А.Д., 2007).

Оптимальное соотношение С:N имеют остатки бобовых культур и гречихи, остальные культуры имеют более широкое соотношение – 60–100:1 (Морозов В.И. и др., 1994; Зотиков В.И., Задорин А.Д., 2007).

Севооборот позволяет оптимизировать режим органического вещества почвы за счет включения многолетних трав и сидеральных культур (Абашев В.Д., 2005; Довбан К.И., 2009; Коржов С.И., 2011; Лошаков В.Г., 2015).

Урожайность сидеральных бобовых в занятых парах Нечерноземной зоны достигает 400-500 ц/га зеленой массы, удобрительная ценность которой не уступает подстилочному навозу хорошего качества. В зеленой массе таких сидератов содержится 200-250 кг/га азота, что равноценно внесению 6-7 ц/га дорогостоящей аммиачной селитры (Лошаков В.Г., 2015). При этом в свежей зеленой массе, богатой углеводами, белками, соотношение С:N узкое и не превышает 10-15:1, что очень важно с позиции повышения биологической активности почвы и мобилизации питательных веществ.

Например, на основании исследований, проведённых в Воронежской области, для органического сельского земледелия хозяйствам, специализирующимся на производстве зерна, рекомендованы следующие схемы севооборотов: сидеральный пар (эспарцет) – озимая пшеница (солома на удобрение) + пожнивный сидерат (редька масличная или горчица белая) – ячмень (солома на удобрение + пожнивный сидерат редька масличная и горчица белая) – бинарный посев $\frac{1}{2}$ подсолнечника + $\frac{1}{2}$ кукуруза + эспарцет. (Дедов А.В., Несмеянова М.А., 2022). Севооборот спроектирован с учетом всех необходимых принципов построения их схем и направлен на максимальное накопление органического вещества в почвах.

В технологии прямого посева сидеральные культуры также уместны, они высеваются как промежуточные и выполняют функции усиления микробиологической активности почвы и подавления патогенов, борьбу с сорными растениями, улучшение структурно-агрегатного состава почвы, разуплотнение и другие (López-Vicente M. et al., 2020; Томашова О.Л. и др., 2021).

Эффективность севооборотов в воспроизводстве плодородия почвы отмечена и в других регионах России. Так, исследования Л.М. Козловой с соавторами (2011) показали, что благодаря воспроизводству плодородия почвы продуктивность севооборотов повышается при замене чистого пара занятыми и сидеральными в среднем на 6,4 – 10,8 %.

В последние годы структура посевных площадей в хозяйствах лесостепной зоны Поволжья не соответствует принципам плодосмена, отсутствуют научно-обоснованные севообороты, на больших территориях преобладают трехполье и зернопаровая система земледелия. В структуре посевных площадей преобладают зерновые колосовые и коммерческие культуры. Так, в Ульяновской области доля подсолнечника достигает 25,0 %, в Самарской области – 27,2% от посевных площадей, причем с каждым годом его доля растёт, такая же ситуация складывается по Пензенской области, где доля подсолнечника достигала 20,0 %. На этом фоне отмечается низкая доля культур, обладающих средообразующими функциями –

зерновые бобовые и кормовые культуры (Тойгильдин А.Л. и др. 2021).

По мнению А.А. Жученко (2009), постоянно уменьшается биологическое разнообразие биосферы, особенно на землях, используемых в качестве сельскохозяйственных угодий, что обусловлено преобладанием монокультуры на полях в силу социальных и экономических причин. Он же указывает, что важнейшее преимущество биологизации состоит в значительном расширении числа и спектра биологических механизмов, структур и процессов, используемых в целях повышения продукционных и средоулучшающих функций агроэкосистем и агроландшафтов. Возможности широкого использования качественно новых биологических факторов, а также интегративных эффектов их взаимодействия безграничны. Громадный потенциал многофакторности предопределяет, в свою очередь, и гибкость биологической адаптации, что при постоянно варьирующих условиях внешней среды имеет первостепенное значение для обеспечения устойчивого роста величины и качества урожая. Причем биологизация и экологизация интенсификационных процессов предполагает практическое использование и таких свойств биологических систем, как самовосстановление, самовоспроизведение и средообразование, характерных для естественных фитоценозов.

Практическое проявление указанных механизмов находит не только использование плодосмена и биогенных ресурсов воспроизводства плодородия почвы, но и освоение смешанных посевов культур в севооборотах.

С целью повышения продуктивности пашни и использования средообразующих функций большое значение имеет применение смешанных посевов культур. Такие посевы лучше используют факторы среды обитания, их компоненты полнее извлекают воду из разных горизонтов почвы и элементы минеральной пищи, так как имеют отличающуюся друг от друга корневую систему. По мнению геоботаника В.Н. Сукачева (1953), между растениями в смешанных посевах, наряду с конкуренцией, могут быть и взаимовыгодные отношения, обеспечивающие улучшение физических и химических

свойств почвы, создание лучшего микроклимата, защиту от болезней и вредителей, привлечение полезной энтофауны, что, в конечном счете, приводит к повышению продуктивности агрофитоценозов.

Учитывая дороговизну применения навоза и минеральных удобрений, отмечается сокращение объемов их применения. В настоящее время основные функции по регулированию режима органического вещества почвы и в целом ее плодородия (водно-физических, агрохимических, биологических) отводятся научнообоснованному чередованию культур в севооборотах. При этом регулирование режима органического вещества следует оптимизировать за счет биогенной интенсификации, прежде всего, за счет создаваемого в агрофитоценозах органического вещества. Наряду с продуктивностью севооборотов необходимо учитывать их биологическую продуктивность (накопление биомассы и поступление биогенных ресурсов плодородия почвы), экономическую, эколого-экономическую и энергетическую эффективность с целью создания оптимальных моделей звеньев и севооборотов в целом.

1.3. Особенности технологии прямого посева и требования к севооборотам

Эволюция технологий обработки почвы насчитывает более 10 тысяч лет и прошла путь от примитивных систем до наиболее интенсивной отвальной системы обработки почвы, а последние десятилетия ориентирована на ресурсосбережение, что достигается за счет минимализации или полного отсутствия механической обработки (No-till, прямой посев).

Начиная с середины прошлого века, повышение продуктивности растениеводства было связано с интенсивными системами земледелия, т.е. сопряжено с использованием высоких норм минеральных удобрений, широким применением средств защиты растений и активной обработкой почвы. Данные подходы позволили существенно повысить продуктивность сельскохозяйственных земель (Кирюшин В.И., 2019;

Hunter M.C. et al., 2017), несмотря на это, антропогенное использование земель повсеместно привело к снижению плодородия почвы и ее деградации, загрязнению окружающей среды (Gaffney J. et al., 2019; Чекмарев П.А., 2020; Деградация земель и..., 2019; Davidson E., 2014, Climate change and..., 2019), что, в свою очередь, как следствие, снижает эффективность агропроизводства, к тому же возникли глобальные вызовы – продовольственная безопасность, изменение климата в результате выделения парниковых газов, опустынивание, снижение биоразнообразия и др.(Национальный доклад «Глобальный...», 2019; Nabuurs G-J., 2022).

Для повышения устойчивости производства, решения экологических, экономических и социальных проблем в сельском хозяйстве рекомендуется осваивать почвозащитное и ресурсосберегающее земледелие. ФАО определяет почвозащитное и ресурсосберегающее земледелие как подход к управлению агроэкосистемами, способствующий устойчивому сельскохозяйственному производству, снижению энерго- и трудозатрат, повышению эффективности использования почвенных и водных ресурсов (Rumpel C. et al., 2018; Don A. et al., 2018).

Основные принципы почвозащитного и ресурсосберегающего земледелия заключаются в следующем:

1. Сокращение обработки почвы: цель заключается в достижении нулевой обработки почвы (т.е. без вспашки и без предпосевной обработки почвы, посев производится прямым способом по пожнивным остаткам) (рис.1.1);

2. Сохранение соответствующего уровня растительных остатков и покрова на поверхности почвы (мульчирование) с целью защиты почвы от водной и ветровой эрозии, уменьшения поверхностных стоков воды и испарения с поверхности поля, повышения продуктивности почвы, улучшения физических, химических и биологических свойств почвы, связанных с ее долгосрочной и устойчивой производительностью;

3. Использование диверсифицированных севооборотов с целью содействия сокращению проблем, связанных с возможными появлениями сорняков, болезней и вредителей, ис-



Рис. 1.1 – Прямой посев полевых культур в полевом стационарном опыте

пользования положительного воздействия отдельных культур на почву и на продуктивность следующей культуры, снижение риска экономических потерь. Как следует из определения и названных принципов почвозащитное и ресурсосберегающее земледелие – это более широкое понятие и в целом концепция по сравнению с минимальной или прямым посевом и даже в сравнении с технологией No-till (Corsi S., Muminjanov H., 2019).

Таким образом, прямой посев и севооборот – важнейшие составляющие технологий почвозащитного и ресурсосберегающего земледелия.

Для понимания объекта исследования следует обозначить применяемую терминологию. В сельскохозяйственной науке остается действующим *ГОСТ 16265-89 «Земледелие. Термины и определения»*, который является комплексным и всецело охватывал основные понятия, применяемые в земледелии 80-90-х годов в РФ. Многие из них актуальны и на се-

годня, но следует учесть, что технологии существенно меняются, и за последние десятилетия в сельское хозяйство были внедрены инновации, они имеют свой понятийный аппарат, зачастую заимствованный из других языков. Все это требует разработки новых ГОСТов и утверждения терминов и их определений в профессиональной сфере.

Определение «прямой посев» трактуется как «посев без предварительной обработки почвы». В иностранной литературе используется термин No-till, который также не имеет однозначного определения, но суть его сводится к тому, что, кроме посева семян дисковыми или анкерными сошниками в узкую щель почва остается не обработанной. No-till – это технология возделывания сельскохозяйственных культур, поэтому для правильной ее оценки надо оптимизировать всю агротехнику (севооборот, дозы удобрений, в первую очередь азотных, системы защиты растений, а также детали агротехники, такие как сроки сева, глубина заделки и нормы высева семян) (Дридригер В.К., 2016), нельзя наложить технологию No-till на ранее возделываемые в хозяйстве культуры и существующие (старые) схемы севооборотов – это тоже является серьезнейшей ошибкой при освоении технологии (Дридригер В.К. и др., 2018).

М.К. Сулейменов (2012) дает такое определение: «Ноу-тилл (No-till) – это система земледелия, при которой полностью исключается обработка почвы под все культуры в течение длительного времени». Даже если выполняются все эти условия, то в первые 3 года такой вариант следует считать прямым посевом, так как No-till начинает проявляться после его наложения не менее четырех лет подряд (Сулейменов М.К., 2015).

Между тем в России не прекращаются споры об эффективности технологии возделывания сельскохозяйственных культур без обработки почвы. Имеются авторы, которые считают ее высокоэффективной, способствующей росту урожайности и экономической эффективности растениеводства (Эффективность No-till технологии..., 2021; Дридригер В.К. и др., 2021, Томашова О.Л. и др., 2021 и др.), другие, напротив, –

неприемлемой для почвенных климатических условий нашей страны. Зачастую ученые, опираясь на данные своих научных исследований, обосновывают непригодность этой технологии (Продуктивность яровых культур..., 2018), в то время как практики в этих же условиях много лет подряд получают по ней хорошие результаты (Сафиулин М.Р., 2015).

В публикациях, как правило, иностранных авторов имеется множество данных об эффективности технологии прямого посева (No-till), в основном технология широко применяется в Южной и Северной Америке и в Австралии (Gassen D.N., 1996; Кроветто, 2010; RanaivosonL. et al., 2017). Имеются издания и на русском языке (NO-TILL – Шаг к..., 2007; Либман М. и др., 2007; Экологическая оценка применения..., 2018).

Длительные исследования оценки технологии прямого посева и системного прямого посева проводятся и в России, например в Ставропольском крае В.К. Дридигером с соавторами (2020; 2021; 2023 и др.).

Исследования показали, что при системе прямого посева предшественники оказывали влияние на накопление влаги в почве, полевую всхожесть и продуктивную кустистость, засоренность посевов и, в конечном итоге, на урожайность, качество зерна озимой пшеницы и экономическую эффективность возделывания. Авторами установлено, что в течение всего периода вегетации самую большую вегетативную массу формируют растения озимой пшеницы при посеве после гороха, сои и эспарцета. Самую маленькую надземную массу имеет повторный посев озимой пшеницы, который больше засорён и сильнее поражается листостебельными болезнями, чем по другим предшественникам. И тут же делается вывод, что не следует сеять озимую пшеницу после озимой пшеницы при её возделывании без обработки почвы, хотя в регионе при традиционной (рекомендованной) технологии допускаются повторные посевы озимой пшеницы (Дридигер В.К. и др., 2018).

Зачастую на технологии прямого посева отличаются сроки посева культур, что объясняется как правило, наличием растительных остатков на поверхности почвы, большей влагозарядкой и более длительным периодом физического созревания

ния почвы из-за разности в температурном режиме. В связи с этим посев производится позже на несколько дней. Различия в сроках посева могут сказываться на сроках уборки, поэтому вопрос подбора предшественников возделываемых культур остается весьма важным.

В традиционном земледелии в системе защиты растений от вредных организмов большая роль отводится системе обработки почвы (Чуданов И.А., 2006, Казаков Г.И., 2008; Обработка почвы как..., 2014 и др.). На технологии прямого посева она отсутствует, соответственно возрастает роль других элементов системы земледелия. Как известно, пестициды не способны в полном объеме решить задачу по оптимизации фитосанитарного состояния почвы и посевов (Зубков А.Ф., 2011; Адаптивно-интегрированная защита..., 2019), поэтому возрастает роль подбора предшественников и севооборота как организационно-хозяйственного и превентивного метода в защите растений от вредных организмов.

Например, американский ученый R.L. Anderson (2003) для технологии No-till в целях снижения засоренности полей предлагает следующий подход: чередование культур с разными жизненными циклами (теплолюбивые и холодостойкие) дает возможность стимулировать естественное постепенное сокращение объема семян сорняков в почве путем исключения попадания в почву новых семян. Применение долгосрочных севооборотов показывает удивительную тенденцию: если севообороты состоят из одной холодостойкой культуры, после которой идет одна теплолюбивая культура, например, озимая пшеница – просо (или кукуруза, или соя), плотность произрастания сорняков быстро увеличивается, а если севообороты состоят из 4-х циклов, когда после двух холодостойких культур следуют две теплолюбивые культуры, популяция сорняков сокращается. Таким образом, им предложен закон ТТ-ХХ: чередование 2-х теплолюбивых и 2-х холодостойких культур. На восьмой год использования такого севооборота количество сорняков снижается в 6 раз.

В технологии прямого посева очевидны преимущества в возможности возделывания промежуточных культур в сево-

оборотах, которые увеличивают биологическое разнообразие, подобный подход сложно реализовать при обработке почвы. В ГОСТе 16265-89 «Земледелие. Термины и определения» написано, что промежуточные культуры – это сельскохозяйственная культура, выращиваемая в период времени, свободный от возделывания основных культур севооборота. В учебнике по земледелию (Баздырев Г.И. и др., 2013) отмечено, что промежуточные культуры (озимые, пожнивные, подсевные, поукосные) могут выполнять почвозащитную функцию и их называют почвопокровными, они защищают почву от эрозии, дают дополнительные урожаи, обогащают почву свежим органическим веществом, улучшают агрофизические свойства, фитосанитарный потенциал посевов и почвы.

Безусловно, что принципы построения севооборотов (адаптивности, биологической и хозяйственной целесообразности, плодосменности, периодичности, совместимости и самосовместимости, уплотненного использования пашни, специализации) следует соблюдать, независимо от применяемых технологий обработки почвы, но при технологии прямого посева имеется своя специфика.

Для технологии No-till профессор государственного университета Южной Дакоты D. Beck (2014) предлагает следующие примерно аналогичные принципы, добавляя, что система минимальной обработки почвы и No-till позволяют более разнообразный севооборот, при этом системы механической обработки почвы не позволяют этого сделать. Также им акцентировано внимание на том, что наличие животноводства позволяет разнообразить севообороты.

Современная классификация севооборотов, применяемая в нашей стране, основана на двух основополагающих признаках: 1) главный вид растениеводческой продукции, производимой в севообороте и 2) соотношение основных групп сельскохозяйственных культур, различающихся по биологии и технологии возделывания, их влиянию на плодородие почвы – зерновые культуры, многолетние травы, зернобобовые, пропашные, технические культуры, а также чистые и занятые пары (Лошаков В.Г., 2012). Такой подход в классификации

позволяет строить севообороты различной специализации и широко апробирован в практике.

Очевидно, что данная классификация в полной мере соответствует и применима для технологии прямого посева, например, по той причине, что в технологии прямого посева нет паров, или на «пропашных» культурах нет междурядной обработки, поэтому возникает вопрос: могут ли они называться «пропашными»?

D. Векв том же источнике (2014) для технологии No-till предложил свою условную классификацию севооборотов:

1) Простые севообороты – севообороты лишь с одной культурой каждого вида, которые используются в установленной последовательности. Например: пшеница – рапс; яровая пшеница – озимая пшеница – кукуруза – соя; кукуруза – соя; озимая пшеница – кукуруза – горох.

2) Простые севообороты с многолетними чередованиями – это простые севообороты, разнообразие в которые привносится путем добавления многолетней культуры в течение ряда лет. Например: кукуруза – соя – кукуруза – соя – кукуруза – соя – люцерна – люцерна – люцерна – люцерна (существует множество других).

3) Составные севообороты – это комбинация двух и более простых севооборотов в последовательности с целью создания более продолжительной и разнообразной системы. Например: яровая пшеница – озимая пшеница – кукуруза – соя – кукуруза – соя.

4) Сложные севообороты – севообороты, в которых чередуются культуры одного типа. Например: ячмень – озимая пшеница – кукуруза – подсолнечник – сорго – соя или ячмень – рапс – пшеница – горох. Примеры напоминают уже приведенные для составных севооборотов, но отличие в том, что ячмень заменил один цикл пшеницы, сорго – один цикл кукурузы, а подсолнечник – один цикл сои.

5) Двухлетние севообороты – один из наименее распространенных подходов в технологии No-till. Сюда относятся севообороты, где однолетние культуры растут в последовательности (обычно две), за которыми следует длительный пе-

рерыв. Например: пшеница – пшеница – кукуруза – кукуруза – соя – соя; ячмень – горох – рапс.

б) Частичные двухлетние севообороты. В данном подходе используется гибрид между двухлетними севооборотами и другими типами севооборотов. Смысл заключается в использовании двойных разновидностей культур, которые бы несли наибольшее преимущество. Этот тип севооборотов может быть самым эффективным. Преимуществом этого и других планирований севооборотов является понимание того, как работают природные циклы, чтобы использовать последовательности и интервалы для создания типов среды, благоприятных для культур, которые бы в то же время предотвращали проблемы. Например: рапс – озимая пшеница – соя – кукуруза – кукуруза и яровая пшеница – озимая пшеница – горох – кукуруза – просо – подсолнечник.

Как отмечалось выше, при разработке севооборотов для технологии прямого посева на передний план выходит принцип плодосменности, который предполагает ежегодную смену культур из разных хозяйственно-биологических групп, имеющих существенные различия в биологии и технологии возделывания.

Однозначно смена культур в севообороте должна определяться по типу корневой системы (мочковатая либо стержневая), что позволит создать условия для удовлетворения биологических, физических и химических причин необходимости чередования культур в севообороте (3 из 4-х существующих). Идеальная «формула» севооборота для плодосмены в «No-till» представляет собой X-X – T-T:1) Широколистные холодного периода – 2) Злаки холодного периода – 3) Широколистные теплого периода – 4) Злаки теплого периода. Реализация этого принципа в плодосменных севооборотах не должна выходить за рамки следующей структуры посевных площадей: зерновые культуры – 50,0 %, бобовые – 25,0 %, технические – 25,0 % (Рекомендации для специалистов..., 2019).

В нашей стране технология прямого посева (системы прямого посева) широко внедряется не более 20 лет, и тех-

нологическими приемами больше владеют агрономы, фермеры, а исследовательские работы ведутся только фрагментарно, отсутствуют комплексные программы, поэтому научные обоснования данной технологии практически отсутствуют. В частности, не разработаны методологические принципы подбора предшественников и построения схем севооборотов, тем более для конкретных региональных условий.

Глава 2. Почвенно-климатические условия лесостепной зоны Поволжья

2.1. Характеристика климатических условий региона

Поволжье – один из крупных сельскохозяйственных районов России. Район делится на 4 почвенно-климатические подзоны: лесостепь, засушливая черноземная степь, сухая степь и полупустынная степь. В почвенно-климатическом отношении Поволжье имеет ряд особенностей, определяющих пути и уровни развития сельскохозяйственного производства в целом.

Характерной чертой природных условий Поволжья является его континентальность, выраженная резкими температурными контрастами между зимой и летом, быстрым переходом от зимы к лету и другими континентальными явлениями. Другой характерной особенностью является резко выраженная неустойчивость и динамичность, обуславливающая возможность неожиданных и глубоких аномалий всех метеорологических элементов – света, тепла и осадков в отдельные периоды (Климатические условия и ресурсы..., 2008).

Лесостепная зона Поволжья расположена в бассейне Средней Волги и занимает восточную окраину обширной Русской равнины и включает Ульяновскую, Пензенскую области, северные районы Самарской области и южные районы Татарстана (Немцев Н.С., 2000).

Наши исследования проводились в центральной части лесостепной зоны Поволжья (Ульяновская область), что говорит об их репрезентативности. Ульяновская область расположена в Среднем Поволжье, имеет умеренно-континентальный климат. Увлажнение приближается к нормальному, за исключением некоторых участков южных районов и Заволжья (Колобов Н.В., 1968).

Волга делит территорию области на две части, резко отличающиеся по своему рельефу: на правобережную, возвышенную и левобережную, низменную (Заволжье). По совокуп-

ности почвенно-климатических и экономических особенностей область делится на четыре зоны: Западная, Центральная, Заволжская и Южная.

По условиям термического режима на территории области можно выделить два агроклиматических района, которые разделяются изотермой 2300°: I – умеренно теплый и более влажный (сумма температур выше +10° меньше 2300°), II – теплый и более засушливый (сумма температур выше +10° больше 2300°) (рис. 2.1).

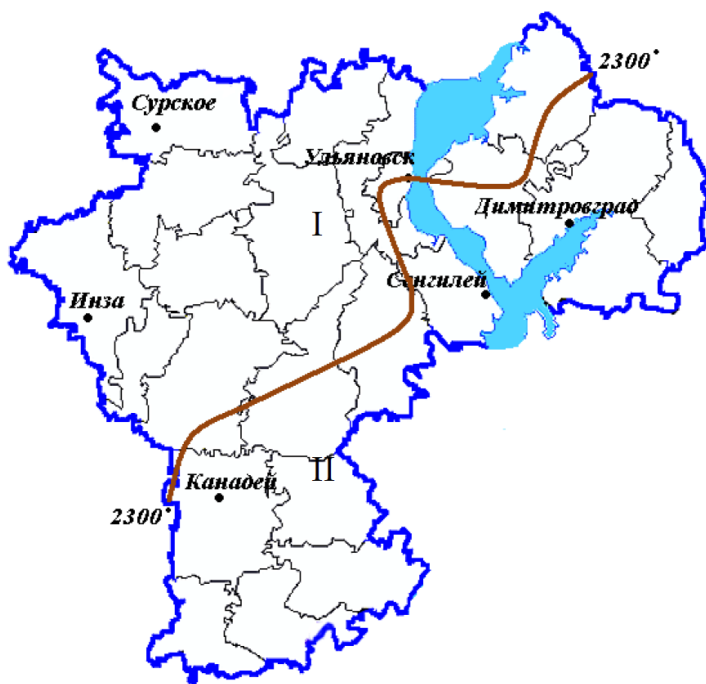


Рис. 2.1 – Карта-схема сумм активных температур на территории Ульяновской области

Средняя продолжительность периода активной вегетации сельскохозяйственных культур (выше 10°C) составляет

135-140 дней, а в отдельные годы 100-176 дней. По средним многолетним данным устойчивое промерзание почвы отмечается в конце первой – во второй декадах ноября, а полное оттаивание – в конце второй и в третьей декадах апреля. Средняя глубина промерзания почвы за зиму колеблется от 55 до 75 см.

По почвенно-климатическим зонам лесостепь Среднего Поволжья разделяют на две зоны. В первой зоне (Пензенская, западная часть Ульяновской, северо-западная часть Самарской областей с тучными черноземами и серыми лесными почвами) осадков за год выпадает 400-600 мм, в период активных температур – 310 мм. Сумма активных температур (выше 10 °С) составляет 2100-2700, продолжительность вегетационного безморозного периода – 130-155 дней. Показатель увлажнения – гидротермический коэффициент (ГТК) по Г.Т. Селянинову составляет 0,77-1,15 ед. (табл. 2.1).

Таблица 2.1 – Природно-сельскохозяйственное районирование территории лесостепной зоны Среднего Поволжья

Показатели	Зоны	
	Лесостепная с тучными мощными черноземами и серыми лесными почвами (зап. часть Ульяновской области)	Лесостепная со среднемощными серыми лесными (вост. часть Ульяновской области)
Осадки, мм		
за год	400-600	400-600
за период активных температур	310	280
Сумма активных температур выше 10 °С	2100-2700	2000-2400
Продол. периода, дней		
вегетации	130-155	130-145
безморозного	130-155	120-135
Показатель увлажнения ГТК	0,77-1,15	0,77-1,0

Е. К. Зоидзе (2000) предложил для оценки интенсивности атмосферных засух использовать гидротермический коэффициент (ГТК) Селянинова за май – июнь. При этом рассматривались 5 категорий интенсивности атмосферных засух: очень сильная ($ГТК_{V-VI} < 0,19$), сильная ($ГТК_{V-VI} = 0,20-0,39$), средняя ($ГТК_{V-VI} = 0,40-0,60$), слабая ($ГТК_{V-VI} = 0,61-0,75$), а также вариант с отсутствием засухи ($ГТК_{V-VI} > 0,75$).

Анализ вегетационных периодов за период с 1975 по 2023 гг. (по данным метеопоста п. Октябрьский Чердаклинского района) показал, что очень сильные засухи были отмечены 2 раза в 1981 и 1995 гг., сильные засухи повторялись 5 раз в 1975, 1979, 1998, 2010 и в 2023 гг., средней интенсивности засуха была отмечена 8 раз – в 2008, 2009, 2012, 2013, 2015, 2018, 2019 и 2021 гг., слабые засухи в 1991, 2002 и 2014 гг., а в остальные годы (всего 31 год из 49) засуха отсутствовала (табл. 2.2). В течение 49 лет засухи разной интенсивности повторялись 18 раз, т.е. повторяемость их составила 38,8 %, следует отметить, что за последние 10 лет засуха отмечалась 6 раз (чаще средней интенсивности).

Таблица 2.2 – Распределение вегетационных периодов по влагообеспеченности в период проведения исследований согласно классификации Е.К. Зоидзе и Т.В. Хомяковой (в период 1975-2023 гг.)

№ п/п	ГТК _{май-июнь}	Характер влагообеспеченности	Количество, лет	%
1	>1,5	Избыточная	11	22,4
2	1,5-1,41	Повышенная	4	8,2
3	1,41-1,10	Достаточная (оптимальная)	5	10,2
4	1,10-0,76	Недостаточная	11	22,4
5	0,75-0,61	Низкая (слабая засуха)	3	6,1
6	0,60-0,40	Очень низкая (средняя засуха)	8	16,3
7	0,40-0,21	Исключительно низкая (сильная засуха)	5	10,2
8	<0,20	Катастрофически низкая (очень сильная засуха)	2	4,1

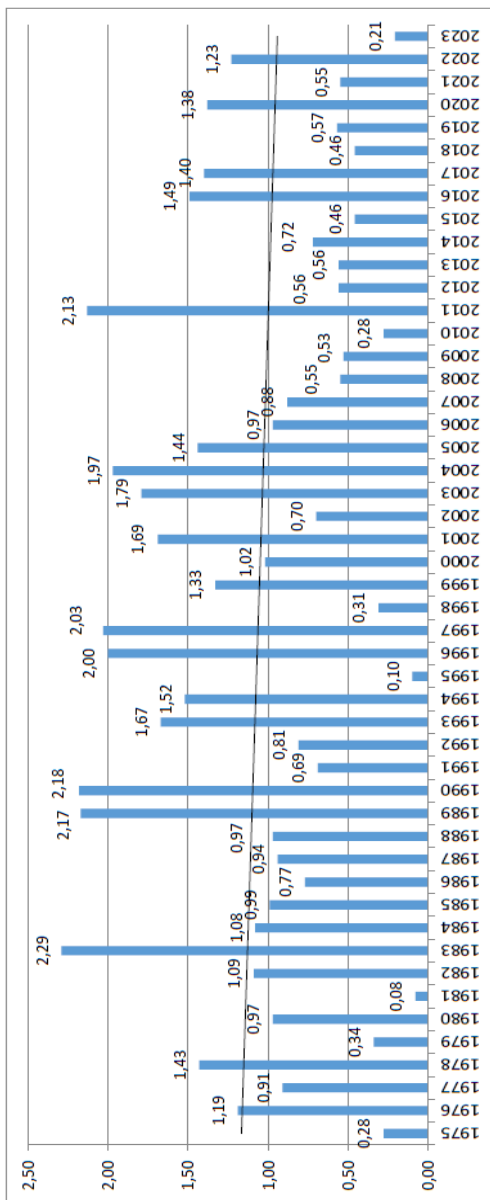


Рис. 2.2 – Значения гидротермического коэффициента Г.Т. Селянинова на май-июнь в период 1975–2023 гг. (по данным Октябрьского метеопоста)

2.2. Земельные ресурсы и почвенный покров

Площадь Ульяновской области составляет 37,18 тыс. км². Сельскохозяйственные угодья представляют собой обрабатываемые земли, а также земли, занятые пастбищами, лугами и многолетними насаждениями, на которые приходится более 60% земельного фонда области. Доля пашни от угодий составляет более 80%, пастбища и сенокосы – 17,6%, а многолетние насаждения занимают всего 0,4%.

Четвертая часть земельных ресурсов области занята лесами и кустарниками, а также водной поверхностью - около 6%. Прочие земли составляют 12% земельных ресурсов области и находятся под несельскохозяйственными предприятиями: городскими и сельскими населенными пунктами, промышленными предприятиями, транспортными путями, линиями электропередач, карьерами и отвалами, различными складами и базами и прочими объектами. Сюда же входят земли с неблагоприятными условиями (болота) и неудобные земли (пески, овраги), или малопродуктивные и непродуктивные земли.

Почвы Ульяновской области подвержены как эрозии (от стока талых и ливневых вод), так и совместному проявлению эрозии и дефляции, при этом эрозионными процессами охвачены 607 тыс. га, что составляет 29% сельскохозяйственных угодий, то есть, практически, каждый четвертый гектар пашни эродирован в различной степени. Эрозия проявляется в виде плоскостного смыва (сравнительно равномерный смыв почвы водой, не успевающей впитаться), струйчатого (образование неглубоких промоин) и линейного (размыв потоками воды почвы и материнской породы, образование оврагов) размыва от стока талых и ливневых вод. Наибольшее проявление эрозии проявляется в северо-западной и юго-восточной частях Правобережья (до 25 % угодий). Значительно развиты (до 10% угодий) такие процессы в центре восточного Предволжья. Несмотря на высокую распаханность, в меньшей степени (до

5%) процессы водной эрозии наблюдаются на северо-востоке Правобережья, а также в Заволжье на сельскохозяйственных угодьях.

В лесостепной зоне Поволжья, куда входит Ульяновская область, почвенный покров неоднороден. Первые обстоятельные исследования почв региона были выполнены в 1878 г. В.В. Докучаевым. Изучению почв региона посвящены также работы целого ряда авторов, которые отмечают значительную пестроту черноземных почв Поволжья по мощности гумусового горизонта, содержанию и запасам органического вещества, макро- и микроэлементов, водно-физическим свойствам и т.д. (Копосов И.П., 1948; Антонова Ж.А., 2011).

Почвенный покров области имеет две особенности. Первая связана с географическим положением: Ульяновская область находится в лесостепной зоне. Основной фонд земель составляют лесные (серые лесные, подзолистые) и степные (оподзоленные, выщелоченные, типичные, обыкновенные и тучные черноземы) почвы. Вторая особенность связана с геологическим строением, рельефом и гидрографией, что предопределяет формирование особых типов почв (карбонатных, солонцов и солодей, пойменных и болотных).

В Ульяновской области распространены дерново-подзолистые, серые лесные и черноземные почвы различных подтипов, родов разновидностей и разрядов (табл. 2.3). Обрабатываемые земли представлены в основном черноземами и серыми лесными почвами. Черноземы занимают около 65 %, лесные почвы – 25 %, остальные разновидности почв (луговые, пойменные, болотные и другие) встречаются небольшими массивами в виде отдельных пятен и на их долю приходится около 10 % пашни.

Почвы образуются под воздействием факторов почвообразования, которые могут идти в двух противоположных направлениях: к накоплению (обогащению) или рассеиванию (обеднению) минеральных и органических веществ. Первое из них ведет к формированию плодородных черноземов, второе – низкоплодородных серых и подзолистых почв. В идеале к обогащению (плодородию) почв ведут следующие факто-

*Таблица 2.3 – Почвенный фонд Ульяновской области
(Антонова Ж.А. и др., 2016)*

Типы и подтипы почв	Доля площади в %
Дерново-подзолистые преимущественно мелко- и неглубокоподзолистые	0,1
Дерново-подзолистые иллювиально-железистые	5,3
Светло-серые лесные	4,2
Серые лесные	14,0
Темно-серые лесные	5,5
Серые лесные неполноразвитые	3,7
Черноземы оподзоленные	12,3
Черноземы выщелочные	31,6
Черноземы типичные	7,3
Черноземы остаточно-карбонатные	6,4
Черноземы без разделения, преимущественно неполноразвитые	0,3
Лугово-черноземные	0,9
Пойменные слабокислые и нейтральные	3,2
Вода	5,2
Итого	100

ры: температура июля в пределах 18-21°C; непромывной тип водного режима; степной или луговой тип растительности; суглинистые материнские породы полиминерального состава; ровный рельеф. К обеднению (оподзоливанию) приводит комплекс следующих условий: средние июльские температуры равны 18-19°C; промывной тип водного режима; лесной тип растительности, особенно хвойный и сомкнутый; легкий (супесчаный, песчаный) механический состав; ровный дренарованный рельеф.

Чтобы понять размещение почв на территории Ульяновской области, необходимо спроецировать теоретические

условия формирования конкретных почв на сходные им региональные природные условия.

Карта почвенного покрова Ульяновской области и его гранулометрический состав приведен на рисунке 2.3.

Самыми плодородными почвами в Ульяновской области являются тучные черноземы, в которых содержание гумуса достигает 10-15% и встречающиеся, к сожалению, редкими островами. Они формируются на лучших материнских породах (средних суглинках полиминерального состава) при достаточном увлажнении и оптимальных условиях: при непромывном типе водного режима, без выщелачивания, при нейтральной реакции почвенного раствора, наличии мощного опада степной или луговой растительности, на 80% состоящего из остатков корневой системы растений. Они сложились в условиях, где формируются фитоценозы, в которых мочковатая корневая система злаковых и стержневая бобовых растений способствует образованию зернистой водопрочной структуры, которая, в свою очередь, обеспечивает хороший газовый, водный и солевой обмен и свободное развитие корневой системы.

Черноземы богаты азотом, фосфором, калием и другими минеральными веществами. В них формируются следующие генетические горизонты:

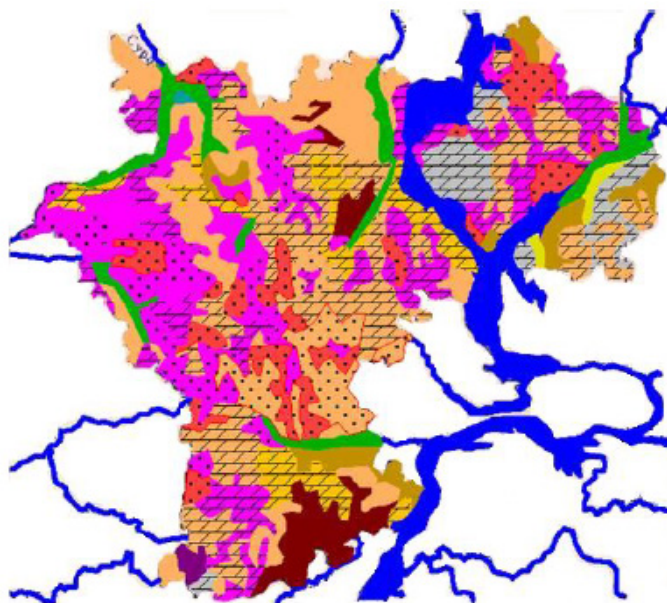
A_d – дерновина (до 0,15 м);

A_1 – перегнойно-аккумулятивный горизонт (до 0,5 м);

B – иллювиальный горизонт (от 0,25–0,35 м);

C – лесовидные суглинки (более 0,5 м).

Оподзоленные выщелоченные черноземы отличаются от других тем, что у них происходит вымывание и выщелачивание тонкодисперсных и растворимых веществ из верхних гумусированных горизонтов в нижние – иллювиальные. Они располагаются в районах, где повышенное количество влаги, легкий механический состав, хорошая дренированность поверхности. Данные типы почвы сформировались в северном почвенном районе – Сурский, Цильнинский, Карсунский, Вешкаймский, Майнский и Ульяновский административные районы; юго-западный – Инзенский, Барышский, северная часть Николаевского, западная часть Кузоватовского районов;



ПОЧВЫ И ИХ МЕХАНИЧЕСКИЙ СОСТАВ



Рис. 2.3 – Почвы Ульяновской области и их гранулометрический состав

юго-восточный – восточная часть Кузоватовского, Тереньгульского и Сенгилеевского районов; восточный почвенный район – на четвертичных отложениях к северо-западу от р. Большой Черемшан.

Обыкновенные черноземы занимают небольшие площади в восточном почвенном районе Заволжья (Чердаклинский район) и южном (Павловский, Старокулаткинский, Радищевский, южные части Николаевского и Новоспасского районов). Обыкновенные черноземы несколько уступают по плодородию тучным черноземам из-за меньшего количества гуминовых кислот, что, соответственно, понижает ценность других их качеств.

Карбонатные черноземы развиваются на карбонатных субстратах – мергелях, мелах и встречаются включениями среди обыкновенных, тучных и оподзоленных черноземов. Карбонаты материнских пород предопределили отличительные качественные признаки карбонатных горизонтов: частая вскипаемость с поверхности (щелочная реакция), щебнистость, беловато-серый цвет, пылеватость структуры, поэтому карбонатные черноземы уступают в плодородии другим черноземам. Они распространены в основном на сантонских плато верхнего мела в Сенгилеевском, Старокулаткинском, Радищевском районах, встречаются в Майнском, Карсунском и Новоспасском районах.

Долинные черноземы расположены по балкам и долинам больших и малых рек. Их происхождение связано с эрозией, лежащих на водоразделах и на склонах долин черноземов и других типов почв и с переносом продуктов этого разрушения, а затем и аккумуляцией их на почвах, расположенных ниже. В зависимости от типов этих процессов долинные черноземы делятся на два вида: 1) маломощные эрозионно-денудационные водоразделов; 2) аккумулятивные надпойменных террас. В случае если пойменные процессы больших и средних рек не затрагивают центральную пойму в течение многих лет, то пойменные зернистые почвы переходят в долинные аккумулятивные черноземы. Так как формирование долинных черноземов находится под влиянием механических воздействий,

происходящих относительно быстро, а биологические и биохимические процессы не успевают ассимилировать продукты разрушения, то долинные черноземы имеют блеклую окраску, комковато-пылеватую или зернисто-пылеватую структуру и невысокую емкость поглощения. Но необходимо отметить, что аккумулятивные процессы иногда настолько интенсивные, что образуются почвы с гумусированным горизонтом около 4-х метров (долина р. Шиловки).

К группе лесных почв относятся следующие типы: серые лесные дерново-подзолистые, перегнойно-карбонатные.

Серые лесные почвы развиваются под широколиственными лесами и занимают почти половину всей территории области. Они являются переходными от подзолистых (таежных) к черноземам (степным). От подзолистых они унаследовали слабокислую реакцию (рН 5,5–6,8), серый цвет, элювиальные горизонты, горизонты вымывания с железо-буроватого цвета, комковатую структуру. К черноземам их приближает большое количество гумуса (3–5%), они имеют полупромывной тип водного режима. Почвообразовательный процесс серых лесных почв приводит к кислой реакции почвенного раствора.

В серых лесных почвах формируются следующие генетические горизонты:

A_0 – темно-бурый, комковатый (0,1–0,2 м);

A_1 – серый, комковато-зернистый, суглинистый (0,3–0,4 м);

A_2 – светло-серый, бесструктурный, легкосуглинистый (0,3–0,5 м);

B – темно-бурый, призматический, часто щебнистый (более 0,3 м).

Довольно часто в лесах встречаются перегнойно-карбонатные почвы, развивающиеся на карбонатах. Они имеют нейтральную реакцию, иногда щелочную, водопрочную структуру (влияние кальция и щелочных свойств материнских карбонатов), более темную окраску. Эти почвы среди лесных – самые плодородные. Дерново-подзолистые почвы встречаются пятнами или полосами в тех местах, где материнскими породами являются пески, на которых растут сосновые боры.

Эти почвы встречаются на самых высоких рельефных уровнях, на палеогеновых песках в Сенгилеевском, Барышском, Инзенском районах, а также полосами в Старомайнском и Чердаклинском. Оподзоливание в них не развивается, а скорее, наоборот, затухает. Они малогумусные, бесструктурные и малоплодородные. В дерново-подзолистых почвах выделяются следующие генетические горизонты:

A_0 – лесная подстилка (0,1–0,15 м);

A – бесструктурный, супесчаный, цвет серый (до 0,15 м);

A_2 – супесчаного или песчаного механического состава, бежевого цвета (до 1 м и более);

B – вымывной горизонт коричневого цвета, суглинок, призматическая структура.

Дерново-карбонатные почвы встречаются в местах выходов верхнемеловых карбонатных отложений. Особенно их много на побережье Куйбышевского водохранилища, начиная от Ульяновска и до границ Самарской области. Эти почвы характеризуются сильной карбонатностью (вскипают с поверхности), щебнистостью, суглинистым механическим составом, распыленной структурой, небольшой (до 20–25 см) мощностью гумусированного горизонта. Они развиваются на склонах долин, балок и оврагов под скудной ксерофитной растительностью, которая образует дерновину, предохраняющую почву от разрушения. Дерново-карбонатные почвы малоплодородные и малопригодны для возделывания сельскохозяйственных культур, используются для лесоразведения и пастбищ. Они очень ранимы и даже при выпасе скота превращаются в безжизненные геологические обнажения.

Пойменные почвы формируются в поймах рек, где отмечается действие двух главных процессов: механического распределения аллювия и биологического, связанного с деятельностью биоты. Пойма делится на прирусловую, центральную и притеррасную. В каждой из них есть свои особенности, с которыми и связано образование разнообразных типов почв.

В прирусловой пойме наиболее динамичны процессы, вследствие которых здесь отлагается грубообломочный материал (песок, гравий, галька) и в ничтожных количествах –

тонкодисперсный. Растительность разрежена (белокопытник, осока), поэтому биологические процессы здесь в зачатке, отчего формируются лишь примитивные песчаные или галечные почвы.

В центральной пойме во время половодья скорость течения замедлена, и поэтому здесь отлагаются илы и алевриты. Более того, пойменные механические процессы выравнивают поверхность своими умеренными в скоростях водами, не уничтожая и не погребая глубоко мочковатую корневую систему пойменно-луговых многолетников, а лишь орошая их на долгое лето.

Биологические процессы не входят в противоречие с механическими пойменными, а гармонируют друг с другом. В этих условиях формируются пойменные почвы. Они чаще могут быть зернистыми, нежели слоистыми. Закономерность четкая: где сильнее биологические процессы, там формируются зернистые почвы, а где доминируют механические, там – слоистые.

Зернистые пойменные почвы в Среднем Поволжье очень напоминают черноземы. Слоистые же имеют слоистое строение: чередование песчаных, галечных и тонкодисперсных слоев. Зернистые могут перейти в слоистые в случае перебегания русла в данный район. Но и слоистые при длительном отсутствии механических процессов и при усилении биологических процессов трансформируются в зернистые.

В притеррасной пойме формируются почвы с глеевым горизонтом, так как здесь наблюдаются старичные процессы и грунтовые воды, вытекающие из террас. В целом эти почвы богаты органическими и минеральными солями, но из-за переувлажнения их считают потенциально плодородными. Они требуют осушения.

В южном и восточном почвенных районах области встречаются очень небольшими вкраплениями солонцы и солонды. Чаще их можно встретить юго-восточнее Мелекесского плеса, на границе с Самарской областью. Эти почвы образовались на склонах и днищах обширных западин. Сюда весной и осенью стекают насыщенные растворы с близлежащих участ-

ков земли, содержащих реликтовые соли. С другой стороны, в сухие и жаркие сезоны в этих западинах образуется выпотной тип водного режима, увеличивающий концентрацию солей. Солонцы возникают на склонах, а солоды – на днищах западин. Солонцы имеют очень плотный солонцовый горизонт, сочетающий в себе коллоиды и соли. Солоды влажны и вязки, что является следствием воздействия смешанного выпотного и застойного водного режимов. Если солонцы обладают солонцовым горизонтом, то солоды его не имеют, так как здесь он разбухает в воде и становится водоупорным горизонтом. Скопления диатомовых водорослей придают белесый цвет горизонту, который ошибочно принимают за подзолистый A_2 . Солоды не имеют хозяйственного значения.

Болотистые почвы развиты в Ульяновской области в основном по поймам рек в притеррасных местах, где находятся остаточные старицы, которые подпитываются подземными водами. Эти почвы глеевые и часто заторфованы. Глеевый сметанообразный горизонт B_2 образуется под влиянием застойного типа водного режима, который содержит закисные формы железа, придающие горизонту сизо-голубоватую или зеленоватую окраску. Они потенциально плодородные, но требуют мелиорации. Самые большие площади, занятые болотистыми почвами, находятся в поймах рек Большой Черемшан, Свяяга, Барыш.

Опытное поле Ульяновского ГАУ, где проводилась большая часть исследований, результаты которых представлены в настоящей работе, расположено в левобережном агропочвенном районе. Основными почвообразующими породами являются древнеаллювиальные отложения в виде разнообразных суглинистых осадков.

Рельеф левобережья Ульяновской области представляет собой слабоволнистую равнину, высота над уровнем моря 40-50 м. В почвенно-климатическом отношении опытное поле Ульяновского ГАУ относится к лесостепной зоне.

Почва опытного участка – чернозем выщелоченный среднеспособный среднесуглинистый, характеризующийся следующими морфологическими признаками по горизонтам:

A_n 0-30 см – темный, зернисто-пылеватый комковатый, густо пронизан корнями растений, переход постепенный, средний суглинок;

A 30-50 см – темно-серый, зернисто-комковатый, однороден по окраске, переход постепенный, средний суглинок;

B_1 50-100 см – светло-бурый, зернисто-комковатый, увлажнен, переход постепенный, средний суглинок;

B_2 100-150 см – желтоватый, бесструктурный, рыхлый, переход постепенный, легкий суглинок;

C более 150 см – желтый, бесструктурный, рыхлый, влажный, переход постепенный, легкий суглинок (рис.2.4.).



Рис. 2.4 – Чернозем выщелоченный среднесуглинистый опытного поля Ульяновского ГАУ

Химический анализ почвы опытных участков, проведенный в различные годы, показал, что по содержанию гумуса она относится к малогумусным – от 4,3 до 4,8 %. Реакция среды в пахотном слое почвы слабокислая – $\text{pH}_{\text{сод.}}$ 5,8-6,0, содержание подвижного фосфора повышенное – 105-150 мг/кг, обменного калия – высокое 137-200 мг/кг. Степень насыщенности основаниями составляет 96,4-97,9 %, сумма поглощенных оснований 25,5-27,8 мг.-экв./100 г почвы.

Глава 3. Научное обоснование технологии прямого посева в условиях лесостепи Среднего Поволжья

3.1. Агрофизические свойства почвы

Научной основой обработки почвы является, прежде всего, оптимизация агрофизических свойств почвы, важно изучать динамику их изменения при применении технологии прямого посева при возделывании полевых культур. По Д.Н. Прянишникову (1939), причины физического порядка чередования культур обусловлены неодинаковым воздействием корневых систем сельскохозяйственных растений на агрофизику почвы, в частности на ее плотность и структуру.

3.1.1. Структурно-агрегатный состав почвы

Физические свойства почвы – важный, а иногда решающий фактор формирования урожая сельскохозяйственных культур и эффективности различных приемов их возделывания (Роде А.А., 1971). Хорошо оструктуренная почва имеет благоприятные водно-воздушные свойства, способна противостоять антропогенному воздействию и требует меньших затрат энергии для обработки, поэтому создание оптимальных для культур агрофизических условий посредством улучшения структурного состояния является одной из основных задач обработки почвы и систем удобрений (Казаков Г.И., 2008; Королев В.А., 2004; Кроветто К.Л., 2010; Gheorghe Jigau et al., 2012; Hasanova A.O., 2021).

Для оценки структурного состояния почвы С.И. Долговым и П.У. Бахтиным (1966) предложена следующая шкала: отличная считается, если содержание агрегатов размером от 10 до 0,25 мм при фракционировании воздушно-сухого образца составляет более 70 %, хорошее – 70...55 %, удовлетворительное – 55...40 %, неудовлетворительное 40...20% и плохое – менее 20 %. Обобщающей оценкой структурного состояния почвы является коэффициент структурности, то есть отноше-

ние макроагрегатов размерами 0,25...10 мм к сумме агрегатов меньше 0,25 мм и комков больше 10 мм (Вадюнина А.Ф., Корчагина З.А., 1986).

В вопросе влияния приемов обработки почвы на ее структурно-агрегатный состав нет единого мнения. По данным Ю.Н. Плескачева, И.Б. Борисенко (2005), применение почвообрабатывающих орудий является важнейшим условием значительного улучшения физических и водно-физических свойств почвы и их структурного состояния, т.е. рабочие органы почвообрабатывающих орудий измельчают почву и улучшают ее структуру. По данным И.Б. Ревут (1972), почвообрабатывающие орудия разрушают некоторую часть почвенных агрегатов, но и в тоже время воссоздает множество других агрегатов.

В тоже время Г.И. Уваров (2008) отмечает, что за 100 лет сельскохозяйственного использования пахотных земель коэффициент структурности снизился по сравнению с целинной с 3,2 до 1,98, критерий водопрочности – с 134 до 103 %. Эти показатели дают основание отнести длительно обрабатываемые земли к низкому уровню окультуренности по физическим свойствам.

Еще в работах А.А. Измаильского (1949), П.А. Костычева (1949) показано изменение структуры почвы в результате распашки целинных почв при возделывании сельскохозяйственных культур. Длительная нерациональная распашка сопровождается разрушением структуры, образованием пыли и глыб, снижением содержания водопрочных агрегатов.

Гумусовые вещества, образованные при разложении корней растений, обладают способностью к агрегированию почвы, особенно ульминовые кислоты (Кононова А.А., 1963).

Современная теория структурообразования почвы объясняется поступающим органическим веществом в почву и образованием гломалина – гликопротеина, вырабатываемого в большом количестве гифами и спорами грибов арбускулярной микоризы в почве и в корнях растений (Glomalin: Hiding Place, ..., 2002). Ряд исследований показывает, что развитие грибов возможно в условиях минимальной обработки почвы и невысоких доз внесения минеральных удобрений (Enhancing soil

carbon..., 2011.; Glomalin-related soil ..., 2011; The arbuscular mycorrhizal, ... 2007; Enhancing soil carbon ..., 2011).

В результате исследований нами установлено, что агрономически ценных агрегатов в черноземе выщелоченном после посева яровой пшеницы по рекомендованной технологии содержалось от 40,3 до 71,0 % с коэффициентом структурности 2,36-2,49 ед., а по прямому севу качество почвы было выше, ценных агрегатов содержалось от 72,8 до 73,2 %, при коэффициенте структурности – 2,67-2,73 ед. При этом не выявлены различия по нормам внесения минеральных удобрений (табл. 3.1).

Таблица 3.1 – Структурно-агрегатный состав чернозема выщелоченного под посевами полевых культур в зависимости от технологии возделывания (2021 – 2022 гг.)

Культура	Технология Фактор А	Норма удобрения, кг/га д.в. Фактор В	Содержание агрегатов в слое 0-30 см							
			Посев				Уборка			
			>10	10-0,25	<0,25	К _{стр.}	>10	10-0,25	<0,25	К _{стр.}
Яровая пшеница	рекомендованная	б/у	23,6	70,3	6,1	2,36	23,0	71,7	5,3	2,53
		N ₄₅ P ₃₀ K ₃₀	23,0	71,0	6,0	2,45	22,8	72,1	5,1	2,58
		N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	23,4	70,7	5,9	2,41	23,1	71,9	5,0	2,56
	прямой посев	б/у	24,0	72,8	3,2	2,67	23,2	74,0	2,8	2,85
		N ₄₅ P ₃₀ K ₃₀	23,5	73,2	3,3	2,73	23,0	74,1	2,9	2,88
		N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	23,7	72,9	3,4	2,69	23,3	74,0	2,7	2,85
Ячмень	рекомендованная	б/у	24,5	69,1	6,4	2,24	24,0	69,9	6,1	2,32
		N ₄₅ P ₃₀ K ₃₀	24,0	69,5	6,5	2,28	23,0	71,1	5,9	2,46
		N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	23,9	69,5	6,6	2,28	23,5	70,6	5,9	2,40
	прямой посев	б/у	24,4	72,2	3,4	2,60	24,0	73,9	3,0	2,74
		N ₄₅ P ₃₀ K ₃₀	24,1	72,1	3,8	2,58	23,8	73,2	3,0	2,73
		N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	24,6	71,7	3,7	2,53	24,1	72,7	3,2	2,66

В опытах с яровым ячменем агрономически ценных почвенных агрегатов было несколько ниже: 69,1-69,5 % на полях с рекомендованной технологией (коэффициент структурности 2,24-2,28), а на прямом посеве – 71,7-72,2 % при коэффициенте структурности 2,53-2,68 ед.

По шкале оценки состояния почвы она оценивается как хорошо оструктуренная. За период от посева до уборки культур снижалась доля глыбистых агрегатов (более 10 мм) и пылевой фракции (меньше 0,25 мм) с увеличением содержания агрономически ценных агрегатов.

Различия в структурно-агрегатном состоянии и почвы под зерновыми культурами объясняется неодинаковым воздействием технологий, и, как мы считаем, последствием предшественников в севообороте. Прослеживалось улучшение структурного состояния почвы на прямом посеве в сравнении с рекомендованной технологией ее обработки.

3.1.2. Плотность почвы и сопротивление пенетрации

Одним из важных показателей агрофизических свойств почвы является её плотность, от которой зависят водно-воздушные и биологические свойства, а также водопроницаемость почвы, водоудерживающая способность, распространение корней культурных растений и в целом создание благоприятных условий формирования урожая (Влияние длительного применения..., 2017).

В последние годы обострилась проблема переуплотнения почв, связанная с использованием тяжелой техники и многократными проходами мобильных орудий по полю, что приводит к уменьшению крупных пор, ухудшению водо- и воздухопроницаемости и заметному снижению урожайности полевых культур.

Плотность почвы является одним из важнейших свойств, определяющих ее физическое состояние. Оптимальная плотность почвы по данным ряда авторов составляет от 1,00 (Иванов А.И., Иванова Ж.А., 2019; Коржов С.И., Трофимова Т.А., 2019) до 1,40 г/см³ (Баздырев Г.И. и др., 2013). Для большинства сельскохозяйственных культур оптимальная величина

плотности пахотного горизонта на суглинистых и глинистых почвах варьирует от 1,0 до 1,2 г/см³. Вред избыточного уплотнения проявляется в повышенном сопротивлении почвы проникновению вглубь ее профиля растущих корней растений, в ухудшении всех режимов, снижении биологической активности (Лошаков В.Г., 2012).

В ходе исследований нами было установлено, что технологии посева оказывали влияние на плотность посевного горизонта почвы. При посеве яровой пшеницы значение данного показателя в слое 0-10 см по рекомендованной технологии составило 1,12-1,13 г/см³, а по технологии прямого посева – 1,20-1,21 г/см³. В слое 10-20 см данный показатель возрастал до 1,22-1,24 г/см³ и 1,26-1,27 г/см³ соответственно технологиям, а в слое 20-30 см соответственно до 1,27-1,28 г/см³ и 1,29-1,31 г/см³ (табл. 3.2).

К фазе колошения происходило существенное уплотнение всего пахотного слоя, составляя в слое 0-10 см – 1,15-1,16 г/см³, в слое 10-20 см – 1,26-1,28 г/см³ и горизонте 20-30 см – 1,30-1,31 г/см³ это по рекомендованной технологии. На полях с прямым посевом плотность почвы была выше на 0,02 – 0,03 г/см³, но в пределах оптимальных значений для яровой пшеницы.

К уборке яровой пшеницы, различия в значениях плотности почвы между технологиями были минимальными.

Таким образом, более рыхлая почва отмечалась на варианте с обработкой почвы, но, следует отметить, на прямом посеве значения плотности почвы не выходили за пределы «равновесной плотности» для черноземных почв и оптимальной объемной массы для возделывания пшеницы. Минеральные удобрения не оказывали существенного влияния на данный показатель.

Аналогичные закономерности в изменениях плотности почвы чернозема выщелоченного среднесуглинистого были получены при оценке данного показателя в посевах ячменя, который возделывался в том же севообороте (табл. 3.3).

Исследования, проведенные на черноземе типичном тяжелосуглинистом, показали, что в результате осенней отвальной обработки почвы, её плотность перед посевом яровых

культур в слое почвы 0-10 см составляла 1,02 г/см³, тогда как на варианте без обработки почвы – 1,08 г/см³, более заметное повышение плотности почвы отмечалось в слое почвы 10-20 см – с 1,08 до 1,20 г/см³. В слое почвы 20-30 см существенных различий по плотности почвы не отмечено (табл. 3.4).

Таблица 3.2 – Плотность почвы под яровой пшеницей при разных технологиях возделывания, г/см³, 2021-2022 гг.

Технология Фактор А	Норма удобрения, кг/га д.в. Фактор В	Слой почвы, см	Посев	Колошение	Полная спелость
Рекомендованная технология	без удобрений	0-10	1,12	1,15	1,21
		10-20	1,22	1,28	1,30
		20-30	1,27	1,31	1,32
		0-30	1,20	1,25	1,28
	N ₄₅ P ₃₀ K ₃₀	0-10	1,13	1,16	1,22
		10-20	1,22	1,26	1,29
		20-30	1,28	1,30	1,32
		0-30	1,21	1,24	1,28
	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	0-10	1,12	1,15	1,20
		10-20	1,24	1,27	1,28
		20-30	1,27	1,30	1,31
		0-30	1,21	1,24	1,26
Прямой посев	без удобрений	0-10	1,20	1,23	1,25
		10-20	1,26	1,29	1,30
		20-30	1,29	1,31	1,34
		0-30	1,25	1,28	1,30
	N ₄₅ P ₃₀ K ₃₀	0-10	1,21	1,24	1,26
		10-20	1,26	1,28	1,32
		20-30	1,30	1,32	1,34
		0-30	1,26	1,28	1,31
	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	0-10	1,20	1,23	1,25
		10-20	1,27	1,29	1,31
		20-30	1,30	1,31	1,33
		0-30	1,26	1,28	1,30

Таблица 3.3 – Плотность почвы под яровым ячменем в технологиях возделывания, г/см³, 2021-2022 гг.

Технология Фактор А	Норма удобрения, кг/га д.в. Фактор В	Слой почвы, см	Посев	Колошение	Полная спелость
Рекомендованная технология	без удобрений	0-10	1,13	1,16	1,22
		10-20	1,22	1,28	1,30
		20-30	1,26	1,31	1,32
		0-30	1,20	1,25	1,28
	N ₄₅ P ₃₀ K ₃₀	0-10	1,12	1,15	1,21
		10-20	1,22	1,27	1,29
		20-30	1,28	1,30	1,31
		0-30	1,21	1,24	1,27
	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	0-10	1,13	1,17	1,22
		10-20	1,20	1,28	1,30
		20-30	1,27	1,31	1,32
		0-30	1,20	1,25	1,28
Прямой посев	без удобрений	0-10	1,22	1,24	1,26
		10-20	1,25	1,29	1,30
		20-30	1,32	1,32	1,33
		0-30	1,27	1,28	1,30
	N ₄₅ P ₃₀ K ₃₀	0-10	1,21	1,26	1,28
		10-20	1,26	1,30	1,31
		20-30	1,33	1,33	1,34
		0-30	1,27	1,30	1,31
	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	0-10	1,21	1,26	1,28
		10-20	1,25	1,30	1,32
		20-30	1,33	1,32	1,33
		0-30	1,26	1,29	1,31

Проведенные длительные исследования показывают высокую степень связи плотности сложения и твердости чернозема выщелоченного (Тойгильдин А.Л., 2018). Если не принимать во внимание изменяющуюся влажность почвы, то

Таблица 3.4 – Динамика изменения водно-физических свойств почвы в зависимости от технологий возделывания культур (звено севооборота: яровая пшеница – соя – соя) 2019-2021 гг.

Показатели	Слой почвы, см	Варианты технологии		НСР ₀₅
		рекомендованная	прямой посев	
перед посевом				
Плотность почвы, г/см ³	0-10	1,02	1,08	0,05
	10-20	1,08	1,19	0,07
	20-30	1,13	1,17	0,05
	0-30	1,08	1,15	0,06
Влажность почвы, %	0-10	21,3	22,2	1,2
	10-20	21,1	19,3	1,9
	20-30	21,1	19,7	2,0
	0-30	21,2	20,4	1,9
перед уборкой				
Плотность почвы, г/см ³	0-10	1,11	1,12	0,05
	10-20	1,10	1,15	0,08
	20-30	1,13	1,18	0,03
	0-30	1,11	1,15	0,06
Влажность почвы, %	0-10	23,8	23,6	2,1
	10-20	23,3	22,5	3,4
	20-30	22,0	17,1	3,2
	0-30	23,0	21,1	2,5

связь между искомыми показателями описывается постепенно возрастающей кривой (рис. 3.1).

При оценке связи влажности (%) и твердости почвы (кг/см²) выявлена обратная степенная связь, что представлено на рисунке 3.2.

Если в модель, отражающую динамику твердости почвы, добавить влияние влажности и плотности, то зависимость резко усложняется (рис. 3.3). Взаимодействие указанных по-

казателей характеризует следующее уравнение (модель):
 $T = 39,973 - 8,043p + 102,163W + 0,078p^2 + 2,793pW - 58,73W^2$.

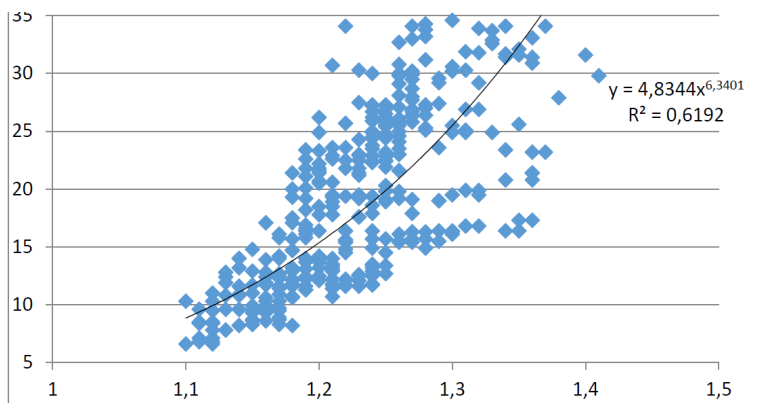


Рис. 3.1 – Зависимость между твердостью почвы (y, г/см²) и плотностью почвы, (x, г/см³)

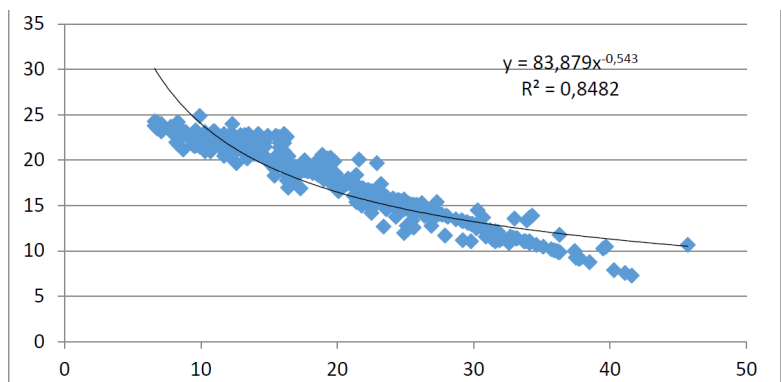


Рис. 3.2 – Зависимость между твердостью почвы (y, г/см²) и влажностью почвы, (x, %)

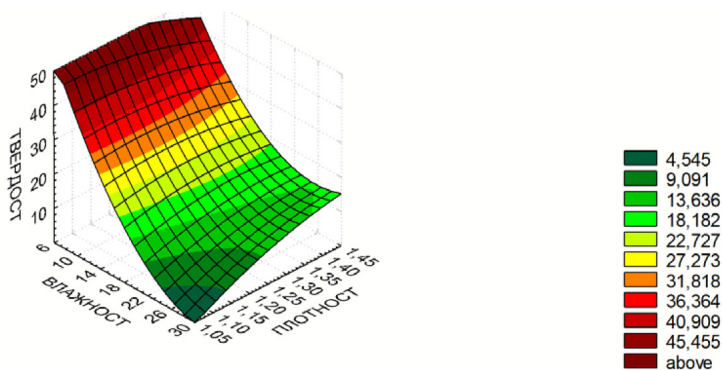


Рис. 3.3 – Зависимость твердости почвы (T , кг/см²) от влажности почвы (W , %) и ее плотности (p , г/см³)

Таким образом, показатели плотности и сопротивление пенетрации чернозема выщелоченного при прямом посеве полевых культур находятся в оптимальных пределах для развития растений. К концу вегетации, особенно в годы с недостаточным количеством осадков, независимо от испытываемых технологических приемов, происходило увеличение плотности почвы и показания сопротивления пенетрации почвы.

3.2. Влагообеспеченность посевов полевых культур

Многочисленными исследованиями установлено, что в условиях Среднего Поволжья влагообеспеченность является лимитирующим фактором продуктивности сельскохозяйственных культур (Горянин О.И., Джангабаев Б.Ж., 2021; Продуктивность озимой пшеницы..., 2020). Вода находится в первом минимуме. Согласно закону минимума, влага определяет величину и качество урожая, а также отдачу от других факторов – севооборота, удобрений, сорта и т.д.

Известно, что накопление влаги в почве определяется количеством осадков, выпавших при среднесуточной температуре воздуха не более 15 °С (в условиях Среднего Поволжья

– сентябрь – ноябрь, март, апрель), также свойствами почвы, а, прежде всего, агрофизическим состоянием и содержанием органического вещества.

Наши исследования показали, что к посеву яровой пшеницы в слое почвы 0-20 см по технологии прямого посева в весенний период накапливалось 25,0-25,8 мм продуктивной влаги, что больше, чем на рекомендованной технологии (с предварительной подготовкой почвы) на 2,0-3,1 мм или на 8,7-13,7 %. В слое почвы 0-100 см на технологии прямого посева также содержалось больше продуктивной влаги на 11,6-16,7 мм или на 8,1-11,7 %. Преимущество технологии прямого посева по влагообеспеченности посевов сохранялось до уборки яровой пшеницы (табл. 3.5).

Таблица 3.5 – Динамика запасов продуктивной влаги в посевах яровой пшеницы в зависимости от агротехнологий, мм (2021-2023 гг.)

Технология	Норма удобрения, кг/га д.в.	Слой почвы, см	Период определения		
			посев	колошение	уборка
Рекомендованная	б/у	0-20	22,6	15,9	12,1
		0-100	141,6	75,2	54,0
	N ₄₅ P ₃₀ K ₃₀	0-20	23,4	15,4	12,0
		0-100	143,0	76,1	51,8
	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	0-20	23,0	15,0	11,4
		0-100	142,8	76,2	49,5
Прямой посев	б/у	0-20	25,7	18,6	16,0
		0-100	155,6	83,4	72,6
	N ₄₅ P ₃₀ K ₃₀	0-20	25,8	18,0	15,6
		0-100	159,5	82,0	69,9
	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	0-20	25,0	17,3	16,0
		0-100	154,4	81,3	66,3

Суммарное водопотребление растениями яровой пшеницы складывалось из потребления влаги из почвы и выпавших осадков в течение вегетации, данные представлены в таблице 3.6.

**Таблица 3.6 – Водопотребление яровой пшеницы
в зависимости от технологии возделывания за 2021-2023 гг.**

Технология	Норма удобрения, кг/га д.в.	Запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы, мм		Убыло из почвы, мм	Осадки, мм	Водопотребление	
		посев	уборка			Q, мм	Кв, м ³ /т
Рекомендованная	б/у	141,6	54,0	87,6	120,3	207,9	710
	N ₄₅ P ₃₀ K ₃₀	146,0	49,8	96,2	120,3	216,5	588
	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	142,8	46,5	96,3	120,3	216,6	557
Прямой посев	б/у	155,6	72,6	83,0	120,3	203,3	696
	N ₄₅ P ₃₀ K ₃₀	159,5	70,9	88,6	120,3	208,9	585
	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	154,4	66,3	88,1	120,3	208,4	547

За вегетационный период посевами яровой пшеницы было израсходовано в среднем 207,9-216,6 мм по рекомендованной технологии и 203,3-208,9 мм по прямому посеву. Различия отмечались по фонам удобрений, на фоне без удобрений растениями было израсходовано меньше влаги как на рекомендованной технологии (207,9 мм), так и на прямом посеве (203,3 мм).

Одним из информативных показателей использования растениями влаги является коэффициент водопотребления (Кв), который выражает количество израсходованной воды на образование единицы продукции.

Анализ данных показал, что более рационально продуктивная влага была использована по технологии прямого посева – 696-547 м³/т, что меньше, чем по рекомендованной технологии на 3-14 м³/т. Также установлено, что продуктивная влага на формирование урожая на фоне минеральных удобрений использовалась более эффективно. При возделывании яровой пшеницы без удобрений коэффициент водопотребления был наибольшим – 696 на прямом посеве и 710 м³/т

на рекомендованной технологии. На фоне $N_{45}P_{30}K_{30}$ значение коэффициента снизилось соответственно до 585 и 588 м³/т, а на фоне $N_{90}P_{60}K_{60}$ – до 557 и 547 м³/т.

Таким образом, при внесении минеральных удобрений продуктивная влага использовалась более эффективно, экономия составила от 111-122 м³/т (15,9-17,2 %) на фоне $N_{45}P_{30}K_{30}$ до 149-153 м³/т (25,5-26,0 %) на фоне $N_{90}P_{60}K_{60}$ по отношению к контролю.

Исследования влажности почвы и водопотребления под посевами ячменя выявили следующую тенденцию: наиболее высокие запасы продуктивной влаги в слое почвы 0-20 см перед посевом ячменя были отмечены также по технологии прямого посева (27-29 мм), включающей в себя использование минеральных удобрений в дозе $N_{45}P_{30}K_{30}$ и $N_{90}P_{60}K_{60}$. Применяемая технология, несмотря на различные погодные условия и количество осадков в весенний период, обеспечивала получение дружных всходов ячменя из-за лучшего влагообеспечения верхнего слоя. Превышение над традиционной технологией составило 4-6 мм, что может характеризоваться всего лишь как тенденция, но все же это определяет лучшую полноту всходов по варианту прямого посева. В метровом слое почвы запасы влаги достигали 169-170 мм по вспашке и 164-166 мм по прямому посеву (табл.3.7).

Растительные остатки предшествующей гречихи, оставленные на поверхности поля при посеве ячменя без обработки, способствовали большому накоплению продуктивной влаги перед посевом только в верхнем двадцатисантиметровом слое.

Вносимые удобрения не оказали существенного влияния на содержание доступной влаги во время посева, но перед уборкой по обеим технологиям возделывания количество продуктивной влаги было несколько больше на делянках без внесения минеральных удобрений. По рекомендованной технологии на удобренных фонах в метровом слое почвы содержалось 61 мм по технологии прямого посева 61-63 мм доступной влаги, тогда как без внесения удобрений, соответственно 65-66 мм. Снижение запасов почвенной влаги при внесении удобрений связано с более мощным развитием растений и

большей урожайностью ячменя и, соответственно, большим потреблением влаги.

Таблица 3.7 – Водопотребление ячменя в зависимости от технологии и удобрений (среднее за 2021 – 2022 гг.)

Технология	Норма удобрения, кг/га д.в.	Продуктивная влага в слое 0-100 см		Осадки за период посев-уборка, мм	Общий расход влаги посевами, мм	Водопотребление, т/т зерна
		посев	уборка			
Рекомендованная	б/у	169	65	154,6	258,6	801
	N ₄₅ P ₃₀ K ₃₀	169	61	154,6	262,6	692
	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	170	61	154,6	263,6	620
Прямой посев	б/у	164	66	154,6	252,6	840
	N ₄₅ P ₃₀ K ₃₀	166	63	154,6	257,6	688
	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	164	61	154,6	257,6	622

Согласно данным, общей расход влаги в посевах ячменя за вегетацию на вариантах без удобрений составил 258,6 мм по традиционной технологии и 252,6 мм на варианте без удобрений (прямой посев), тогда как на вариантах с внесением минеральных удобрений общий расход влаги варьировал от 262,6 до 263,6 мм по рекомендованной технологии и 257,6 мм по прямому посеву.

Кроме того, нами было выявлено преимущество технологии прямого посева по накоплению продуктивной влаги на черноземе типичном тяжелосуглинистом (на базе ООО «Агростандарт», Новоспасский район Ульяновской области). Исследованиями установлено, что перед посевом запасы продуктивной воды в 0-30 см по рекомендованной технологии составляли 35,3 мм, а по прямому посеву – 40,2 мм, к уборке запасы доступной влаги уменьшились до 18,6 мм на вспашке, и до 21,2 мм на прямом посеве (рис. 3.4).

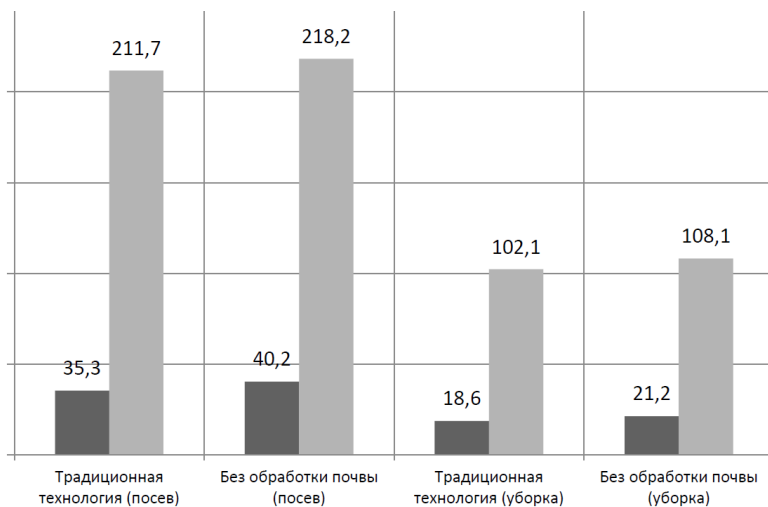


Рис. 3.4 – Содержание продуктивной влаги в почве в зависимости от технологий возделывания культур (звено севооборота: яровая пшеница – соя - соя), мм (2019-2021 гг.)

Накопление продуктивной влаги в посевном и метровом слоях почвы обуславливается, прежде всего, водопроницаемостью и агрофизическими свойствами почвы, а также наличием мульчирующего слоя на поверхности почвы. Например, исследованиям В.К. Дридигера и А.Н. Джандарова (2021) установлено, что возделывание гороха по технологии No-till не приводит к переуплотнению чернозёма обыкновенного, но обеспечивает большее накопление и сохранение влаги в почве в течение всего периода вегетации культуры, которую растения используют для формирования существенно большего урожая при внесении минеральных удобрений, аналогичные данные получены при изучении озимой пшеницы (Дридигер В.К., 2021) и сои (Дридигер В.К., Гаджиумаров Р.Г., 2021).

Преимущество технологии прямого посева объясняется тем, что растительные остатки обладают полифункциональными свойствами, оказывая действие на биологические, химические и

физические свойства почвы, а также являются источником элементов питания, служат энергетической основой функционирования микробоценозов, осуществляющих минерализацию и иммобилизацию соединений азота. Постоянное наличие на поверхности почвы слоя мульчи влияет на трансформацию отмершего растительного вещества. Доказано, что мульчирующий слой уменьшает потери влаги из почвы и понижает температуру поверхностного слоя (Азот в черноземах..., 2018).

Наши исследования показали, что в период посева влажность почвы и содержание продуктивной влаги на прямом посеве были достоверно выше, а преимущество сохранялось до уборки, при этом влага использовалась более эффективно.

3.4. Динамика изменения засоренности посевов

Исследования, проведенные различными авторами, показывают, что сорные растения существенно снижают урожай сельскохозяйственных культур и зачастую его потери могут достигать 30 % и более (Захаренко В.А. Захаренко А.В., 2007; Захаренко В.А., 2018; Взаимодействие культурных растений..., 2018). Даже в современных условиях, когда применяются самые передовые технологии, на многих полях агропредприятий Ульяновской области засоренность посевов превышает показатели экономических порогов вредоносности, что приводит к недобору урожая, ухудшению качества продукции и дополнительным затратам, повышая себестоимость получаемой продукции (Адаптивно-ландшафтная система земледелия..., 2017).

Агрофитоценозы формируются как комплексные функционально связанные растительные сообщества культурных и сорных растений, а взаимоотношения растений в агрофитоценозе составляют его существо и содержание, определяющее видовой состав компонентов, строение и развитие (Миркин, Б.М., 2001), что вызывает необходимость регулярной оценки агрофитоценозов по указанным параметрам.

Современная стратегия защиты растений от сорняков направлена на регулирование и управление структурой расти-

тельных сообществ с учетом биологических и экологических особенностей сорных растений за счет механизмов формирования агрофитоценозов и повышения конкурентоспособности культурных растений (Адаптивно-интегрированная защита..., 2019). Для успешной реализации данной стратегии необходимо использовать информацию о количественном и видовом составе сорных растений в агрофитоценозах, а данные о динамике изменения их видового и количественного состава позволяют провести анализ и принять управленческие решения для повышения эффективности применяемых методов и агротехнологий в целом (Некоторые закономерности строения..., 2020).

Многие исследователи указывают на увеличение засоренности в посевах при замене вспашки на безотвальную обработку, минимальную и технологию прямого посева (Efficiency of Various ..., 2019; Lehoczky E. et al., 2013); Vasin V.G. et al., 2019), однако современные агротехнологии позволяют управлять засоренностью посевов посредством эффективных приемов даже при отсутствии обработки почвы (Weed Seed Decay..., 2020).

Наши исследования показали изменение количественного и видового состава сорного компонента ценоза в посевах при переходе на технологию прямого посева. В звене севооборота (яровая пшеница – соя – соя) при рекомендованной технологии встречалось 6 видов сорных растений, тогда как на технологии прямого посева 3 вида (рис. 3.5).

Технология прямого посева отличается созданием мульчирующего слоя за счет растительных остатков предшествующих культур, что позволяет снизить потери влаги и уменьшить всхожесть семян сорных растений. Однако возникает необходимость разработки дополнительных мер по защите посевов от многолетних сорных растений. По нашим исследованиям в посевах присутствовали только многолетние сорные растения – *Convolvulus arvensis*, также встречались *Cirsium arvense* и *Euphorbia virgata*. На рекомендованной технологии насчитывалось 25,5 шт./м² сорных растений, по технологии прямого посева – 14,6 шт./м² (табл.3.8).

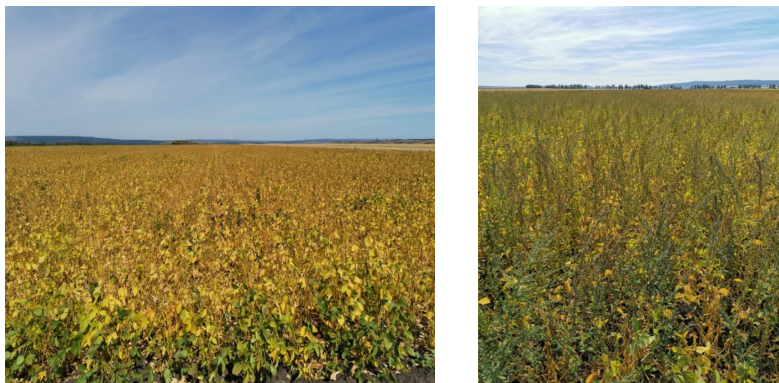


Рис. 3.5 – Состояние посевов сои при разных технологиях: слева прямой посев, справа – традиционная обработка почвы, 2020 год (ООО «Агростандарт», Новоспасский район Ульяновской области)

Таблица 3.8 – Количественно-видовой состав сорного компонента агрофитоценозов при различных технологиях возделывания полевых культур (звено севооборота: яровая пшеница – соя - соя), 2019-2021 гг.

№ п/п	Технология	Вид сорного растения	Количество сорняков, шт./м ²	Всего сорняков, шт./м ^{2*}
1	Рекомендованная	<i>Chenopodium album</i>	10,3	25,5/10,3
		<i>Descurainia sophia</i>	4,0	
		<i>Echinochloa crus-galli</i>	0,6	
		<i>Elytrigia repens</i>	0,3	
		<i>Convolvulus arvensis</i>	7,3	
		<i>Euphorbia virgata</i>	3,0	
2	Прямой посев	<i>Convolvulus arvensis</i>	13,3	14,6/14,6
		<i>Cirsium arvense</i>	1,0	
		<i>Euphorbia virgata</i>	0,3	

*- над чертой всего сорняков, под чертой – в т.ч. многолетних

3.5. Урожайность и экономическая эффективность полевых культур

Интегральным показателем эффективности агротехнических приемов является урожайность возделываемых культур. Исследования показали, что во все годы технологии посева оказывали равноценное влияние на формирование урожая яровой пшеницы, как в засушливых 2021 (ГТК = 0,73) и 2023 годах (ГТК 0,26), так и в год достаточной влагообеспеченности – 2022 (ГТК = 1,46).

Вносимые минеральные удобрения достоверно повышали урожайность яровой пшеницы во все годы исследований. В 2021 году на фоне без удобрений урожайность составила 2,42-2,48 т/га, тогда как на фоне $N_{45}P_{30}K_{30}$ она возросла на 0,44-0,43 т/га или 17,3-18,2 %, на фоне $N_{90}P_{60}K_{60}$ на 0,66-0,67 т/га или 27,0-27,8 % (табл. 3.8). Расчет окупаемости минеральных удобрений показал, что на варианте $N_{45}P_{30}K_{30}$ она составила 4,10-4,19 кг/га, а на фоне $N_{90}P_{60}K_{60}$ снизилась до 3,14-3,19 кг/кг (табл.3.9).

Таблица 3.9 – Урожайность яровой пшеницы в зависимости от технологии возделывания, т/га

Технология Фактор А	Норма удобрения, кг/га д.в. Фактор В	Годы			В сред- нем	В среднем по факто- рам	
		2021	2022	2023		А	В
Реко- мендо- ванная	б/у	2,42	3,73	2,63	2,93	3,50	2,92
	$N_{45}P_{30}K_{30}$	2,86	4,66	3,52	3,68		3,63
	$N_{90}P_{60}K_{60}$	3,09	4,80	3,77	3,89		
Прямой посев	б/у	2,48	3,69	2,59	2,92	3,43	3,85
	$N_{45}P_{30}K_{30}$	2,91	4,37	3,43	3,57		
	$N_{90}P_{60}K_{60}$	3,14	4,61	3,69	3,81		
НСР ₀₅	част.раз.	0,19	0,27	0,15	-	-	-
	А	0,11	0,16	0,09			
	В	0,13	0,19	0,11			
	АВ	Fф<Fт	Fф<Fт	Fф<Fт			

В благоприятном по влагообеспеченности 2022 году эффективность минеральных удобрений была выше, при внесении $N_{45}P_{30}K_{30}$ прибавка по отношению к контролю составила 0,93 т/га (24,9 %) по рекомендованной технологии возделывания, на прямом посеве – 0,68 т/га (18,4 %), на фоне $N_{90}P_{60}K_{60}$ соответственно по технологиям – 1,07 (28,7 %) и 0,92 т/га (24,9 %).

Несмотря на то, что 2023 год сложился наиболее засушливым, но по прибавке урожая от внесения минеральных удобрений он оказался самым эффективным. Внесение $N_{45}P_{30}K_{30}$ обеспечило прибавку 0,89 т/га (33,8 %) на рекомендованной технологии и 0,84 т/га на прямом посеве (32,4 %), на повышенном фоне - $N_{90}P_{60}K_{60}$ соответственно 1,14 т/га (43,3 %) и 1,10 т/га (42,5 %).

В среднем за годы исследований без удобрения урожайность составила 2,93 т/га на рекомендованной технологии посева и 2,92 т/га на технологии прямого посева. На вариантах с нормой удобрения $N_{45}P_{30}K_{30}$ яровая пшеница сформировала более высокую урожайность: по рекомендованной технологии – 3,68 т/га и по технологии прямого посева – 3,57 т/га. На повышенном уровне питания – $N_{90}P_{60}K_{60}$ урожайность возрастала до 3,89 и 3,81 т/га соответственно технологиям возделывания.

Урожайность яровой пшеницы по рекомендованной технологии с обработкой почвы и на прямом посеве практически не различалась. Отмечалось преимущество рекомендованной технологии в 2022 году на фоне $N_{45}P_{30}K_{30}$. Считаем, что это объясняется недостатком минерального азота в почве в условиях низких температур воздуха в период вегетации, к тому же почва была покрыта растительными остатками, которые препятствовали достаточному прогреванию почвы и процесса нитрификации в почве, а внесенного минерального азота, по всей видимости, было недостаточно для формирования более высокого урожая. Данное предположение подтверждается тем, что при увеличении нормы внесения минеральных удобрений до $N_{90}P_{60}K_{60}$ различия в урожайности между технологиями нивелировались.

Поэтому исследования позволили выявить, что в начальные этапы перехода на технологию прямого посева яро-

вая пшеница практически не снижает урожайность, но имеются данные о существенном повышении экономической эффективности (Экономическая эффективность технологии..., 2017), в том числе представленные нами ранее (Экономическая эффективность возделывания..., 2022) показывают существенное преимущество технологии возделывания яровой пшеницы без обработки почвы.

Проведенные исследования доказывают эффективность технологии прямого посева яровой пшеницы, очевидное преимущество которой заключается в сокращении производственных затрат и в целом позволяют ориентировать производство на энерго- ресурсосбережение.

Также нами проведены исследования на ячмене, урожайность которого существенно изменялась в зависимости от норм внесения минеральных удобрений, а технологии посева по-разному влияли на формирование урожая в годы исследований.

Анализ данных показал, что в 2021 году в среднем по прямому посеву урожайность ячменя составила 2,93 т/га, что на 0,41 т/га больше чем по рекомендованной технологии (НСР = 0,19 т/га). Внесение минеральных удобрений также достоверно повышало урожайность ячменя в сравнении с фоном без удобрений на обеих технологиях.

В 2022 году не выявлено математически доказуемых различий по урожайности ячменя между технологиями посева, но были получены существенные различия при использовании минеральных удобрений. На вариантах без внесения удобрений урожайность ячменя составила 3,70 т/га на рекомендованной технологии посева и 3,60 т/га на технологии прямого посева. На вариантах с нормой удобрения $N_{45} P_{30} K_{30}$ ячмень сформировал следующую урожайность: по рекомендованной технологии она возросла до 4,74 т/га и по технологии прямого посева – 4,64 т/га. При внесении более высоких норм удобрений – $N_{90} P_{60} K_{60}$ урожайность возрастала до 5,22 и 5,10 т/га соответственно технологиям возделывания (табл. 3.10).

В среднем за два года на вариантах без удобрения урожайность ячменя составила 3,54 т/га на рекомендованной тех-

нологии посева и 3,69 т/га на технологии прямого посева. На вариантах с нормой удобрения $N_{45}P_{30}K_{30}$ ячмень по рекомендованной технологии сформировал урожайность – 3,68 т/га и по технологии прямого посева – 3,79 т/га. На высоком уровне удобрений– $N_{90}P_{60}K_{60}$ урожайность возростала до 4,01 и 4,24 т/га соответственно технологиям возделывания.

Таблица 3.10 – Урожайность ячменя в зависимости от технологии возделывания, т/га

Технология Фактор А	Норма удобрения, кг/га д.в. Фактор В	Годы		В сред- нем за два года	В среднем по факторам		
		2021	2022		А	В	
Рекомендо- ванная	б/у	2,15	3,70	2,93	3,54	2,98	
	$N_{45}P_{30}K_{30}$	2,62	4,74	3,68			
	$N_{90}P_{60}K_{60}$	2,79	5,22	4,01	3,73		
Прямой посев	б/у	2,48	3,60	3,04		3,69	4,12
	$N_{45}P_{30}K_{30}$	2,93	4,64	3,79			
	$N_{90}P_{60}K_{60}$	3,37	5,10	4,24			
НСР ₀₅	для част- ных сред- них	0,19	0,22	-	-	-	
	факторА	0,11	0,13				
	факторВ	0,13	0,15				

Таким образом, технология прямого посева показывает свое преимущество в условиях недостаточной влагообеспеченности, прежде всего, за счет накопления и сохранения продуктивной влаги в почве, благодаря мульчирующему слою, формируемому на ее поверхности. В год с достаточной влагообеспеченностью урожайность ячменя по технологиям изменялась не существенно, что дает основания для того, чтобы

рекомендовать данные технологии с целью сокращения производственных и трудовых затрат, времени и нагрузки на технику.

В условиях удорожания оборотных средств, в том числе минеральных удобрений, актуальным становится оценка их окупаемости. Расчеты показали, что наибольшая окупаемость минеральных удобрений отмечалась на варианте с нормами удобрений $N_{45}P_{30}K_{30}$ как на рекомендованной технологии, так и на прямом посеве и достигала 7,1 кг семян ячменя на 1 кг д.в. минеральных удобрений. Повышение норм минеральных удобрений до $N_{90}P_{60}K_{60}$ приводило к росту урожайности на 36,9-39,5 %, однако окупаемость минеральных удобрений снижалась и составила 5,1-5,7 кг зерна.

Оценка экономической эффективности производства выходит на передний план производственной деятельности и является важной составляющей при принятии решений по выбору технологий.

На основании экономических и производственных условий, сложившихся 2022 году, нами проведены расчеты экономической эффективности возделывания ячменя в зависимости от технологии посева и уровня минерального питания (табл. 3.11 и 3.12).

Обращает на себя внимание структура производственных затрат на возделывание ячменя. По рекомендованной технологии без внесения удобрений производственные затраты составили 19659 руб./га, при этом основная их часть приходилась на амортизацию и ремонт техники – 32,7 %, прямые и прочие затраты (заработная платы, электроэнергия, автоперевозки и др.) – 22,1 %, средства защиты растений – 21,1 % и ГСМ – 14,0 % (табл. 3.11).

При применении удобрений по фону $N_{45}P_{30}K_{30}$ затраты возрастали на 7694 руб. составив 27353 руб./га, на фоне $N_{90}P_{60}K_{60}$ на 14827 руб. достигнув 34486 руб./га, при этом на удобрения приходилось 20,9 % и 33,2 % от общих затрат соответственно фонам удобрений.

При возделывании ячменя по технологии прямого посева структура производственных затрат существенно менялась. Прежде всего снизились суммарные затраты до 17686, 25579 и

33427 руб. на 1 га соответственно по вариантам минеральных удобрений или в процентном отношении на 3,1-10,0 %.

Таблица 3.11 – Производственные затраты и их структура при возделывании ячменя по рекомендованной технологии и прямому посеву, 2021-2022 гг.

Показатели	Рекомендованная технология			Прямой посев		
	б/у	N ₄₅ P ₃₀ K ₃₀	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	б/у	N ₄₅ P ₃₀ K ₃₀	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀
Семена	2000/10,2	2000/7,3	2000/5,8	2000/11,3	2000/7,9	2000/6,0
Удобрения	0/0	5717/20,9	11434/33,2	0/0	5717/22,5	11434/34,1
СЗР	4139/21,1	4139/15,1	4139/12,0	5279/29,9	5279/20,8	5279/15,8
ГСМ	2751/14,0	3123/11,4	3513/10,2	855/4,8	1222/4,8	1598/4,8
Амортизация и текущий ремонт	6424/32,7	7372/27,0	7853/22,8	5775/32,7	6775/26,6	8125/24,3
Прямые и прочие затраты	4345/22,1	5002/18,3	5548/16,1	3777/21,4	4409/17,4	5021/15,0
Всего затрат	19659/100	27353/100	34487/100	17686/100	25379/100	33457/100

* - над чертой затраты в руб./га; под чертой – доля в % от общих затрат.

Сокращение в затратах по технологии прямого посева объясняется, прежде всего, снижением количества технологических операций и расходом горюче-смазочных материалов (ГСМ). На рекомендованной технологии возделывания ячменя расход топлива составил от 59 (без удобрений) до 75 л/га (норма внесения удобрений N₉₀P₆₀K₆₀), на технологию прямого посева расход ГСМ существенно снизился и составил от 18 (без удобрений) до 34 л/га (норма внесения удобрений N₉₀P₆₀K₆₀).

Необходимо отметить, что на прямом посеве ячменя существенно сократились затраты труда (табл. 3.12).

Таблица 3.12 – Экономическая эффективность возделывания ярового ячменя в зависимости от технологии посева и нормы внесения минеральных удобрений, 2021-2022 гг.

Показатели	Рекомендованная технология			Прямой посев		
	б/у	N ₄₅ P ₃₀ K ₃₀	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	б/у	N ₄₅ P ₃₀ K ₃₀	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀
Урожайность, т/га	2,93	3,68	4,01	3,04	3,79	4,24
Стоимость продукции с 1 га, руб.	35160	44160	48120	36480	45480	50880
Производственные затраты на 1 га, руб.	19659	27353	34487	17686	25379	33457
Общие затраты на 1 га, руб.	21625	30088	37935	19455	27917	36803
Затраты труда, чел-час на 1 га	5,23	6,16	7,07	3,56	4,49	5,41
Себестоимость 1 т, руб.	7381	8176	9460	6400	7366	8680
Условный чистый доход, руб./га	13535	14072	10185	17025	17563	14077
Уровень рентабельности, %	62,6	46,8	26,8	87,5	62,9	38,3

Оценка экономической эффективности ячменя показала, что при его возделывании без минеральных удобрений стоимость полученного урожая с 1 гектара была наименьшей и возрастала с повышением урожайности (при цене 12 руб. га 1 кг на пивоваренные цели). Наибольшая стоимость полученной продукции отмечалась на прямом посеве на фоне минеральных удобрений $N_{90}P_{60}K_{60}$.

Самая низкая себестоимость зерна была получена на прямом посеве. При сравнении норм внесения минеральных удобрений выявлено, что на контроле себестоимость составила до 7381 руб. по рекомендованной технологии и 6400 руб. на прямом посеве. Внесение минеральных удобрений повышало производственные затраты с одновременным ростом себестоимости.

Выявлено, что наибольший чистый доход был получен на фоне удобрений $N_{45}P_{30}K_{30}$ на прямом посеве – 17563 руб./га при уровне рентабельности 62,9 %. Увеличение норм минеральных удобрений до $N_{90}P_{60}K_{60}$ привело к снижению показателей экономической эффективности возделывания ячменя по изучаемым технологиям. По рекомендованной технологии чистая прибыль составила 10185 руб./га при рентабельности производства 26,8 %, а по технологии прямого посева - 14077 руб./га с рентабельностью 38,3 %.

Глава 4. Роль почвопокровных культур в севооборотах на прямом посеве

При технологии прямого посева разработка схем севооборотов обуславливается не только законом плодосмена, а и обязательным присутствием промежуточных почвопокровных (пожнивных, подсевных, озимых) культур.

Промежуточная почвопокровная культура – это любая культура (чаще смесь культур), которой засеивается поле в тот период времени, когда одна культура севооборота убрана и до посева следующей есть 45-60 дней для вегетации. Высеваются такие культуры не с целью получения дополнительного урожая, а с целью создания растительного покрова почвы и питания почвенной биоты. В технологии прямого посева выращивают промежуточные почвопокровные культуры (рис. 4.1) без последующей заделки в почву.



Рис. 4.1 – Примеры посевов почвопокровных культур, высеванных в летний период после уборки озимой пшеницы

Использование почвопокровных культур является надежным подходом к наращиванию сельскохозяйственного производства за счет восстановления почвенного плодородия, поскольку с момента появления покрытия почвы органическим веществом начинаются процессы почвообразования. Сформированная вегетативная биомасса обеспечивает накопление органического углерода, усиливает биологическую активность

почвы, чем улучшает её качество и повышает урожайность сельскохозяйственных культур. Промежуточные культуры положительно влияют на водный режим почвы за счет лучшего снегозадержания во время зимних метелей и на плотность почвы за счет разуплотнения корневой системой возделываемых растений переуплотненных её слоев (Калегари А., 2008).

Введение промежуточных (поукосных и пожнивных) посевов в севооборот гарантирует снижение количества сорных растений в посевах полевых культур на 27-46 %, в основном за счет малолетних, зимующих и других злостных сорняков и значительно понижает засоренность почвы сорными растениями и потенциальную засоренность их семенами (Лошаков В.Г., 1982; Арнт В.А., Арнт А.А., 2000).

Главная цель технологии прямого посева – запустить естественные процессы восстановления плодородия почвы, максимально приблизить плодородие почвы к природному. Применение данной технологии способствует плавному переходу к органическому земледелию, что позволит уменьшить использование химических удобрений и пестицидов за счет накопления мульчирующего слоя на поверхности почвы, внедрения оптимальных севооборотов и увеличения популяции полезных микроорганизмов.

Если рассмотреть стратегию внедрения технологии прямого посева в любом предприятии, то неизменно выделяются 4 этапа.

1. *Отказ от обработки почвы.* Почва механическими орудиями не обрабатывается, поверхность её укрывается растительными остатками, а семена возделываемых культур размещаются на линию посева специализированными агрегатами – сеялками прямого посева;

2. *Внедрение плодосменных севооборотов,* «где основным принципом их построения является чередование культур с мочковатой и стержневой корневой системой, узколистных и широколистных растений, культур теплого и более холодного периода произрастания» (Pittelkova С.М. et al., 2015);

3. *Выращивание промежуточных почвопокровных культур* как важнейший элемент сохранения и повышения пло-

дородия почвы. Польза от промежуточных почвопокровных культур выражается в образовании растительной массы, которая, в свою очередь, укрывает почву от прямых солнечных лучей, а после отмирания становится пищей для почвенных микроорганизмов, которые переводят элементы питания из недоступной в доступную для растений форму (Ивенин В.В., Ивенин А.В., 2015.). Высокий уровень конкуренции промежуточных культур с сорной растительностью «позволяет уменьшить гербицидную нагрузку и влечет за собой увеличение экономической эффективности севооборота и улучшение экологической обстановки» (Либманн М. и др., 2012);

4. *Управление биологической активностью почвы.* Создание благоприятных условий для увеличения активности почвенной микробиоты за счет отказа от пестицидов, использования компостов и интеграции животных.

В учебнике «Земледелие» в главе «Комплексная защита почв от эрозии», говоря о почвозащитных севооборотах, авторы дают следующее определение почвопокровным культурам: «Промежуточные культуры могут выполнять почвозащитную функцию. Их применение не требует особых затрат, ограничивается только агроклиматическими ресурсами в послеуборочный период. Промежуточные культуры (озимые, пожнивные, подсевные, поукосные) называют почвопокровными, они защищают почву от эрозии, дают дополнительный урожай, обогащают почву свежим органическим веществом, улучшают агрофизические, агрохимические свойства, фитосанитарный потенциал посевов и почвы» (Земледелие, 2015). Если сузить это определение в контексте технологии прямого посева, то оно будет звучать следующим образом: *Промежуточная почвопокровная культура* – это любая культура (смесь культур), которой засеивается поле в промежутке между основными товарными культурами не для дополнительного урожая, а с целью формирования достаточного покрова почвы и питания почвенной биоты.

На основании данных литературных источников и результатов собственных исследований, приведенных ниже, нами были выделены экономическая и экологическая польза почвопокровных культур.

Почвопокровные культуры в промежуточных посевах обеспечивают:

1. Сокращение доз минеральных удобрений (от 50 до 150 кг/га) благодаря накоплению питательных веществ в виде живой материи в результате процесса фотосинтеза;

2. Снижение затрат на гербицидные обработки (от 1000 руб./га) за счет подавления сорняков и падалицы почвопокровными культурами;

3. Управление почвенной влагой (накопление и сохранение при её недостатке/использование излишков влаги в регионах с достаточным и избыточным увлажнением);

4. Улучшение агрофизических свойств почвы: уплотнение почвы на глубине плужной подошвы, улучшение структуры, пористости, водопроницаемости, водопрочности;

5. Увеличение биологической активности, стимулирование развития грибов арбускулярной микоризы;

6. Накопление органического вещества, повышение плодородия почвы;

7. Защита почвы от прямых солнечных лучей (регулирование температурного режима);

8. Создание покрытия, защита почвы от ветровой и водной эрозии;

9. Увеличение урожайности последующих культур;

10. Увеличение разнообразия культур в севообороте.

Изучение эффективности возделывания почвопокровных культур в технологии прямого посева было начато нами в 2017 году, и касалось оно таких южных регионов, как Республика Крым, Ростовская область, Краснодарский и Ставропольский края. В связи с глобальным потеплением и расширением площадей применения системы земледелия без обработки почвы в более северных регионах появилась возможность применять почвопокровные культуры в Ульяновской, Самарской, Воронежской областях, в Забайкальском и Алтайском краях.

В литературе нередко упоминается о ценности живых растений. Ученые отмечают, что зеленые удобрения снижают засоренность полей, выполняя фитосанитарную роль. Они по-

вышают продуктивность севооборота, качество получаемой продукции (Довбан К.И., 2009).

В традиционном земледелии в качестве зеленого удобрения (сидератов) чаще всего высевали самостоятельные (в чистом виде) крестоцветные культуры – горчицу белую или редьку масличную. Как правило, такие посевы проводились в оптимальные весенние сроки с полной нормой высева на паровых полях (отсюда и название – сидеральный пар). Высокие урожаи полученной зеленой массы заделывали в почву. В промежуточных посевах сидеральными культурами целесообразно было заниматься только при условии наличия искусственного орошения или в регионах с избыточной влагообеспеченностью. Однако, в зоне с недостаточным уровнем влагообеспеченности в жаркий летний период такие одновидовые посевы себя не оправдали (рис. 4.2).



Рис. 4.2 – Промежуточный самостоятельный посев горчицы (в центре) и смеси из 4 культур – горчица, вика, горох, суданская трава (слева) (срок сева – 21 июня, дата снимка – 27 августа 2017 г)

В условиях высоких летних температур одновидовой посев горчицы нормой высева 8 кг/га привёл к тому, что растения не смогли вырасти выше 15-20 см. Проявлялась внутри-

видовая конкуренция, то есть, под каждым растением с одинаковой глубины выносились одинаковые элементы питания и влага.

Наблюдалось резкое сокращение межфазных периодов, ускорялось цветение и формирование стручков со щуплыми семенами в них. Развитие биоты при таком монопосеве однобоко, т.к. каждому виду растений соответствуют свои штаммы микроорганизмов. Так как крестоцветные культуры подавляют развитие микроскопических грибов, в том числе арбускулярной микоризы, то в виду отсутствия разнообразия, в почве под горчицей сформировалась бактериальная среда, со всеми вытекающими последствиями (Cover crops as ..., 2020).

4.1. Продуктивность почвопокровных культур в одновидовых и в смешанных посевах

Изучая множество культур в различных их сочетаниях и количественных комбинациях при высеве после уборки озимой пшеницы и озимого ячменя, нами было доказано преимущество многокомпонентных смесей в формировании зеленой массы в сравнении с малокомпонентными и самостоятельными (одновидовыми) посевами.

С 2017 по 2021 гг. на опытном поле Института «Агротехнологическая академия» ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского» в севообороте (горох – пшеница озимая – кукуруза – ячмень озимый) были изучены следующие варианты промежуточных почвопокровных культур:

- Вариант 1. Озимая рожь;
- Вариант 2. Озимый рапс;
- Вариант 3. Вика;
- Вариант 4. Озимая рожь + озимый рапс;
- Вариант 5. Озимая рожь + вика;
- Вариант 6. Озимый рапс + вика;
- Вариант 7. Озимая рожь + озимый рапс + вика;
- Вариант 8. Овес;
- Вариант 9. Редька;

Вариант 10. Овес + редька;

Вариант 11. Овес + вика;

Вариант 12. Редька + вика;

Вариант 13. Овес + редька + вика;

Вариант 14. Смесь из 5 культур (кукуруза + горох + лен + подсолнечник + просо);

Вариант 15. Смесь из 8 культур (кукуруза + горох + лен + подсолнечник + просо + редька + горчица + вика);

Вариант 16. Смесь из 11 культур (кукуруза + горох + лен + подсолнечник + просо + редька + горчица + вика + суданская трава + чечевица + гречиха);

Вариант 17. Смесь из 13 культур (кукуруза + горох + лен + подсолнечник + просо + редька + горчица + вика + суданская трава + чечевица + гречиха + овес + донник);

Вариант 18. Прямой посев без почвопокровных культур (Контроль – №1);

Вариант 19. Традиционная система обработки почвы без почвопокровного посева (Контроль – №2).

При посеве в качестве почвопокровных озимых культур наибольшая урожайность зеленой массы была отмечена в смеси озимая рожь с озимым рапсом – 5,28 т/га, среди яровых культур – смеси овес + редька масличная – 5,73 т/га (табл.4.1). Однако, в целом в опыте наибольшая урожайность – от 10,8 до 12,2 т/га зеленой массы была сформирована в многокомпонентных смесях из 5, 8 и 11 культур, что в 1,9-2,3 раза превышает одновидовые и двухкомпонентные посевы (Efficiency of cultivation ..., 2020).

При посеве многокомпонентной смеси за счет почвоулучшающих функций, которые выполняет каждый вид растения, решается одновременно несколько задач и происходит комплексное положительное воздействие на почву: бобовые растения обогащают почву азотом, подсолнечник – калием, крестоцветные и гречиха – фосфором и т.д. На корнях культурных растений разных видов развиваются отличные группы и виды микроорганизмов, например, капустные и бобовые активизируют виды бактерий, а лен, вика и кукуруза – микоризу (Cover crops as ..., 2020).

**Таблица 4.1 – Урожайность зеленой массы одновидовых
и поливидовых смесей почвопокровных культур
(после озимой пшеницы), ц/га**

Вариант	Урожайность зеленой массы, ц/га		
	2018 г.	2019 г.	в среднем за 2 года
Озимая рожь	6,4	18,4	12,4
Озимый рапс	33,9	27,2	30,6
Вика	30,6	3,4	17,0
Озимая рожь + озимый рапс	72,0	33,6	52,8
Озимая рожь + вика	15,3	7,2	11,3
Озимый рапс + вика	36,3	24,8	30,6
Озимая рожь + озимый рапс + вика	26,2	18,4	22,3
Овес	31,6	65,4	48,5
Редька	38,1	62,4	50,3
Овес + редька	56,5	58,0	57,3
Овес + вика	33,4	52,6	43,0
Редька + вика	35,1	50,3	42,7
Овес + редька + вика	28,8	82,0	55,4
Смесь из 5 культур	139,3	103,1	121,2
Смесь из 8 культур	42,8	201,6	122,2
Смесь из 11 культур	27,8	188,8	108,3
Смесь из 13 культур	48,7	86,4	67,6
Среднее	41,3	63,7	52,5
НСР ₀₅	11,2	28,8	-

Повышение урожайности зеленой массы почвопокровных культур в поливидовых посевах поясняется тем, что по-разному развивающаяся корневая система будет потреблять влагу и элементы питания с разной глубины. Растения с мочковатой корневой системой (кукуруза, просо, суданская трава) потребляют элементы питания и влагу с верхних слоев почвы, а растения со стержневой корневой системой (горох,

лен, подсолнечник, редька, горчица, вика, чечевица, гречиха) – с более глубоких горизонтов, соответственно, рыхление, отложение органических соединений происходит на разную глубину почвы. В многокомпонентной смеси семена различных культур имеют разный размер и на первых этапах требуют неодинакового количества почвенной влаги для прорастания и получения всходов. Мелкие семена (горчица, редька, просо и т.д.) в летний период всходят через 4 дня при любых условиях увлажнения. Чуть позже, требуя лучших условий по влагообеспеченности, всходят растения, имеющие более крупный размер и большую массу семян (соя, кукуруза, горох, нут и т.д.). Вегетативная часть развитых растений смеси имеет разную высоту, обеспечивая за счет ярусности максимальное использование листовой поверхностью солнечной энергии, сводя к минимуму напряженность, связанную с внутривидовой конкуренцией за этот фактор жизни растений, которая наблюдается при самостоятельных посевах.

Согласно результатам анализа, проведенного испытательной лабораторией Федерального государственного бюджетного учреждения «Центр агрохимической службы «Крымский», можно утверждать, что к концу вегетации яровых культур в растениях с учетом корневой системы в разные годы накапливалось 30,9-33,1 кг азота, 4,3-5,9 кг фосфора и 13,9-16,7 кг калия на каждый гектар посева (табл. 4.2).

Вика яровая за два месяца вегетации в летний период (в самостоятельном промежуточном посеве), сформировав урожайность зеленой массы в среднем 17 ц/га, обеспечивала накопление 18 кг/га азота, 8 кг/га фосфора и 24 кг/га калия.

В отдельные годы (2018 и 2019 гг.) смесь из пяти культур (кукуруза, горох, лен, подсолнечник, просо) позволила получить зеленую массу больше 100 ц/га, что обеспечило накопление 43 кг/га азота, 12 кг/га фосфора и 52 кг/га калия. Если сделать расчет на примере удобрения Азофоска (16–16–16), то выходит, что благодаря такой смеси почвопокровных культур почва обогащается основными элементами питания соизмеримо внесению примерно 100 кг/га этого удобрения, экономия 3450 руб. на га (в ценах на период 01.02.2023 г). При этом

**Таблица 4.2 – Содержание азота, фосфора и калия
в растениях почвопокровных культур за вегетацию
в промежуточном посеве, кг/га**

Наименование образца		Фактическое содержание, кг/га		
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Одновидовой посев (2018 г.)				
Вика	зеленая масса	18	8	24
Двухвидовой посев (2018 г.)				
Редька	зеленая масса	20,23	3,26	14,19
	корни	7,08	0,64	0,48
Овес	зеленая масса	3,25	0,31	1,68
	корни	0,42	0,10	0,32
Всего с делянки		30,9	4,3	16,7
Поливидовой посев (2019 г.)				
Кукуруза	зеленая масса	1,1	0,2	0,4
	корни	1,0	0,2	0,5
Горох	зеленая масса	1,2	0,1	0,2
	корни	0,3	0,0	0,1
Подсолнечник	зеленая масса	10,0	2,0	5,3
	корни	1,6	0,5	0,4
Лен	зеленая масса	3,6	0,4	0,7
	корни	0,6	0,1	0,4
Горчица	зеленая масса	7,7	1,0	1,4
	корни	0,3	0,0	0,1
Редька	зеленая масса	4,8	0,8	3,5
	корни	0,9	0,2	0,8
Всего в смеси		33,11	5,87	13,90

не требовались затраты на приобретение этих удобрений, их транспортировку и внесение.

4.2. Почвопокровные культуры и сорные растения

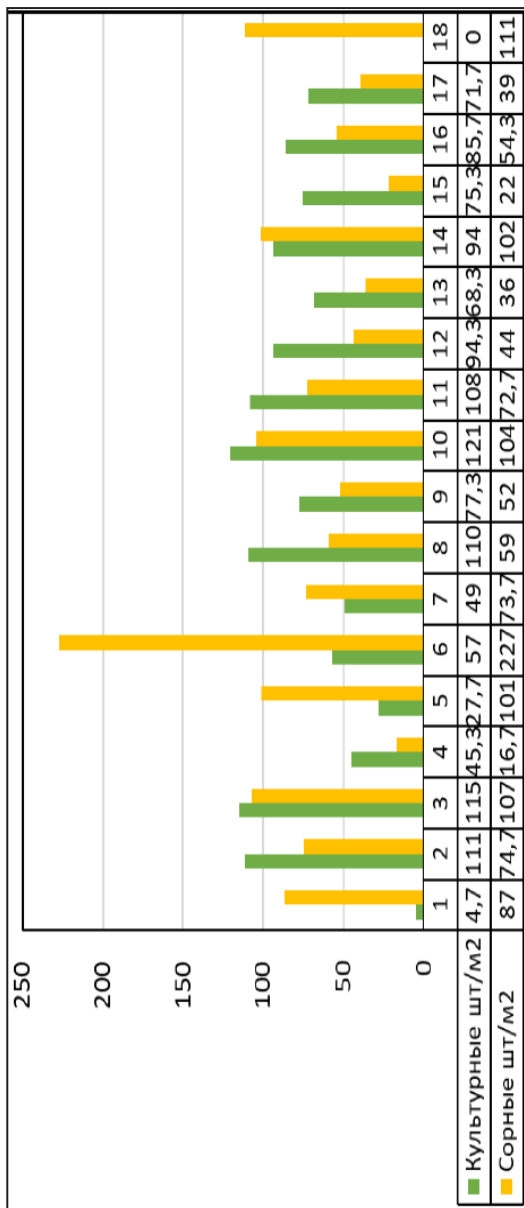
Важнейшим резервом повышения урожайности сельскохозяйственных культур является снижение засоренности полей. Вредоносность сорных растений обуславливается их биологическими особенностями и заключается, прежде все-

го, в конкурентной борьбе за факторы жизни растений с сельскохозяйственными культурами, аллелопатическим воздействием, снижением качества урожая, повышением влажности массы при уборке (Артохин К.С., 2010). Состав и количество сорной растительности и их вегетативная зависели от культур и их количества в почвопокровных смесях (Efficiency of cultivation ..., 2020).

После уборки культурных растений на полях, получив доступ к солнечному свету, всходят сорные растения. В проведенном опыте на контрольном варианте (без покровных культур) сырая масса сорняков составила 86,9 ц/га (табл. 4.3) или в количественном выражении – 111,3 шт./м² (Рис. 4.3). Состав сорного компонента был представлен злаковыми растениями – 64 шт./м², видами осота полевого (*Cirsium arvense*) – 12 шт./м², портулака огородного (*Portulaca oleracea*) – 9 шт./м², вьюнка полевого (*Convolvulus arvensis*) – 17 шт./м², щирицы запрокинутой (*Amaránthus retrofléxus*) – 6 шт./м², молочая прутьевидного (*Euphórbia wadsteinii*) – 3 шт./м². В остальных вариантах с применением каких-либо почвопокровных культур количество сорняков существенно снижалось при значении НСР₀₅ = 44,2.

Почвопокровные культуры оказывали разное фитocenотическое давление на сорный компонент и падалицу предшествующей культуры. Лучшими в этом списке являются редька масличная, рожь с рапсом озимым, овес и многокомпонентные смеси из 5-13 культур, обеспечив самую высокую конкуренцию при учёте соотношения массы культурных растений к сорным и существенно снизив сырую массу сорняков в сравнении с контролем на 37,4-68,4 ц/га, при НСР₀₅ = 23,9 ц/га (табл. 4.3).

Так при посеве озимых почвопокровных культур смесь озимая рожь + озимый рапс сформировала самую большую массу – 72,0 ц/га, и обеспечила наименьшую массу сорняков – 21,5 ц/га. Масса культурных растений в 3,3 раза превышала массу сорных, при этом количество культурных растений составило 45,3 шт./м² (при колебаниях от 49,0 до 115 шт./м² по другим вариантам с озимыми культурами), количество



*Рис. 4.3 – Структура урожая почвопокровных культур в количественном соотношении при
выращивании после озимой пшеницы, шт./м²*

Таблица 4.3 – Структура урожая почвопокровных культур после озимой пшеницы

Варианты	Урожай зеленой массы почвопокровных культур		Масса сорных растений		Соотношение массы культурных растений и сорных	Общая масса культурных и сорных растений, ц/га
	ц/га	%	г/1м ²	%		
Озимая рожь	6,4	14,2	386,0	85,8	1:6	45,0
Озимый рапс	33,9	47,5	375,3	52,5	1:1,1	71,4
Вика	30,6	45,0	373,7	55,0	1:1,2	68,0
Озимая рожь + озимый рапс	72,0	77,0	215,3	23,0	3,3:1	93,5
Озимая рожь + вика	15,3	31,7	330,3	68,3	1:2,2	48,3
Озимый рапс + вика	36,3	42,1	500,0	57,9	1:1,4	86,3
Озимая рожь + озимый рапс + вика	26,2	30,6	593,3	69,4	1:2,3	85,5
Овес	31,6	58,3	226,0	41,7	1,4:1	54,2
Редька	38,1	67,2	185,7	32,8	2:1	56,7
Овес + редька	56,5	59,5	384,3	40,5	1,5:1	94,9
Овес + вика	33,4	41,1	478,7	58,9	1:1,4	81,3
Редька + вика	35,1	49,6	357,3	50,4	1:1	70,8
Овес + редька + вика	28,8	56,4	223,7	43,6	1,3:1	51,1
Смесь из 5 культур	139,3	78,4	383,3	21,6	3,6:1	177,6
Смесь из 8 культур	42,8	51,4	405,0	48,6	1,1:1	83,3
Смесь из 11 культур	37,8	73,2	202,3	26,8	2,7:1	68,0
Смесь из 13 культур	48,7	49,6	495,0	50,4	1:1	98,2
Без покровных культур	-	0	869,0	100	-	86,9
НСР ₀₅	11,2	-	239,0		-	-

сорных растений было минимальным – 16,7 шт./м², что свидетельствует о наибольшей аллелопатической способности при смешанном выращивании озимой ржи и рапса в сравнении с другими вариантами. В одновидовом посеве рапса и ржи так же, как и при добавлении в их смесь озимой вики уменьшалась конкуренция перед сорной растительностью, в сравнении с двухкомпонентной смесью озимой ржи и озимого рапса. Следует отметить, что основными видами сорняков были представители семейства злаковые (*Poaceae*) и вьюнок полевой (*Convolvulus arvensis*). Не составлял конкуренцию и смешанный посев рапса и вики, при этом в посевах наибольшую долю занимала падалица пшеницы – 245 шт./м², также встречались осот полевой (*Sonchus arvensis*) – 2 шт./м², лебеда раскидистая (*Atriplex patula*) – 16 шт./м² и портулак огородный (*Portulaca oleracea*) – 8 шт./м².

Среди минимального набора яровых культур (овес, редька и вика) наибольшую массу – 56,5 ц/га и наибольшее количество культурных растений – 120,7 шт./м² было получено на варианте овес + редька, где растений овса было 65 шт./м² и редьки – 56 шт./м². Однако, при таком высоком уровне роста культурных растений, вариант овес + редька не отличался высокой степенью угнетения сорняков.

Наименьшее количество сорняков отмечено в смеси редька + вика – 31,8 шт./м², где 18 шт./м² вместе с падалицей представителей семейства злаковых, 8 шт./м² осота (*Sonchus arvensis*), 3 шт./м² вьюнка полевого (*Convolvulus arvensis*) и 3 шт./м² лебеды раскидистой (*Atriplex patula*).

Также высокую конкуренцию сорнякам составил одновидовой посев редьки масличной, где при густоте стояния редьки 77,3 шт./м² масса сорняков была в 2 раза меньше массы культурных растений (рис 4.4).

Наименее конкурентной по отношению к сорному компоненту агрофитоценозов оказалась двувидовая смесь без редьки (овес + вика), где масса сорных растений в 1,4 раза превышала массу культурной смеси.



Рис. 4.4 – Посевы крестоцветных культур как способ борьбы с сорняками и падалицей

Среди многокомпонентных смесей (5-13 культур) наибольшую урожайность в 2018 году сформировала смесь из 5 культур, где урожай культурных растений составил 139,3 ц/га, при количестве культурных растений к уборке – 94,0 шт./м². Количество сорняков было близко к контрольному варианту – 101,7 шт./м² (при контроле 111,3 шт./м²), но при этом вес сорняков в 2,2 раз меньше, чем на контроле – 383,3 г/м² (при 869,0 на контроле), и в 3,6 раз меньше веса культурных растений на этой делянке.

Наименьшее количество сорняков в поливидовых почвопокровных посевах яровых культур отмечалось в смесях с 8, 11 и 13 компонентами, где сорняки встречались в количестве от 22,0 до 54,3 шт./м², что говорит об эффективности использования таких смесей в прямом посеве. Преимущество такого набора культур состоит еще и в том, что для остановки их вегетации не требуется дополнительных затрат на их скашивание или гербицидную обработку. Все они погибали естественным путем от зимних заморозков. В многокомпонентных смесях появлялись следующие сорняки: вьюнок полевой, злаковые сорняки (в том числе падалица) и осот полевой.

Следует отметить, что после перехода от технологии с обработкой почвы к системе прямого посева на третий год

(2019) произошло резкое снижение как количества, так и массы сорных растений в промежуточных почвопокровных посевах. Так, если в 2019 г. на контрольном участке встречались падалица пшеницы, вьюнок полевой, молочай, марь белая, осот розовый, амброзия полыннолистная и аистник цикутовый, то в делянках, где произрастали почвопокровные промежуточные культуры, в основном как засоритель встречалась падалица пшеницы от 24 до 80 шт./м² и на отдельных делянках вьюнок полевой от 0 до 2,0 шт./м², другие виды выпали из посевов.

4.3. Водно-физические свойства почвы

Выращивание почвопокровных культур позволяет одновременно защитить почву от ветровой и водной эрозии (рис. 4.5) и разрыхлить ее по всему профилю, где располагается корневая система вегетирующих растений (рис. 4.6).



а) до посева почвопокровных культур; б) всходы почвопокровных культур; в) через 45 дней после посева

Основными показателями строения почвы являются ее плотность и пористость.

Плотность почвы играет большую роль для развития корневой системы сельскохозяйственных культур. В свою очередь, культуры с мочковатой корневой системой могут улучшать строение почвы. В наших исследованиях в октябре

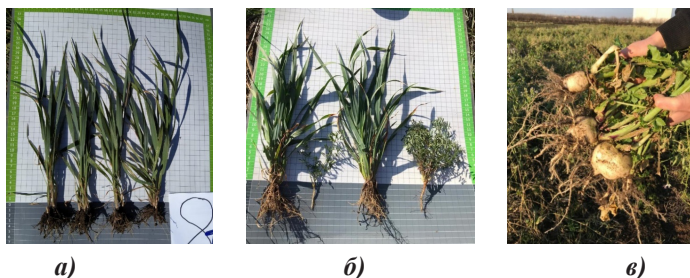


Рис. 4.6 – Развитие корневой системы у растений в промежуточном почвопокровном посеве: а) при посеве овса; б) при посеве овса с викой; в) при посеве редьки масличной

месяце после вегетации почвопокровных культур плотность почвы в слое 0-30 см находилась в оптимальных пределах – от 1,18 г/см³ (под редькой масличной) до 1,28 г/см³ (в смеси под овсом, редькой и викой), при этом разница между вариантами с промежуточными почвопокровными культурами и без них была не значительной (табл. 4.4).

Таблица 4.4 – Строение почвы под почвопокровными культурами в слое 0-30 см после озимой пшеницы (2018-2019 гг.)

Варианты почвопокровных культур	Плотность почвы, г/см ³	Общая пористость, %	Соотношение капиллярных и некапиллярных пор	Пористость аэрации, %
Озимый рапс	1,27	55,1	1,8:1	36,3
Озимая вика	1,25	53,0	1,3:1	37,3
Оз. рапс + вика	1,33	49,8	1,1:1	37,3
Редька	1,18	60,0	1,1:1	41,5
Овес + редька	1,24	51,0	2,2:1	31,6
Овес + редька + вика	1,31	50,7	1,3:1	32,7
Смесь из 5 культур	1,32	55,3	0,9:1	42,0
Без ПП	1,30	46,9	1,4:1	32,5
Опт. значения	1,1-1,3		1,5-2:1	25 %
НСР (05)	F05<Ft	7,3 (13,6%)	-	-

При оптимальном количестве почвенных пор (55-65 %) происходят нормальные процессы передвижения, накопления и сохранения почвенной влаги, а также обмен воздухом.

В наших исследованиях при посеве промежуточных почвопокровных культур происходило увеличение общей пористости почвы на 3-13% в сравнении с контролем – прямой посев без почвопокровных культур.

Оптимальное количество пор в пахотном слое наблюдалось только на трёх вариантах почвопокровных культур – озимый рапс (55,1%), редька масличная (60,0%) и смесь из пяти культур (55,3%): кукуруза + горох + лен + подсолнечник + чечевица. При этом на всех изучаемых вариантах общая пористость была выше в верхнем 0-10 см слое почвы в среднем на 4,5%, по сравнению с нижним 10-30 см слоем, а меньше всего пор в почве оказалась на контрольном участке – прямой посев без почвопокровных культур.

Пористость аэрации почвы показывает количество пор, в которых происходит обмен между почвенным воздухом и атмосферным. Данный показатель имеет важное значение для деятельности аэробных микроорганизмов, особенно на прямом посеве. Оптимальный обмен воздухом происходит при пористости аэрации более 20 %. Исследования показали, что при посеве почвопокровных культур значения пористости аэрации почвы находились в оптимальном диапазоне – от 31,6 % (под смесью овес + редька) до 42,0 % (под смесью из 5 культур).

Важную роль в накоплении и сохранении влаги имеют мелкие капиллярные поры размером менее 0,1 мм. Их количество должно быть равноценным с крупными некапиллярными порами, но это оптимально для зоны достаточного увлажнения. В засушливой зоне количество капиллярных пор должно быть больше в 1,5-2 раза по отношению к некапиллярным. Максимально близкое к оптимальному значению соотношение капиллярных и некапиллярных пор выявлено на вариантах с озимым рапсом и при выращивании смеси овса с редькой масличной.

Основой благоприятных агрофизических свойств почвы является агрономически ценная структура – почвенные агрегаты размером от 0,25 до 10 мм в диаметре.

В наших исследованиях макроструктура в слое почвы 0-30 см существенно различалась в зависимости от промежуточных почвопокровных культур (табл. 4.5).

Таблица 4.5 – Макроструктура почвы (0-30 см) под почвопокровными культурами, 2019 год

Вариант	Макроструктура, %	Глыбистая и микроструктура, %	$K_{стр.}$
Озимая рожь	42,3	57,7	0,73
Озимый рапс	54,4	45,6	1,19
Вика	58	42	1,38
Озимая рожь + озимый рапс	61,9	38,1	1,62
Озимая рожь + вика	58,1	41,9	1,39
Озимый рапс + вика	59,5	40,5	1,47
Озимая рожь + озимый рапс + вика	55,4	44,6	1,24
Овес	54,3	45,7	1,19
Редька	55	45	1,22
Овес + редька	42	58	0,72
Овес + вика	60,2	39,8	1,51
Редька + вика	59,8	40,2	1,49
Овес + редька + вика	62,2	37,8	1,65
Смесь из 5 культур	56,7	43,3	1,31
Смесь из 8 культур	51	49	1,04
Смесь из 11 культур	45,8	54,2	0,85
Смесь из 13 культур	52,3	47,7	1,10
Без покровных культур	58,4	41,6	1,40
Обработка почвы	48,2	51,8	0,93
НСР ₀₅	11,4	-	-

Хорошая структура почвы сформировалась в смесях озимая рожь + озимый рапс (61,9%); озимый рапс + озимая вика (59,5%), редька + вика (59,8%) и овес + редька + вика (62,2%). Неудовлетворительная – на вариантах с озимой ро-

жью (42,3%), овсом + редька (42%), под смесью из 10 культур (45,8%) и на традиционной системе обработки почвы (48,2%). На остальных изучаемых вариантах структура почвы пахотного слоя была удовлетворительной (51,0-58,4%).

Лимитирующим фактором, который ограничивает получение высоких и стабильных урожаев во многих регионах России является влага. В острозасушливый период (июль-сентябрь) очень важно сохранить влагу не только в посевном слое почвы для получения хороших всходов озимых зерновых и благоприятной их перезимовки, но и в метровом слое почвы.

Наши исследования показали, что запасы доступной влаги существенно не различались по вариантам промежуточных почвопокровных культур (табл. 4.6). Однако следует отметить, что по оценке А.А. Роде, запасы доступной влаги в метровом слое, которые находятся на уровне 90-130 мм, считаются удовлетворительными. Такие запасы оказались только на варианте с викой – 107,6 мм и на контроле (без почвопокровных культур) – 99,6 мм. Самые низкие запасы доступной для растений влаги были на вариантах с озимым рапсом как в чистом виде (59,3 мм), так и в смеси с викой (44,9 мм). Такие запасы, по оценке А.А. Роде, считаются очень плохими (<60 мм).

Таблица 4.6 – Запасы доступной влаги в почве под почвопокровными культурами в сентябре, мм (в среднем за 2018-2019 годы)

Вариант	Слой почвы, см			
	0-20	0-50	50-100	0-100
Оз. рапс	12,2	32,1	27,2	59,3
Оз. вика	22,6	49,9	57,8	107,6
Оз. рапс + вика	18,2	28,9	16,0	44,9
Редька	20,4	45,5	31,4	76,9
Овес + редька	23,4	51,1	35,0	86,0
Овес + редька + вика	19,0	45,9	30,5	76,4
Смесь 5 культур	17,2	41,8	33,0	74,8
Без ПП (контроль)	24,4	59,8	39,9	99,6
НСР ₀₅	$F_V < F_{05(V)}$	$F_V < F_{05(V)}$	$F_V < F_{05(V)}$	$F_V < F_{05(V)}$

На остальных изучаемых вариантах запасы доступной влаги в метровом слое почвы находились на уровне 74,8-86,0 мм, что соответствует плохим запасам.

В регионах, где основная проблема – дефицит влаги, очень важно уметь управлять тем минимальным количеством осадков, которые выпадают. Их нужно суметь накопить, а затем уже рационально использовать. К методу накопления относятся и различные варианты снегозадержания. В поле с почвопокровными культурами возможно без дополнительных затрат накопить влагу за счет выпавшего снега в 2-5 раз больше, чем на открытом, обрабатываемом участке.

На рисунке 4.7 видно, что после выпадения снега на прямом посеве без почвопокровных культур высота снежного покрова была существенно ниже (доходила до отметки всего 16,8 см), чем на вариантах с почвопокровными культурами, где перед уходом в зиму высота растений достигала 40 см.



а)



б)

Рис. 4.7 – Равномерное снегозадержание за счет почвопокровных культур, посеянных в летний период:

- а) высота снега на контрольном участке без почвопокровных культур; б) высота снега на участке с почвопокровными культурами**

На графике представлены результаты опыта, проведенного нами в Крымском агроуниверситете КФУ им. В.И. Вернадского в январе 2021 года (рис.4.8.)

Синим цветом на графике обозначена высота растений в среднем по вариантам, которую мы определяли во время уборки урожая в октябре. Красная линия – это высота снега, который выпал через 3 месяца (17 января 2021 г.). Также нами был проведен расчет накопления влаги за счет снега, который удалось задержать с помощью почвопокровных культур на различных вариантах (рис. 4.9).

На контрольном, механически обрабатываемом участке накопилось 8,0 мм влаги. На всех остальных вариантах с почвопокровными культурами, в зависимости от состава смеси и ее высоты, влаги было накоплено в два, а на отдельных участках в пять раз больше.

4.4. Урожайность следующих культур в севообороте

Главная цель возделывания почвопокровных культур – это воспроизводство плодородия почвы и увеличение урожайности культур севооборота. Рост урожайности сельскохозяйственных культур выступает прямым индикатором улучшения свойств почвы и почвенных экосистем за счет повышения содержания органического вещества, улучшения структуры почвы и других показателей.

В проведенных в разных регионах опытах четко прослеживалась зависимость урожайности последующих культур севооборота от предварительно выращиваемых почвопокровных культур.

В условиях Крыма урожайность кукурузы на зерно (гибрид Берта) была выше на 0,5-7,3 ц/га по сравнению с контролем, если мы в качестве почвопокровных культур выращивали 3-х- (вика, овес, редька), 5-ти- (кукуруза, горох, чечевица, лен, подсолнечник) или 8-ми-компонентную смесь из яровых культур (редька, дайкон, лен, подсолнечник, кукуруза, вика, горчица, горох).

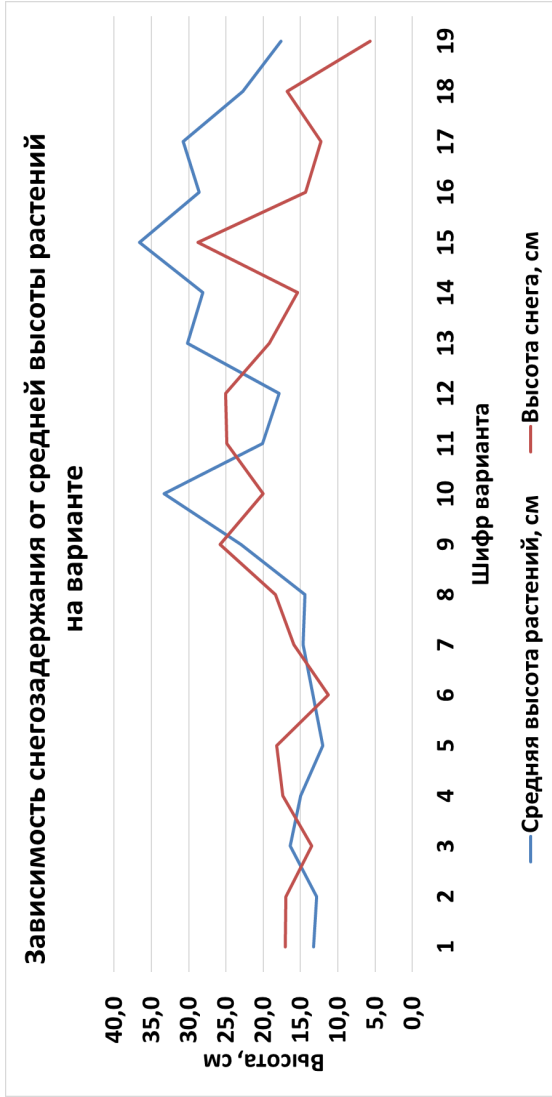


Рис. 4.8 – Накопление снега в зависимости от высоты растений почвопокровных культур

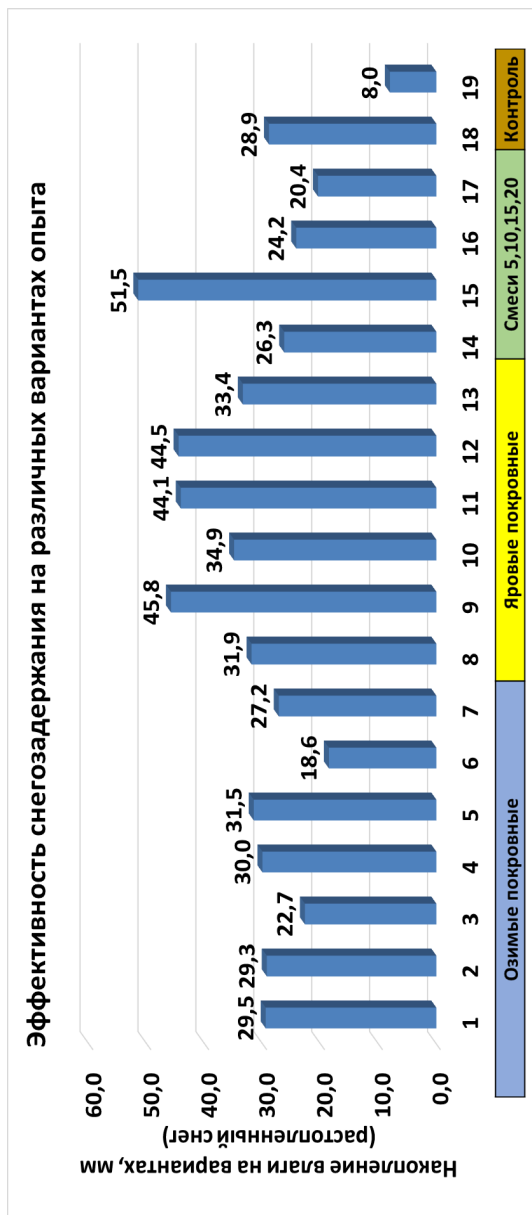


Рис. 4.9 – Накопление влаги с осадками в виде снега в зависимости от почвопокровных культур

Однако, на вариантах, где выращивались в качестве почвопокровной культуры озимый рапс и озимые смеси с его присутствием (озимый рапс, рожь, вика озимая), последующая кукуруза существенно снижала урожайность початков. Озимый рапс в условиях Крыма перезимовывал во все годы и засорял кукурузу, которая не выдерживала конкуренции, поэтому урожайность её на таких участках была на 2,5-4,7 ц/га ниже.

Влияние почвопокровных культур на накопление питательных веществ в почве и влаги отражается на урожайности последующих культур несколько лет подряд. Пшеница, которая высевалась через год после почвопокровных культур по предшественнику кукуруза на зерно, также реагировала на различную степень накопления органического вещества за предыдущий период (табл. 4.7).

После смеси озимых почвопокровных культур (озимая рожь + озимый рапс + озимая вика) урожайность озимой пшеницы была ниже на 3,5 ц/га (17,1%) в сравнении с контрольным вариантом. Так же урожайность была существенно ниже при посеве пшеницы после таких яровых культур, как овес (-3,3 ц/га или -15,9%), редька (-1,6 или -7,7%) и овес с редькой (-2,9 ц/га или -13,8%). После двукомпонентной смеси яровых культур – овёс + вика пшеница повышала урожайность на 4,9 ц/га, что на 23,9% выше контроля. После многокомпонентных смесей урожайность озимой пшеницы повышалась на 1,6-3,2 ц/га или соответственно на 7,7-15,5 %.

Аналогичные выводы о продолжительном последствии зеленого удобрения были сделаны белорусскими коллегами. Опыты проводились в 4-польном севообороте: сидеральный пар – озимая рожь – картофель – овес. Кроме люпина, запаханного под рожь в паровом поле, под картофель во всех вариантах вносили навоз из расчета 36 т/га. В результате длительных наблюдений было установлено, что продуктивность севооборота в пересчете на кормовые единицы под влиянием запаханного горького узколистного люпина возросла на 45% по сравнению с чистым паром. Значительный интерес представляют данные о последствии зеленого удобрения на уро-

**Табл. 4.7 – Последствие почвопокровных культур
на урожайность озимой пшеницы в условиях Р. Крым, ц/га
(2020-2021 гг.)**

Варианты почвопокровных культур, после которых высевалась озимая пшеница	Урожайность озимой пшеницы, ц/га	+/- к контролю, ц/га	%
Без почвопокровной культуры	20,6	0,0	100,0
Озимая рожь + озимый рапс + озимая вика	17,1	-3,5	82,9
Оз. вика	23,3	+2,6	112,7
Овес	17,4	-3,3	84,1
Редька	19,1	-1,6	92,3
Овес + редька	17,8	-2,9	86,2
Овес + вика	25,6	+4,9	123,9
Редька + вика	20,6	0,0	99,8
Овес + редька + вика	23,6	+2,9	114,2
Смесь из 5 культур (кукуруза + горох + лен + подсолнечник + просо)	23,0	+2,4	111,4
Смесь из 10 культур (кукуруза + горох + лен + подсолнечник + просо + фацелия + редька + горчица + вика + чечевица)	23,8	+3,2	115,5
Смесь из 15 культур (кукуруза + овес + горох + лен + редька + дайкон + подсолнечник + горчица + чечевица + гречиха + просо + вика + суданская трава + фацелия)	22,2	+1,6	107,7
Смесь из 20 культур (кукуруза + горох + лен + подсолнечник + редька + горчица + вика + чечевица + гречиха + овес + донник + суданская трава + сорго + просо + фацелия + чина + сафлор + клевер + дайкон + конские бобы)	23,4	+2,8	113,4
НСР ₀₅	1,6		
НСР%	59,4		

жайность картофеля и овса: оно более чем втрое превышало прямое действие на первой культуре (Духанин А.А., 1969; Довбан, К.И., 2009).

Результаты наших экспериментов были неоднократно проверены в производственных условиях предприятий, занимающихся выращиванием сельскохозяйственной продукции по технологии прямого посева. Работу выполняли на территории хозяйства ИП Мокриков В.И., расположенного в центральной части Ростовской области в Октябрьском районе на площади 5500 га. На полях предприятия в течение 14 лет применяется технология прямого посева. Почва представлена черnozемом обыкновенным.

В результате было установлено, что почвопокровные культуры «оказывают положительное воздействие на эколого-биологическое состояние почв, обрабатываемых по технологии прямого посева. Выявлена положительная корреляция интегрального показателя биологического состояния почвы с дыханием ($r = 0,85$), активностью уреазы ($r = 0,69$) и общей нормой высева семян покровных культур ($r = 0,61$) (Оценка влияния покровных..., 2023).

В полевом опыте изучалось 9 вариантов почвопокровных культур в самостоятельном посеве и в виде смесей. По всем вариантам с выращиванием почвопокровных культур отмечалось повышение урожайности, в сравнении с контрольным участком (без посева почвопокровных культур). Лучшие варианты этого эксперимента показаны в таблице 4.8.

Так, в 2022 году максимальная прибавка урожайности нута составила 1,9-2,0 ц/га, в 2023 году – 3,8 ц/га.

При подсчете экономической эффективности выращивания промежуточных почвопокровных культур было установлено, что всего дополнительных затрат на 1 га потребовалось 1,215 тыс. рублей. Половину этой суммы (621 руб.) составляют затраты на приобретение семян для данной смеси (таблица 4.9).

При этом в 2023 году стоимость нута достигала 55 тыс. руб./т, что позволило получить дополнительно 19,6 тыс. рублей чистой выручки на каждый гектар площади.

Таблица 4.8 – Влияние промежуточных посевов почвопокровных культур (ПК) на урожайность нута в ИП Мокриков В.И. Ростовской области

Культуры для ПК	Количество культур/ норма высева, кг/га	Урожайность на контроле, ц/га	Урожайность после почвопокровной смеси, ц/га	+/- ц/га к контролю
2022 год				
Гречиха	1/30,0	9,8	11,7	+1,9
Гречиха, лен, горох, кукуруза, нут	5/24,0	9,8	11,8	+2,0
2023 год				
Гречиха, кукуруза, лен, горох, нут, сорго, суданская трава, горчица, редька масличная, кориандр, фацелия	11/12,5	20,2	24,0	+3,8

Таблица 4.9 – Экономическая оценка опытов по влиянию почвопокровных культур на урожайность нута в ИП Мокриков В.И. в 2022-2023 гг.

Показатели	Контроль (без почвопокровных культур)	Смесь ПП из 11 культур
Урожайность нута в 2023 г, ц/га	20,2	24,0
Прибавка, ц/га	0	3,8
Стоимость нута (на момент уборки с хозяйства) с НДС	0	55000
Стоимость прибавки, руб/га	0	20900
Дополнительные затраты		
ГСМ, руб/га	0	233,8
Семена ПП, руб/га	0	621
Оплата труда, руб/га	0	140
Амортизация, руб/га	0	220
Итого	0	1214,8
Дополнительная выручка, руб/га	0	19685,2

Повышение урожайности последующих культур в севообороте после посева почвопокровных культур получены и в наших опытах и в условиях Ульяновской области.

Оценка эффективности использования промежуточных почвопокровных культур проводилась в стационарном полевом опыте кафедры земледелия, растениеводства и селекции ФГБОУ ВО Ульяновский ГАУ, который подразумевает изучение следующего севооборота: рапс яровой – озимая пшеница – соя – яровая пшеница – гречиха – ячмень.

Исследуемые факторы: нормы минеральных удобрений (фактор А) и промежуточные почвопокровные культуры (Фактор В).

Фактор А – норма удобрений:

A_0 – без удобрений (соответствует уровню экстенсивных агротехнологий);

A_1 – поддерживающие нормы удобрений (соответствует уровню нормальных агротехнологий);

A_2 – рекомендованные нормы удобрений для региона (соответствует уровню интенсивных агротехнологий).

Фактор В – почвопокровные культуры:

V_0 – без почвопокровных культур;

V_1 – посев яровых почвопокровных культур после уборки зерновых колосовых культур (состав смеси: дайкон, редька, вика, чечевица, овес, суданская трава, фацелия, лен, норма высева смеси – 13,5 кг/га);

V_2 – посев озимых почвопокровных культур после уборки зерновых колосовых культур (состав смеси: озимая рожь, озимая вика, норма высева смеси 25 кг/га).

Нормы высева каждого компонента приведены в таблице 4.10.

Исследования показали, что промежуточные почвопокровные культуры оказывали влияние на урожайность рапса. Посев рапса после озимых почвопокровных культур имел тенденцию к снижению урожайности, что объясняется большим потреблением влаги озимыми зерновыми культурами как в осенний период, так и весенний, что отрицательно сказывалось на развитии рапса в засушливых условиях весны 2023 года.

Таблица 4.10 – Состав смесей и нормы высева промежуточных почвопокровных культур в полевом опыте (рис.4.10)

Смесь яровых культур (В ₁)		Смесь озимых культур (В ₂)	
Культуры смеси ППК	Расчетная норма высева, кг/га	Культуры смеси ППК	Расчетная норма высева, кг/га
Вика яровая	3,13	озимая рожь	12,5
Чечевица	3,13	озимая вика	12,5
Овес	4,69	-	-
Сорго-суданский гибрид	0,25	-	-
Редька	0,47	-	-
Дайкон	0,31	-	-
Лен	1,25	-	-
Фацелия	0,31	-	-
Итого	13,5	-	25,0



Рис. 4.10 – Смесь яровых почвопокровных культур в полевом опыте, 2022 год

Нами выявлено повышение урожайности рапса при размещении его после смеси яровых промежуточных почвопокровных культур, на фоне без удобрений на 0,09 т/га, на фоне $N_{23}P_{15}K_{23}S_2$ 0,17 т/га и на фоне $N_{47}P_{30}K_{46}S_5$ – 0,19 т/га, при среднем значении по фонам удобрений – 0,15 т/га или на 10,3 % (табл. 4.11).

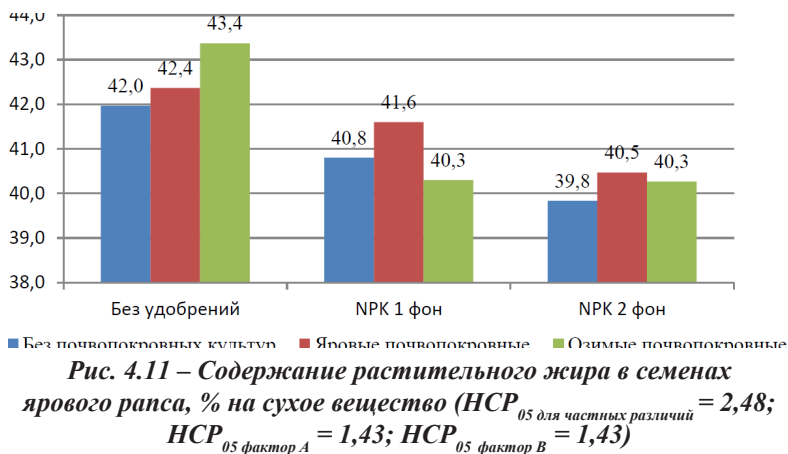
Таблица 4.11 – Урожайность ярового рапса в зависимости от норм внесения минеральных удобрений и посева промежуточных почвопокровных культур, т/га (2023 год)

Удобрения (фактор А)	Почвопокровные культуры (фактор В)	В среднем	По фактору А	По фактору В
Без удобрений	Без ППК	1,03	1,04	1,46
	Яровые ППК	1,12		1,61
	Озимые ППК	0,98		1,44
$N_{40}P_{15}K_{23}S_2$	Без ППК	1,45	1,50	
	Яровые ППК	1,62		
	Озимые ППК	1,44		
$N_{80}P_{30}K_{46}S_5$	Без ППК	1,89	1,96	
	Яровые ППК	2,08		
	Озимые ППК	1,90		
НСР ₀₅		0,11	0,06	0,06

Более существенные изменения урожайности были связаны с внесением минеральных удобрений. Без внесения удобрений урожайность рапса составила 1,04 т/га, при внесении $N_{23}P_{15}K_{23}S_2$ она возросла до 1,50 т/га или на 0,46 т/га (прибавка 44,2 %), на фоне $N_{47}P_{30}K_{46}S_5$ – 1,96 т/га, что на 0,91 т/га или на 87,5 % выше варианта без удобрений.

Дисперсионный анализ полученных данных позволил выявить вклад изучаемых факторов в формирование урожая рапса. Наибольшее влияние оказали минеральные удобрения – 92,9 %, а почвопокровные культуры – 3,8 %.

Минеральные удобрения и почвопокровные культуры не только оказывали влияние на урожайность, но и на качество семян ярового рапса (рис. 4.11).



Масличность семян ярового рапса с увеличением доз минеральных удобрений снижалась, хотя выход растительного жира с 1 га возрастал за счет более высокой урожайности. Почвопокровные культуры имели тенденцию к повышению данного показателя, хотя различия находятся в пределах ошибки.

При изучении сои на прямом посеве более эффективным оказалось использование озимых почвопокровных культур (озимая рожь + озимая вика), прибавка составила от 0,13 т/га или 10,2 % (на фоне $N_{6}P_{15}K_{23}S_{2}$) до 0,19 т/га или 13,2 % (на фоне $N_{13}P_{30}K_{46}S_{5}$). Яровые почвопокровные культуры не оказывали существенного влияния на формирование урожая, а различия находились в пределах HCP_{05} (табл. 4.12).

В посевах сои выявлено, что минеральные удобрения также повышали урожайность, но их вклад был меньше. При отсутствии удобрений урожайность составила 1,08 т/га, при внесении $N_{6}P_{15}K_{23}S_{2}$ она возросла на 0,25 т/га или на 23,2 %, на фоне $N_{13}P_{30}K_{46}S_{5}$ соответственно на 0,42 т/га или на 31,6 %.

Таблица 4.12 – Урожайность сои в зависимости от норм внесения минеральных удобрений и посева промежуточных почвопокровных культур, т/га (2023 год)

Удобрения	Почвопокровные культуры	В среднем	По фактору А	По фактору В
Без удобрений	без ППК	1,04	1,08	1,24
	яровые ППК	1,03		1,28
	озимые ППК	1,18		1,39
N ₆ P ₁₅ K ₂₃ S ₂	без ППК	1,24	1,33	
	яровые ППК	1,38		
	озимые ППК	1,37		
N ₁₃ P ₃₀ K ₄₆ S ₅	без ППК	1,44	1,50	
	яровые ППК	1,44		
	озимые ППК	1,63		
НСР ₀₅		0,20	0,12	0,12

Дисперсионный анализ урожайных данных показал, что ее изменения были связаны с удобрениями на 60,2 % и с влиянием промежуточных почвопокровных культур – 8,8 %.

Оценка качественных показателей семян сои, показала, что по содержанию белка и растительного жира фоны удобрений и почвопокровные культуры оказывали равноценное влияние на данные показатели.

Почвопокровные культуры оказали существенное влияние на формирование урожая гречихи. После выращивания смеси яровых зерновых культур прибавка составила от 0,23 т/га (N₄₇P₃₀K₄₆S₅) до 0,41 т/га (без удобрений), что в относительном выражении составляет соответственно 20,0 и 53,9 % (табл. 4.13).

Гречиха в меньшей степени реагировала на влияние минеральных удобрений в сравнении с другими изучаемыми культурами, однако были выявлены достоверные различия в урожайности.

Таблица 4.13 – Урожайность гречихи в зависимости от норм внесения минеральных удобрений и посева промежуточных почвопокровных культур, т/га (2023 год)

Удобрения	Почвопокровные культуры	В среднем	По фактору А	По фактору В
Без удобрений	без ППК	0,76	0,94	0,92
	яровые ППК	1,17		1,25
	озимые ППК	0,88		1,02
N ₂₃ P ₁₅ K ₂₃ S ₂	без ППК	0,84	1,02	
	яровые ППК	1,22		
	озимые ППК	0,99		
N ₄₇ P ₃₀ K ₄₆ S ₅	без ППК	1,15	1,24	
	яровые ППК	1,38		
	озимые ППК	1,20		
НСР ₀₅		0,17	0,10	0,10

На варианте без внесения удобрений урожайность составила 0,94 т/га, при внесении удобрений в норме N₂₃P₁₅K₂₃S₂ гречиха не повышала урожайность (+0,08 т/га), а при внесении N₄₇P₃₀K₄₆S₅ она возросла на 0,3 т/га или на 31,9 %, что превышает значения НСР₀₅.

Анализ урожайных данных показал, что вклад минеральных удобрений в урожайности гречихи составил 36,0 %, тогда как на долю влияния промежуточных почвопокровных культур отводилось 42,5 %.

Оценка технологических показателей гречихи показала равноценное влияние изучаемых минеральных удобрений и промежуточных почвопокровных культур на выход ядра и пленчатость зерна.

4.5. Концепция подбора культур для почвопокровного промежуточного посева

Из вышеприведенных результатов научных экспериментов и их внедрения в производственных условиях различных регионов России сформировалась определенная концепция подбора культур в промежуточные почвопокровные посевы.

Для правильного подбора культур, которые необходимо включить в почвопокровный промежуточный посев, необходимо выяснить ряд параметров:

1. Звено севооборота, где планируется высеваться промежуточная почвопокровная смесь (после уборки какой и перед севом какой культуры). Звено севооборота определяет количество дней возможной вегетации (до наступления заморозков);
2. Срок посева;
3. Способ посева;
4. Количество осадков за этот период по средним многолетним показателям.

Параметры определяют выбор культур по формам – озимые или яровые, яровые теплолюбивые или яровые холодоустойчивые, засухоустойчивые или влаголюбивые, крупно- или мелкосеменные и т.д.

1. **Звено севооборота.** Подбирая культуры для промежуточного посева, необходимо учитывать предшественник и последующую культуру в севообороте. Чем сильнее отличие промежуточной почвопокровной культуры от основных культур севооборота, тем выше вероятность биологического баланса почвы и уменьшения проблем с насекомыми-вредителями и заболеваниями.

Наиболее распространенные звенья для применения промежуточных посевов почвопокровных культур (ПК) в регионах России при технологии прямого посева приведены ниже:

1. Пшеница +ПК* – Лён
2. Пшеница +ПК – Нут
3. Пшеница +ПК – Горох

4. Пшеница +ПК – Рапс яровой
5. Пшеница +ПК – Подсолнечник
6. Пшеница +ПК – Кукуруза
7. Пшеница +ПК – Соя
8. Рыжик озимый +ПК – Пшеница
9. Рапс яровой +ПК – Пшеница
10. Горох +ПК – Пшеница
11. Лен +ПК – Пшеница
12. Соя +ПК – Кукуруза
13. Кукуруза +ПК – Подсолнечник
14. Подсолнечник – Пшеница
15. Кукуруза – Горох

**ПК – Почвопокровные Культуры*

Если с момента уборки предшествующей культуры до заморозков остается примерно 1,5-2 месяца вегетации в летне-осенний период (звенья 1-4), то для почвопокровного посева можно использовать любые яровые культуры и теплого и холодного периодов. Так же выбор культур не ограничивается, если количество осадков за этот период по многолетним данным превышает 30 мм (оптимальное значение 80 мм).

Если период возможной для почвопокровной культуры вегетации больше 3 месяцев, как например, в звеньях 5, 6 и 7 (перед подсолнечником, соей, кукурузой, сорго) – в разнообразную яровую почвопокровную смесь обязательно нужно включать озимые культуры (рожь, вика, тритикале).

После ранобираемого предшественника перед ранними яровыми или озимыми культурами из семейства злаковые с мочковатой корневой системой (звенья 8-11) для смеси используются только яровые культуры, которые погибнут при первых заморозках.

После поздно убираемых культур под яровые поздние в смесь должны входить в основном холодостойкие культуры, зимующие и озимые (рожь озимая, вика озимая, тритикале озимая, зимующий горох, зимующий лен), которые не погибнут в зимний период, а будут остановлены непосредственно перед посевом основной культуры севооборота (звенья 12-13).

После поздно убираемых культур под яровые ранние культуры промежуточные почвопокровные смеси не высеваются (звенья 14-15).

2. Срок посева. Обычно при прямом посеве применялся один срок посева почвопокровных культур – сразу после уборки предшествующей культуры (вслед за комбайном). Технически выполнить это условие было всегда сложно. Уборка – горячая пора, не хватает людей, техники. Такая практика не позволяла в 100% случаев получать всходы почвопокровных культур. Основная и объективная причина – жаркие летние условия. Быстрое пересыхание верхнего посевного слоя почвы. Смещение срока сева на 1-2 дня снижало вероятность получения всходов на 75%. Уровень успеха зависел от выпадения осадков в последующий период. Как правило, осадки в летний послеуборочный период – это большая редкость для большинства регионов России. Но до уборки в почве сохраняется теневая (остаточная) влага, которой достаточно для получения всходов почвопокровных культур. Так же нередким отмечается явление выпадения осадков до и во время уборки. И это объясняет необходимость проведения сева почвопокровных культур до начала уборочной кампании. Как это осуществить, рассказано в следующем пункте.

3. Способ посева. Существует 3 основных способа посева:

1. С помощью разбрасывателя до или после уборки основной культуры. Посев до уборки с помощью разбрасывателя удобрений осуществляется по колее от предыдущего прохода опрыскивателя. В таком случае для смеси используются различные культуры с разной крупностью семян с общей нормой посева 12-15 кг/га. Во время прохода комбайна семена, лежащие на поверхности почвы, будут присыпаны половой, пылью, и придавлены к почве колесами уборочной техники. Если разбрасывание семян запланировано после уборки, то используются только мелкосеменные культуры с увеличением нормы посева на 50-80 %;

2. С помощью беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). Способ лучше использовать для посева почвопо-

кровных культур за 10-14 дней до начала уборки основной культуры севооборота. В смесь целесообразно включать мелкосеменные культуры без увеличения нормы высева. Гектарная норма семян должна составлять не более 3 кг. Такой способ дает определенные преимущества: в скорости посева, в исключении уплотнения почвы от прохода техники по полю, в равномерности посева, в минимальных затратах на семена, в сроках и стабильности получения всходов за счет наличия доступной влаги в почве. Проросшие за неделю до начала уборки почвопокровные культуры создают серьезную конкуренцию сорной растительности и падалице и не требуют дополнительной гербицидной обработки;

3. Сеялкой прямого посева. Зерновая сеялка с механической катушкой подачи семян разного размера. После уборки предшествующей культуры, сплошным рядовым способом производится посев смеси на глубину 3-4 см. Предварительно (за 1-2 дня) поле следует обработать гербицидом, чтобы снять конкуренцию уже вегетирующих сорняков. Норма высева смеси с максимально разнообразным набором культур должна составлять 10-15 кг/га (не более 20 кг/га).

4. **Количество осадков.** Количество осадков за период вегетации почвопокровных культур по средним многолетним показателям должно быть не менее 30 мм. Идеальными условиями считаются при сумме летних осадков 80 мм. Для засушливых условий в смесь включаются яровые: овес, лен, горох, вика. Если достаточно или избыток влаги, то список культур в смеси не ограничивается. Под поздние яровые при достаточном количестве осадков в осенне-весенний период включаем в смесь рожь озимую, зимующий горох, зимующий лен.

Составляя разнообразную смесь, следует учитывать культуры вашей зоны. Так, например, на полях с кислыми почвами следует включать в смесь люпин, пелюшку, конские бобы, фацелию, клевер. На солонцовых почвах желателно добавлять люцерну, подсолнечник, сорго, донник. На полях с меловыми отложениями – просо, сорго, сафлор.

При этом в списке выбранных культур количественное (весовое) предпочтение отдается в пользу тех культур, кото-

рые способны решить конкретную проблему, имеющуюся на почвенных участках предприятия.

Основные задачи, которые можно решить в конкретном поле с помощью почвопокровных культур: защита почвы от эрозии; угнетение сорной растительности; накопление органического вещества; накопление азота; накопление фосфора; разуплотнение верхнего слоя почвы; борьба с плужной подошвой; улучшение песчаных почв; создание структуры почвы; улучшение тяжелых почв; снегозадержание; сохранение влаги в почве; улучшение биологической активности почвы и др.

Для разных целей следует использовать разные культуры и подбор культур всегда определяется семействами: бобовые, злаковые, капустные и так называемые «другие» – представители других семейств (табл. 4.14).

Растения семейств мятликовых, бобовых и капустные обязательно должны быть в смеси почвопокровных культур. Так же есть растения из других семейств, которые выполняют особенную, ничем не заменимую функцию, поэтому культуры из четвертой группы так же следует включать в смесь.

Бобовые культуры (горох, вика, чина, чечевица, пелюшка, люпин, клевер, соя, конские бобы, фасоль, нут, вигна, донник, сераделла) отличаются тем, что на их корнях развиваются бактерии, которые фиксируют атмосферный азот. К тому же биомасса вики укрывает почву, сохраняет влагу и угнетает за счет затенения сорную растительность. Люпин в отличие от других бобовых растений хорошо растет на кислых почвах, способствует улучшению песчаных почв (Прянишников Д.Н., 1965). Сераделла хорошо растет даже на бедных песчаных почвах и требует увлажнения, а нут, чечевица, горох – засухоустойчивые культуры.

Не смотря на разделение на холодостойкие и теплолюбивые растения, в смеси промежуточных почвопокровных культур все они растут и развиваются активно, наращивая биомассу лучше, чем в самостоятельном посеве при оптимальных сроках посева, поэтому для смеси в равной степени подойдет как холодостойкий горох, так и теплолюбивая соя, как вика, так и вигна, чина, чечевица, пажитник, конские бобы и др.

**Таблица 4.14 – Классификация культур
и их основные функции**

Семейства	Холодостойкие культуры	Теплолюбивые культуры	Основные функции растений
Мятликовые (злаковые) – (Poaceae) Узколистные Мочковатая корневая система	С-1 Пшеница, Ячмень, Овес, Тритикале, Рожь Овсяница Плевел	С-4 Просо, Кукуруза, Сорго, Суданская трава	1.Накопление органического вещества 2.Накопление растительных остатков, 3. Расселение микоризы, 4.Формирование агрегатов, 5. Угнетение сорняков
Бобовые (Fabaceae s.l.) Широколистные Стержневая корневая система	Горох, Вика, Чина Чечевица Пелюшка Люпин Клевер Сераделла Донник Люцерна	Соя Конские бобы Фасоль Нут Вигна	1.Накопление азота (+инокулянт), 2. Расселение микоризы, 3.Формирование агрегатов 4. Угнетение сорняков
Капустные (Brassicaceae / Cruciferae) Широколистные Стержневая корневая система	С-2 Рапс Горчица Рыжик Редька маличная Дайкон Турнепс Перко	–	1.Высвобождение недоступных питательных веществ, 2.Угнетение сорняков
Другие Широколистные Стержневая корневая система	Фацелия Лен	С-3 Гречиха Подсолнечник Сафлор Амарант	1.Формирование агрегатов 2.Развитие Микоризы 3.Высвобождение недоступных питательных веществ

Донник желтый (двухлетний), клевер, люцерна и эспарцет в смеси не включаются из-за продолжительности жизни, что может привести к дополнительным затратам для очистки полей от этих культур в основной коммерческой культуре севооборота.

Растения семейства капустных (горчица белая, сизая, яровой рапс, редька масличная, рыжик) выделяют через корневую систему органические кислоты, которые при взаимодействии с почвой высвобождают труднорастворимые фосфаты, переводят ряд элементов питания из недоступной в легко усваиваемую растениями форму, а также обогащают почву калием. Кроме этого обогащают почву органическими веществами, рыхлят почву, улучшая ее водо- и воздухопроницаемость, особенно на тяжелых глинистых и суглинистых почвах. Сами растения семейства капустных способны усваивать из почвы макро- и микроэлементы, недоступные другим растениям, также корневые выделения оказывают и мощное фитосанитарное воздействие против накопления в почве болезней и вредителей. Они все холодостойкие как яровые, так и озимые, поэтому являются главными компонентами для обеспечения максимального снегозадержания. В составе почвопокровных посевов быстро всходят (на 4 день), не требуя больших запасов влаги. Однако, имеют высокую степень водопотребления, не оставляя в засушливых регионах после себя влагу для последующей культуры. В ризосфере на корнях крестоцветных культур создается преимущественно бактериальная среда, и микроскопические грибы арбускулярной микоризы не развиваются на корнях этих растений.

Растения семейства злаковые (овес, тритикале, рожь, кукуруза, сорго, суданская трава и др.) одновременно разуплотняют и структурируют верхний 0-20 см слой почвы, накапливают органическое вещество, создают мощное покрытие почвы (рожь, тритикале, суданская трава) из пожнивных остатков, усиливают развитие полезных микроорганизмов (овес, кукуруза), подавляют сорные растения (рожь, тритикале, овес, суданская трава) (Cover crops as..., 2020). Если посев злаковых почвопокровных культур осуществляется рано

весной или осенью, или в регионах с умеренным климатом, то подойдут холодостойкие яровые культуры тритикале и овес. Если посев осуществляется в жаркий летний период, то подойдут: суданская трава, кукуруза и овес. Они быстро наращивают вегетативную массу в летний период, накапливая органическое вещество, покрывая поле, и медленно разлагающиеся растительные остатки.

Просо к посеву в составе промежуточной смеси не рекомендуется из-за формирования незначительного урожая зеленой массы, быстрого созревания зерна в метелках, высокой вероятности перезимовки в южных регионах и наличия токсинов в корневых выделениях, создающих аллелопатический эффект.

Растения других семейств также отличаются своими особенностями. Гречиха кроме формирования структуры почвы и конкуренции сорной растительности обеспечивает высвобождение фосфора из сложных почвенных соединений.

Лен полезен для развития арбускулярно-микоризного гриба, не требователен к почве и к влаге.

Фацелию и сафлор следует включить в смесь при необходимости создать структуру почвы. Фацелия как ценный медонос долго цветет и привлекает полезных насекомых. Отличается быстрым ростом, накоплением большого количества зеленой массы. Корень фацелии охватывает глубину почвы до 20 см за период роста зеленой массы, при этом происходит улучшение структуры почвы, она становится рыхлой и воздухопроницаемой. Фацелия может произрастать на любых типах почв. Фацелия неприхотлива, обладает холодоустойчивостью, может осенью переносить заморозки до -7 -9 °С, поэтому можно высевать сразу после оттаивания почвы.

Главная цель выращивания почвопокровных культур – улучшение состояния почвы. Семена не протравливаем пестицидами и не применяем удобрения из-за негативного воздействия химикатов на почвенную биоту. Недостаток питания стимулирует эту биоту на более активную деятельность и разложение сложных форм макро- и микроэлементов до легкодоступного уровня. Накопленного объема зеленой биомассы в результате процесса фотосинтеза и соответствующего объема

корневой системы достаточно для развития микроорганизмов, которым более важно присутствие живых корней с их непрерывным поступлением жидких углеродистых соединений, чем наличие минеральных удобрений, полученных искусственным путем.

Единственный случай, когда в зоне достаточного увлажнения в почвопокровном посеве стоит применять удобрения, если поле сильно засорено и нужен быстрый рост почвопокровных культур, например, озимой ржи, для опережения и подавления сорных растений.

Глава 5. Методология разработки и обоснования схем севооборотов для технологии прямого посева

5.1. Принципы построения схем севооборотов и их особенности на прямом посеве

Научной основой системного решения задачи по эффективному использованию земель сельскохозяйственного назначения является структура посевных площадей, которая отражает специализацию предприятия и позволяет разрабатывать схемы севооборотов.

Разберем состояние структуры посевных площадей на примере Ульяновской области. За последние десятилетия отмечается ежегодный рост посевных площадей, в основном, за счет увеличения доли технических, зерновых бобовых и крупяных культур продовольственного назначения. В современных сложившихся экономических условиях и рыночной конъюнктуры сельхозтоваропроизводители ориентируются, главным образом, на производство продовольственного зерна и некоторых технических культур, прежде всего подсолнечника, на долю которого в 2023 году приходится 260,8 тыс. га или 24,6 % от площади посевов (табл. 5.1).

Чрезмерное насыщение севооборотов подсолнечником имеет ряд отрицательных последствий, таких как фитосанитарная напряженность, высокие темпы минерализации органического вещества почвы, вынос элементов питания и иссушение почвы.

В структуре посевных площадей зерновая группа занимает более 60,0 % с превалированием зерновых колосовых культур, поэтому неизбежны их повторные посевы, при этом нарушается принцип плодосменности, на полях возрастает фитосанитарная напряженность и почвоутомление, что ведет к снижению урожайности и качества продукции.

Обращает на себя внимание чрезмерная насыщенность севооборотов подсолнечником (24,6 %) и низкая доля зерно-

вых бобовых культур (4,9 %). Кроме того, высокая доля чистых паров (252,3 тыс. га или 15,7 %) чревата проявлением эрозионных процессов и деградацией плодородия почвы. Все это вызывает необходимость оптимизации структуры посевных площадей, для построения севооборотов на принципах плодосмена и освоения практик почвозащитного и ресурсосберегающего земледелия.

Таблица 5.1 – Структура посевных площадей Ульяновской области в хозяйствах всех категорий за 2020 и 2023 годы (Территориальный орган Федеральной..., <https://73.rosstat.gov.ru/folder/40369>)

Культуры	2020 год		2023 год		Отклонение +, тыс. га
	тыс. га	%	тыс. га	%	
Зерновые и зернобобовые	646,8	61,4	647,0	61,1	+0,2
Озимые зерновые	307,4	29,2	273,2	25,8	-34,2
Яровые зерновые	339,4	32,2	373,8	35,3	+34,4
из них зернобобовые	13,8	1,3	51,4	4,9	+37,6
из них крупяные	9,3	0,9	13,6	1,3	+4,3
Технические	269,2	25,5	320,8	30,3	+51,6
из них подсолнечник	225,4	21,4	260,8	24,6	+35,4
Картофель и овощебахчевые культуры	19,6	1,9	16,3	1,5	-3,3
Кормовые	118,4	11,2	75,6	7,1	-42,8
из них мног. травы	57,5	5,5	41	3,9	-16,5
Посевная площадь	1054,1	100	1059,7	100,0	+5,6
Чистые пары	216,6	13,5	252,3	15,6	+35,7
Залежные земли	329,3	20,6	309,6	19,1	-19,7
Площадь пашни	1600,0	100	1621,6	100	+8,2

Увеличение биологического разнообразия в структуре посевных площадей может повысить устойчивость агроэкоси-

стем за счет подавления сорняков и болезней, а также поможет смягчить последствия экстремальных и изменчивых погодных явлений, которые, вероятно, усилятся с изменением климата (Roesch-McNally G.E., 2018). Помимо благотворного воздействия на запасы органического углерода разнообразный севооборот может также увеличить микробное разнообразие почвы, стабильность почвенных агрегатов или даже увеличить содержание органического углерода в более глубоких слоях за счет культур с глубокой корневой системой (Finney D.M., Kaye J.P., 2017; Tiemann LK, 2015).

Таким образом, существующая структура посевных площадей не соответствует принципам почвозащитного и ресурсосберегающего земледелия из-за наличия чистых паров, высокой доли зерновых культур и подсолнечника, что не позволяет построить севообороты на принципах плодосмена, чередования узколистных и широколиственных культур с различной корневой системой, при этом отмечается невысокое разнообразие культур и отсутствует возможность создания мульчирующего слоя на поверхности почвы.

При разработке севооборотов следует опираться на методологические принципы их разработки (Лошаков В.Г., 2012; Рекомендации для специалистов..., 2019). Ниже мы приведем интерпретацию данных принципов для севооборотов в технологии прямого посева.

1. *Принцип адаптивности.* Предполагает соответствие культур региональным почвенно-климатическим условиям, то есть подразумевает использование тех культур, которые в конкретном регионе обеспечивают достаточный уровень продуктивности, окупающий затраты на их возделывание.

В последние годы в условия лесостепной зоны Среднего Поволжья расширился перечень культур в структуре посевных площадей. В частности, всего в занятых парах или в качестве непаровых предшественников для озимых культур стали использовать нетрадиционные, но адаптированные к условиям региона культуры: люпин, нут, лен, горчица и рапс.

В рекомендованных технологиях наибольший урожай озимая пшеница формирует по чистому пару (Адаптивно-ланд-

шафтная система земледелия..., 2017). В случае размещения озимой пшеницы по непаровым (колосовым) предшественникам, что обусловлено сложившейся структурой посевных площадей, факторами, ограничивающими урожайность, выступают фитосанитарная напряженность и почвоутомление. В итоге продуктивный потенциал сортов озимой пшеницы реализуется не в полной мере при значительном варьировании урожайности и валовых сборов зерна по годам (Тойгильдин А.Л., 2018).

Нами в разные периоды были проведены исследования по оценке эффективности разных предшественников при возделывании озимой пшеницы (табл.5.2).

Таблица 5.2 – Урожайность озимой пшеницы и ее вариабельность по годам в зависимости от предшественников (Тойгильдин А.Л. и др., 2015), т/га

Предшественник	Годы исследований				В среднем за годы	V, %
	2005	2006	2007	2008		
Чистый пар	3,61	3,16	3,52	5,16	3,86	23,2
Горох	3,53	2,71	3,32	4,96	3,63	26,4
Вика	3,60	2,77	3,33	4,74	3,61	23,2
Сидер. пар	3,18	3,04	3,54	3,73	3,37	9,5
НСР ₀₅	0,13	0,14	0,20	0,25	-	-

Оценка эффективности возделывания озимой пшеницы по чистому пару, после гороха, после вики и сидерального пара, показала, что урожайность озимой пшеницы значительно варьировала, прежде всего, в зависимости от предшественников. Более высокая урожайность ее была получена по чистому пару – 3,86 т/га, что больше, чем после гороха на 0,23 т/га или 6,3 %, после вики – на 0,25 т/га или 6,9 % и сидерального пара (вико-овес) – на 0,49 т/га или 14,5 %.

В годы достаточной влагообеспеченности как в осенний, так и весенне-летний периоды вегетации горох и вика по

влиянию на урожайность озимой пшеницы не уступают чистому пару.

Следует отметить положительное влияние сидерального пара. За исключением засушливого 2008 года, во все годы исследований урожайность по этому предшественнику была выше, чем после гороха и вики. Наибольшие колебания урожайности отмечались после гороха при коэффициенте вариации (V) – 26,4 %, наименьшие по сидеральному пару – 9,5 %, тогда как после чистого пара и после вики – 23,2 %.

В другой период (2012-2015 гг.) также были проведены исследования с подбором предшественников для озимой пшеницы (табл. 5.3).

Таблица 5.3 – Урожайность озимой пшеницы и ее вариабельность по годам в зависимости от предшественников (Подсевалов М.И., и др. 2016; Сравнительная продуктивность звеньев..., 2017), т/га

Предшественник	Годы исследований				В сред- нем за годы	V, %
	2012	2013	2014	2015		
Чистый пар	4,20	3,67	5,65	4,07	4,40	19,7
Горох	3,64	3,26	5,04	2,66	3,65	27,6
Люпин	3,61	3,37	4,92	2,14	3,51	32,5
Горох + люпин	3,38	3,29	4,87	2,17	3,43	32,5
НСР ₀₅	0,11	0,20	0,17	0,16	-	-

Исследованиями установлено, что кроме гороха в севооборотах в качестве предшественников можно использовать люпин белый ранних сортов, так же можно рекомендовать смесь бобовых культур горох + люпин (Способ возделывания горох..., 2016). Особенностью является то, что способ включает посев гороха среднеспелых сортов и люпина с вегетационным периодом до 90 дней.

Исследования показали, что наибольшая урожайность сформировалась по чистому пару – 4,46 т/га, что на 18-22 %

выше, чем после занятых паров. Однако оценка продуктивности звеньев севооборотов с занятыми парами была выше, чем с чистым паром, на 1 т недобора урожая озимой пшеницы в занятых парах было получено 2,60-3,03 т зерна гороха, 2,08-2,29 т зерна люпина, и 2,12-2,26 т/га смеси гороха с люпином.

Также нами были оценены в качестве предшественников озимой пшеницы и масличные культуры. Исследования, проведенные в период 2021 гг. по уровню урожайности озимой пшеницы, позволили расположить предшественники в следующий ряд: после чистого пара – 5,16 т/га > после горчицы белой – 4,04 т/га > после рапса яровой – 3,87 т/га > после льна масличного – 3,77 т/га (табл.5.4).

Таблица 5.4 – Урожайность озимой пшеницы и ее вариабельность по годам в зависимости от предшественников (Тойгильдин А.Л. и др. 2021), т/га

Предшественник	Годы исследований			В среднем за годы	V, %
	2019	2020	2021		
Чистый пар	4,13	7,32	4,03	5,16	36,3
Лен масличный	3,28	5,55	2,47	3,77	42,4
Горчица белая	3,21	6,29	2,61	4,04	48,9
Рапс яровой	3,26	5,81	2,53	3,87	44,5
НСР ₀₅	0,23	0,26	0,15	-	-

Представленные результаты свидетельствуют о том, что в условиях лесостепной зоны Среднего Поволжья вполне можно возделывать такие культуры, как люпин белый, лен масличный, горчицу белую и рапс яровой как самостоятельные культуры в севообороте, так и в качестве предшественников для озимых зерновых культур.

По ряду исследований в качестве предшественников озимой пшеницы также успешно используются такие культуры, как гречиха и ранние сорта сои, что позволяет существенно повысить продуктивность, а особенно экономическую эффективность звеньев севооборотов.

2. Принцип хозяйственно-экономической целесообразности определяет возможность использования в севообороте культур, спрос и рыночная цена на которые сегодня могут существенно поддержать экономику предприятия.

При построении схем севооборотов следует учитывать, что в современных условиях большей экономической эффективностью отличаются зернобобовые и масличные культуры, также качественно зерно пшеницы.

Также существенное влияние на экономическую эффективность оказывают технологии возделывания, и прежде всего технология посева и нормы внесения минеральных удобрений.

Таблица 5.5 – Экономическая эффективность возделывания ярового ячменя в зависимости от технологии посева и нормы внесения минеральных удобрений, 2021-2022 гг.

Показатели	Рекомендованная технология			Прямой посев		
	б/у	N ₄₅ P ₃₀ K ₃₀	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	б/у	N ₄₅ P ₃₀ K ₃₀	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀
Урожайность, т/га	2,93	3,68	4,01	3,04	3,79	4,24
Стоимость продукции с 1 га, руб.	35160	44160	48120	36480	45480	50880
Производственные затраты на 1 га, руб.	19659	27353	34487	17686	25379	33457
Общие затраты на 1 га, руб.	21625	30088	37935	19455	27917	36803
Затраты труда, чел-час на 1 га	5,23	6,16	7,07	3,56	4,49	5,41
Себестоимость 1 т, руб.	7381	8176	9460	6400	7366	8680
Условный чистый доход, руб./га	13535	14072	10185	17025	17563	14077
Уровень рентабельности, %	62,6%	46,8%	26,8%	87,5%	62,9%	38,3%

Например, оценка экономической эффективности ячменя показала, что при его возделывании без минеральных удобрений стоимость полученного урожая с 1 гектара была наименьшей и возрастала с повышением урожайности (при цене 12 руб. га 1 кг на пивоваренные цели). Наибольшая стоимость полученной продукции отмечалась на прямом посеве, на фоне минеральных удобрений в дозе $N_{90}P_{60}K_{60}$.

Самая низкая себестоимость зерна была получена на прямом посеве. При сравнении норм внесения минеральных удобрений выявлено, что на контроле (без удобрений) себестоимость составила 7381 руб. по рекомендованной технологии и 6400 руб. на прямом посеве. Внесение минеральных удобрений повышало производственные затраты с одновременным ростом себестоимости.

Наибольший чистый доход был получен на фоне удобрений $N_{45}P_{30}K_{30}$ на прямом посеве – 17563 руб./га при уровне рентабельности 62,9 %. Увеличение норм минеральных удобрений до $N_{90}P_{60}K_{60}$ привело к снижению показателей экономической эффективности возделывания ячменя по изучаемым технологиям. По рекомендованной технологии чистая прибыль составила 10185 руб./га при рентабельности производства 26,8 %, а по технологии прямого посева – 14077 руб./га с рентабельностью 38,3 %.

Примерно аналогичные данные были получены при оценке экономической эффективности возделывания яровой пшеницы (Экономическая эффективность возделывания..., 2022), гречихи (Чижикова Г.А., Тойгильдин А.Л. и др., 2022) и рапса (Кузин А.С., Тойгильдин А.Л., 2022).

3. *Принцип плодосменности* предполагает смену культур на полях из разных хозяйственно-биологических групп, имеющих существенные различия в биологии и технологии возделывания.

Однозначно, смена культур в севообороте должна определяться по типу корневой системы (мочковатая – стержневая), что позволит создать условия для удовлетворения биологических, физических и химических причин необходимости чередования культур в севообороте.

Наиболее яркий классический пример плодосменности – норфолкский севооборот: зерновые 50%, пропашные 25%, бобовые 25%.

Чтобы соответствовать данному принципу и упростить составление севооборотов, все сельскохозяйственные культуры делят на 4 группы, которые можно разместить в следующую таблицу:

Культуры	Холодного периода	Теплого периода
Узколистные (однодольные, в основном злаковые)	Пшеница Озимая рожь Ячмень Овес Тритикале	Кукуруза Суданская трава Сорго Просо
Широколиственные (двудольные)	Горох, вика, чина Люпин Лен Рапс Горчица	Соя Гречиха Подсолнечник Нут Сафлор

Очередность культур в звеньях севооборота и в самом севообороте далее определяется их принадлежностью к различным группам из этого квадрата.

Как было отмечено прежде, идеальная «формула» севооборота для технологии прямого посева представляет собой X–X–T–T:1) Широколистные холодного периода – 2) Злаки холодного периода – 3) Широколистные теплого периода – 4) Злаки теплого периода.

4. *Принцип периодичности* предусматривает соблюдение времени возврата одной и той же культуры на прежнее место возделывания. В технологии прямого посева недопустимо выращивание зерновых колосовых культур два года подряд, как рекомендовалось при обработке почвы. Безусловно, что принципы и подходы в фитосанитарном интервале необходимо выдерживать при любых системах и технологиях (табл. 5.6.).

Таблица 5.6 – Болезни и фитосанитарный интервал в периоде возврата некоторых полевых культур на прежнее поле

Культура	Болезни	Период, годы
Озимая рожь	Фузариозная корневая гниль	1-2
Озимая пшеница	Корневые гнили фузариум, гельминтоспориум, церкоспорелла	1-2
Яровая пшеница	Корневые гнили Bipolaris-orokii-niana Shoem (синоним – Helminthosporium Sativum), Fusarium spp.	1-2
Ячмень, овес, просо	Корневые гнили (Fusarium spp и др.)	1-2
Горох, вика, чина	Корневые гнили афаномикоз, фузариоз	5-6
Гречиха	Пероноспороз, аскохитоз, фитофтороз, серая гниль, бактериоз	2-3
Подсолнечник	Ложная мучнистая роса, белая и серая гниль, семена заразили	8
Сахарная свекла	Корнеед всходов, гнили корнеплодов (сухая фузариозная, церкоспороз, переноспороз)	3-4
Картофель	Фитофтороз, стеблевая нематода, фузариозное увядание, ризоктониоз и др.	3

В технологии прямого посева фитосанитарный интервал возврата культуры на прежнее поле может быть короче за счет возделывания промежуточных почвопокровных культур, которые усиливают биоразнообразие и выполняют средообразующую роль в агроценозах.

5. *Принцип совместимости и самосовместимости* предусматривает возможность использования в качестве основных культур предшественников той же хозяйственно-биологической группы или их повторных посевов. При технологиях с предварительной обработкой почвы допускается посев озимых зерновых после яровых, овса после яровой пшеницы

или после ячменя и т.д., а также повторные посевы яровой или озимой пшеницы после чистого пара, повторные посевы картофеля, кукурузы, риса в особых условиях агротехники. В технологии прямого посева не допускается размещение растений одного семейства друг после друга, но в условиях Среднего Поволжья исключение может составлять повторный посев кукурузы и сои.

6. *Принцип уплотненного использования пашни* предполагает отказ от чистых паров и включение в севообороты посевов промежуточных культур с целью увеличения коэффициента использования пашни. В технологии прямого посева его можно переименовать в принцип насыщения севооборота промежуточными почвопокровными культурами, который предполагает включение в севооборот посевов промежуточных культур с целью увеличения коэффициента использования ФАР (фотосинтетическая активная радиация) и постоянного насыщения почвы живыми корнями растений. Этот принцип должен реализовываться во всех регионах, где между уборкой и севом основных культур остается временной период не менее 1,5-2 месяцев. В Среднем Поволжье в отдельные годы после уборки зерновых культур сенажного использования (озимая рожь, озимая тритикале, ячмень) при возделывании пожнивной гречихи, горчицы или проса возможно получение двух полноценных урожаев.

Наши исследования показали, что в условиях лесостепной зоны Среднего Поволжья роль чистых паров не высока как с агротехнической, так и с экономической точек зрения. По выходу условных зерновых единиц звенья севооборотов с занятыми парами (непаровыми предшественниками) более продуктивны (Морозов В.И. и др., 2008; Гойгильдин А.Л. и др., 2017), очевидно и их экономическое преимущество (Научно-практическое обоснование биологизации ..., 2020).

Даже для технологии с механической обработкой почвы прослеживается тенденция снижения доли чистого пара в севооборотах.

Так, на основании длительных исследований нами выявлена средняя обратная ($r = -0,447$) зависимость прибавки

урожайности озимой пшеницы по чистому пару (в сравнении с занятым гороховым) от количества осадков в период июль-сентябрь. Выявлено, что при сумме осадков >150 мм за указанный период различия в урожайности озимой пшеницы по чистому и занятому пару минимизируются и не превышают $0,6$ т/га (рис. 5.1).

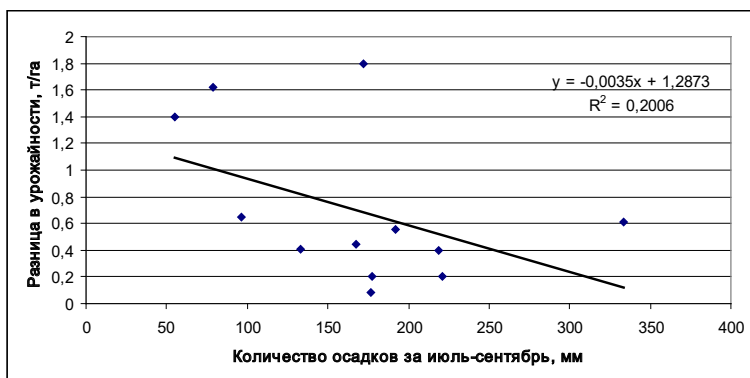


Рис. 5.1 – Связь прибавки урожайности озимой пшеницы от чистого пара с количеством осадков в предшествующем году (за 2003-2015 гг.)

Анализ урожайности озимой пшеницы по чистому пару показал, что она изменялась от $3,09$ до $5,65$ т/га (отмечена гибель посевов $7,7\%$ лет), при этом коэффициент вариации составил $19,7\%$, что характеризуется как средняя вариабельность. После гороха урожайность озимой пшеницы варьировала от $1,72$ до $5,04$ т/га при коэффициенте вариации $30,6\%$.

В среднем за 12 лет наблюдений урожайность озимой пшеницы изменялась в зависимости от предшественников от $3,31$ до $4,01$ т/га с преимуществом чистого пара на $0,7$ т/га (табл. 5.7). Данный факт объясняется более высокой влагообеспеченностью посевов озимой пшеницы по чистому пару в период посева и осеннего развития. Посредством корреляционно-регрессионного анализа нами установлена положительная связь ($r = 0,633$) между содержанием продуктивной влаги

перед посевом озимой пшеницы (x , мм) и урожайностью зерна озимой пшеницы (y , т/га), что характеризуется уравнением регрессии: $y = 0,025x + 0,401$.

Таблица 5.7 – Урожайность озимой пшеницы и ее вариация по различным предшественникам за 2003-2015 гг.

Предшественник	Средняя урожайность, 2003-2015 гг.	Варьирование урожайности, т/га		V, %
		min	max	
без учета 2010 года ¹				
Чистый пар	4,01	3,09	5,65	19,7
Занятый пар (горох)	3,31	1,72	5,04	30,6
с учетом 2010 года				
Чистый пар	3,42	0,41	5,65	35,5
Занятый пар (горох)	2,86	0,16	5,04	43,7

Несмотря на отмеченное, при оценке продуктивности прослеживается существенное преимущество звеньев севооборотов с горохом. По нашим исследованиям выход условных зерновых единиц в звене с горохом составил соответственно 3,02 тыс./га, что больше, чем в звене с чистым паром на 1,02 тыс./га (табл. 5.8).

Моделирование систем земледелия и ее элементов основано на экономико-математических методах, однако они применяются не часто, хотя имеется определенный опыт их разработки и внедрения (Фрумин И.Л., 2004; Образцов А.С., 1990).

¹ В 2009-2010 году отмечена гибель озимой пшеницы по всем предшественникам. При пересеве погибших посевов яровой пшеницей было получено 0,16-0,41 т/га зерна из-за сильной засухи в течение вегетации 2010 года

**Таблица 5.8 – Продуктивность звеньев севооборотов
с озимой пшеницей за 2003-2015 гг.**

№ п/п	Звено севооборота	Урожайность гороха, т/га	Урожайность озимой пшеницы, т/га	Выход зерновых единиц, тыс./га	V, %
1	Чистый пар – озимая пшеница	-	4,01	2,00	19,7
2	Горох – озимая пшеница	1,95	3,31	3,02	26,0

Постановка задачи сводилась к определению оптимального звена севооборота (с чистым и занятым паром), доли чистого пара в качестве предшественника озимой пшеницы, которая бы обеспечивала получение максимальной денежной выручки от произведенной зерновой продукции в звене севооборота.

Для решения данной проблемы была разработана экономико-математическая модель. Искомыми величинами в ней являлись площади посевов озимой пшеницы в звеньях с чистым и занятым парами (x_1, x_2).

x_1 – площадь посева чистый пар – озимая пшеница;

x_2 – площадь посева горох – озимая пшеница;

Ограничения задачи были составлены из условий, описывающих структуру посевных площадей зерновых культур, условий, отражающих условия возделывания, а также по расчету технико-экономических показателей. Общий размер задачи составил две переменные и наиболее значимые условия – ограничения (табл. 5.9).

За целевую функцию был принят показатель – получение выручки от реализации получаемой продукции в звеньях севооборотов, за ограничивающие факторы такие показатели, как производственные затраты, урожайность озимой пшеницы и выход зерна в звене севооборота, потери гумуса, накопление влаги перед посевом, проективное покрытие почвы.

Таблица 5.9 – Исходные данные для построения модели по оптимизации звена севооборота

№ п/п	Показатели	Чистый пар – озимая пшеница	Горох -озимая пшеница	Объемы ограничений
1	Производственные затраты, тыс.руб./1 га	15,1	27,5	не более 25,0
2	Выход зерна, т/га	2,00	3,02	не менее 2,5
3	Выручка от реализации продукции, тыс. руб. с 1 га	23,6	40,8	целевая функция стремится к max

Цель задачи сводилась к определению такой доли чистого и занятого паров в качестве предшественников для озимой пшеницы, которая обеспечивала бы максимальное значение функции:

$$F(X) = 23,6 x_1 + 40,8 x_2 \rightarrow max$$

при следующих условиях:

по общей площади пашни:

$$x_1 + x_2 = 1$$

по суммированию производственных затрат:

$$15,1x_1 + 27,5x_2 \leq 25,0$$

по производству зерновой продукции:

$$2,00x_1 + 3,02x_2 \geq 2,5$$

$$4,01x_1 + 3,31x_2 \geq 3,65$$

В результате решения задачи была построена область допустимых решений, т.е. решена графически система неравенств. Для этого построены прямые и определены полуплоскости, заданные неравенствами.

В результате построения прямой, отвечающей значению функции $F = 0$: $F = 23,6x_1 + 40,8x_2 = 0$ и построения вектора-градиента, составленного из коэффициентов целевой функции, указывается направление максимизации $F(X)$.

Прямая $F(x) = const$ пересекает область в точке А. Так как точка А получена в результате пересечения прямых (1) и

(3), то ее координаты удовлетворяют уравнениям этих прямых (рис. 5.2):

Прямая $F(x) = \text{const}$ пересекает область в точке А. Так как точка А получена в результате пересечения прямых (1) и (3), то ее координаты удовлетворяют уравнениям этих прямых (рис. 5.2):

$$\begin{aligned} x_1 + x_2 &= 1 \\ 2,00x_1 + 3,02x_2 &\geq 2,6 \end{aligned}$$

Решив систему уравнений, получены значения:

$$x_1 = 0,4, x_2 = 0,6$$

Откуда найдено максимальное значение целевой функции:

$$F(X) = 23,6 * 0,4 + 40,8 * 0,6 = 33,9$$

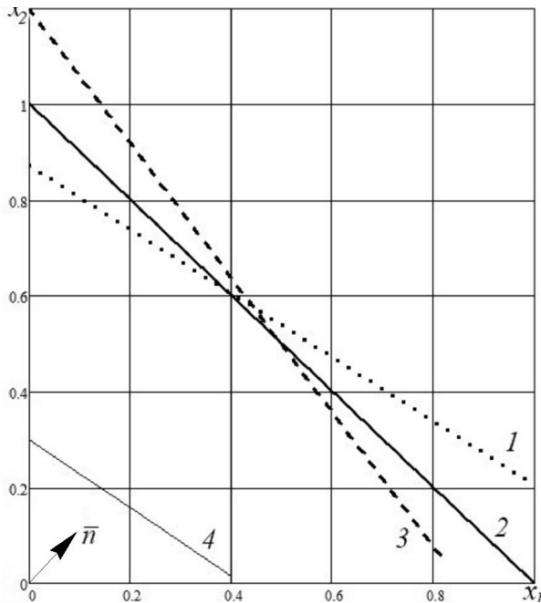


Рис. 5.2 – Графическое изображение решения задачи
 1 – решение уравнения по оптимизации производственных затрат; 2 – доля x_1 – чистого пара; x_2 - доля занятого пара горохом; 3 – решение уравнения по производству зерновой продукции с единицы площади

Сумма планируемой денежной выручки от реализации зерновой продукции может составить 33,9 тыс. руб. с 1 га.

Таким образом, решение задачи линейного программирования показывает, что оптимальное соотношение чистого и занятого пара в качестве предшественников озимой пшеницы по данным многолетних полевых исследований в условиях лесостепи Поволжья составляет соответственно 0,4:0,6.

На прямом посеве чистые пары исключаются, и возникает вопрос получения всходов озимых зерновых культур в осенний период в условиях низкого содержания продуктивной влаги в посевном слое и отсутствия осадков. Как показали исследования в течение 2021-2023 гг., прямой посев озимой пшеницы после рапса даже в условиях низкой влагообеспеченности позволял получить всходы, а ранняя и затяжная весна позволяла получить кущение и развитие растений.

Так в условиях 2022 года посев озимой пшеницы произвели 31 августа. При этом в августе осадки отсутствовали, а за период посев – прекращение вегетации (по 1 ноября) выпало 85 мм осадков. Вегетационный период 2023 года характеризовался низкой влагообеспеченностью и высоким температурным фоном. Во все месяцы весенней и летней вегетации озимой пшеницы количество осадков было ниже среднегоголетних значений, гидротермический коэффициент Г.Т. Селянинова за период весенне-летней вегетации составил 0,25 ед.

В сложившихся условиях была высока роль минеральных удобрений. Даже в условиях засухи урожайность на контроле составила 2,62 т/га, на фоне $N_{45}P_{30}K_{30}$ она повысилась до 3,68 т/га или на 40,4 %, а на варианте $N_{90}P_{60}K_{60}$ до 4,04 т/га, что на 54,2 % выше, чем на контроле (табл. 5.10).

Принцип специализации предусматривает возможность предельного научно обоснованного насыщения севооборота одной или несколькими культурами из одной хозяйственно – биологической группы. Реализуется в условиях интенсивного земледелия для построения специализированных зерновых, соевых и других севооборотов. Учитывая существующие ограничения, при технологии прямого посева все же специ-

Таблица 5.10 – Урожайность озимой пшеницы на прямом посеве после рапса в 2023 году, т/га

Варианта опыта	Урожайность, т/га	Отклонения, т/га	±%	Окупаемость минеральных удобрений урожаем, кг/кг
Без удобрений	2,62	-	-	
N ₄₅ P ₃₀ K ₃₀	3,68	+1,06	40,4	9,58
N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	4,04	+1,42	54,2	6,87
НСР ₀₅	-	0,12	4,6	-

ализированные севообороты или звенья использовать представляется возможным: кукуруза-кукуруза или соя-соя.

5.2. Методика построения схем севооборотов для технологии прямого посева

В современных условиях сельхозтоваропроизводители стремятся возделывать культуры, отличающиеся ликвидностью на рынке сельскохозяйственной продукции, при этом игнорируется биологическое разнообразие, к тому же в большинстве хозяйств отсутствует животноводство, что также ограничивает набор культур. Это обуславливает тот факт, что на этапе планирования структуры посевных площадей и построения севооборотов фермеры и сельхозтоваропроизводители испытывают трудности, связанные с выбором культур, что обусловлено сложностью вопроса – наличием ограничений (причин чередования) химического, физического, биологического и экономического порядков (Прянишников Д.Н., 1962; Лошаков В.Г., 2012).

Предприятиям важно разработать, внедрить и освоить эффективный севооборот. Для понимания этого вопроса следует дать определение эффективности севооборота.

Эффективность – относительный эффект, результативность процесса, операции, проекта, определяемые как отноше-

ние эффекта, результата к затратам, расходам, обусловившим, обеспечившим его получение. Следует различать эффективность агротехническую, биологическую, экологическую и экономическую.

Агротехническая эффективность севооборота определяется продуктивностью культур, и ее можно выразить как полученный урожай на каждый вложенный рубль производственных затрат.

Биологическая эффективность севооборота определяется способностью подавлять вредные организмы (сорные растения, вредители, болезни) в сравнении с бессменными посевами либо относительно других севооборотов (предшественников).

Экологическая эффективность севооборота – это категория, которая зависит от биологического разнообразия и отличается влиянием на показатели плодородия почвы, прежде всего накоплением углерода в почве.

Один из самых важных показателей – *экономическая* эффективность – чистый доход с 1 га или окупаемость затрат на 1 га.

Как правило при составлении севооборотов используется следующий алгоритм:

1. Определяют структуру посевных площадей по группам культур и видам паров;
2. Устанавливают средний размер поля;
3. Устанавливают число полей, как частное от деления всей площади севооборота на средний размер поля;
4. Выделяют наиболее ценные и экономически эффективные виды культур;
5. Отводят под эти культуры наилучшие предшественники;
6. Размещают все оставшиеся культуры по наилучшему предшественнику для каждой из культур;
7. Закрепляют порядок следования полей пара и культур сквозной нумерацией (Земледелие: практикум..., 2013).

Данный подход имеет ряд ограничений, например, культуры для чередования в севообороте подбираются на основании их условного деления на группы (отличные, хорошие,

удовлетворительные, неудовлетворительные и нерациональные предшественники), при этом выбор культур в качестве предшественников производится на основании достаточного практического опыта, и не всегда сельскохозяйственные культуры как предшественники имеют объективную оценку, зачастую севообороты, разработанные с использованием данной методики, могут состоять только из чистого пара и зерновой монокультуры (пшеница, ячмень, овес), что противоречит закону плодосмена и принципу биологического разнообразия. Следует отметить, что культуры даже из одного семейства существенно отличаются по биологическим особенностям, засухоустойчивости, устойчивости к реакции почвенной среды, способности подавлять сорняки, по экономической эффективности и другим показателям, что следует учитывать при составлении схемы севооборота особенно при минимальной обработке почвы и технологии прямого посева.

Для технологии прямого посева нами предлагается подход, при котором в севообороте ежегодно на полях чередуют культуры из разных ботанических классов – однодольные (семейство злаковые) и двудольные (культуры различных семейств за исключением злаковых), при этом эффективный севооборот должен включать озимые, яровые ранние и яровые поздние культуры, что обеспечивает смену культур с разной корневой системой. При этом культуры оптимизируют агрофизические свойства почвы, исключается распространение сорных растений, болезней и вредителей. Подбор конкретных видов растений в поля севооборота осуществляется за счет присвоения баллов каждой сельскохозяйственной культуре по актуальным для предприятия показателям.

Севооборот для технологии прямого посева включает чередование однодольных (преимущественно семейство злаковые) и двудольных культур (культуры различных семейств за исключением злаковых).

К основным показателям, которые рекомендуются для оценки культур в качестве предшественников, относятся:

1) Возможность использования промежуточных культур после ее уборки (от 1 до 5 баллов); степень засухоустой-

чивости культур (от 1 до 5 баллов).

Как отмечалось выше, использование промежуточных почвопокровных культур – существенный потенциал воспроизводства плодородия почвы за счет комплекса показателей, и прежде всего за счет накопления углерода и усиления микробиологической активности почвы. В условиях лесостепной зоны Среднего Поволжья средняя дата прекращения вегетации озимых зерновых приходится на 1 ноября (Адаптивно-ландшафтная система, 2017), т.е. после уборки культур существует возможность получения их всходов и развития, особенно после ранубираемых культур – зерновые, зерновые бобовые культуры, лен и некоторые другие (для Ульяновской области июнь, июль, начало августа).

По данным исследований в среднем потенциал секвестрации углерода при ежегодном возделывании промежуточных культур составил от 210 до 560 кг С га – 1 год – 1 верхних слоев почвы (0–25/30 см) (Poeplau, C.; 2015; Hu, T, 2018, Bleuler, M., 2017; Chambers, A., 2016, 71, Jian, J.; 2020).

В условиях Ульяновской области за 2-3 месяца вегетации почвопокровные культуры способны формировать наземную биомассу и массу корневой системы не менее 2,5 т/га.

Расчеты показывают, что с учетом сложившейся структуры посевных площадей промежуточные почвопокровные культуры можно разместить на площади не менее 600 тыс. га, при средней урожайности 2,5 т/га сухого органического вещества его объем составит 1,5 млн. тонн, а в почве возможно накопить 354 тыс. тонн углерода или 0,15 т/га.

2) Устойчивость культур к кислотности почвы, показатель рН актуален для предприятий, на территории которых имеются кислые почвы (от 1 до 5 баллов).

Например, данный показатель актуален для Ульяновской области, где по состоянию на 01.01.2017 г. площади кислых почв по области составили уже 685,5 тыс. га (49,2 %), в том числе: очень сильнокислые – 1,2 тыс.га., сильнокислые – 15,3 тыс. га, среднекислые – 211,5 тыс. га и слабокислые – 457,5 тыс. га. от обследованной площади пашни (Черкасов Е.А., Куликова А.Х., 2021).

К культурам, которые слабо реагируют на кислотность почвы или произрастают лучше, относятся озимая рожь, кукуруза, подсолнечник, овес, подсолнечник, лен, картофель и люпин.

3) Способность извлекать питательные вещества из почвы (от 1 до 5 баллов). Очень важное свойство растений особенно в условиях низкой обеспеченности почвы элементами питания в доступной для растений форме.

Следует выделить культуры с глубоко проникающей корневой системой – люцерна, подсолнечник, а также те, которые обладают свойствами выделения специфических экссудатов для извлечения фосфора и других элементов питания – горох, гречиха, люпин, горчица, сафлор и др.

4) Отношение сельскохозяйственных культур к повторным посевам (от 1 до 5 баллов). Данный признак позволяет проектировать севообороты на принципах совместимости и самосовместимости, а также специализации.

По данным коллектива авторов из Волжского научно-исследовательского института гидротехники и мелиорации на чистых полях от сорной растительности допустимы повторные посевы сои (Технология возделывания сои..., 2017). Также коллективом авторов из ВНИИ кукурузы доказано, что кукуруза также хорошо удается в повторных посевах (Повторные посевы гибридов..., 2020).

5) Способность подавлять сорняки (от 1 до 5 баллов). Важным признаком является высокая фитоценотическая активность культурных растений по отношению к сорному компоненту агрофитоценозов.

Наибольшей фитоценотической активностью отличаются озимые зерновые, особенно озимая рожь, многолетние травы, культуры семейства капустных – рапс, редька масличная, рыжик, а также гречиха, сафлор, суданская трава. Слабо конкурируют с сорняками особенно на начальных этапах развития соя, нут, ячмень, лен и др.

6) Технологичность (от 1 до 5 баллов) определяется доступностью технологии возделывания той или иной культуры, прежде всего, следует отметить сроки посевов и сроки уборки

культуры. Например, возделывание подсолнечника в условиях Ульяновской области определяется природно-экономической зоной, во влажные годы в условиях Центральной и Западной зон данная культура может существенно затягивать вегетацию, и уборка может осуществляться в поздние сроки, иногда переходить в следующий год (тоже касается сортов сои, гибридов кукурузы).

Технологичность также оценивается по наличию гербицидов на той или иной культуре. Например, отсутствуют зарегистрированные препараты на гречихе, чине, чечевице и некоторых других культурах, что следует учитывать при выборе полей севооборотов.

7) Экономическая эффективность (от 1 до 5 баллов). Одним из основных показателей выбора культур является их ликвидность на рынке сельскохозяйственной продукции и экономическая эффективность. Показатель экономической эффективности определяется продуктивностью в конкретных условиях, уровнем затрат и ценой реализации. Следует учесть, что в почвозащитном и ресурсосберегающем земледелии и в технологии прямого посева экономическую эффективность следует определять не только по выручке с 1 га, но с учетом баланса углерода в почве, о чем более подробно раскрыто в п. 5.3.

8) Дополнительные баллы (до 5 баллов) следует начислять тем культурам, которые определяют специализацию предприятия или имеющегося оборудования на предприятии.

Сумма полученных баллов позволяет ранжировать культуры по адаптационным свойствам для конкретных условий – чем выше сумма баллов, тем более приспособлена культура к условиям предприятия, что является основанием для ее включения в севооборот.

Шкала для оценки сельскохозяйственных культур по указанным показателям приведена в табл. 5.11 и составлена на основании обзора литературных источников, экспериментальных исследований и экспертного мнения авторов.

Выбор культур для севооборота и записи по их оценке ведут по форме, приведенной в табл. 5.12.

Таблица 5.11 – Оценка адаптационных свойств сельскохозяйственных культур для включения в севооборот в конкретных условиях

1 балл	2 балла	3 балла	4 балла	5 баллов
Возможность использования промежуточных культур после уборки культуры				
подсолнечник, сахарная свекла, сорго	кукуруза, соя, картофель, суданская трава	люпин, просо, нут, чечевица	яровая пшеница, овес, рапс, гречиха, лен	ячмень, горчица, оз. рожь, оз. пшеница, озимый ячмень, горох, оз. рыжик
Степень засухоустойчивости культур				
рапс, яровая вика, бобы	горчица, соя, овес, сахарная свекла, редька, картофель	яровая пшеница, горох, люцерна	ячмень, гречиха, чечевица, кукуруза	оз. пшеница, оз. ячмень, оз. рожь, подсолнечник, лен, просо, нут, сорго, суданская трава, сафлор, оз. рыжик, оз. рапс
Устойчивость культур к кислотности почвы (pH)				
сахарная свекла, люцерна, горчица, рапс	соя, ячмень, горох, бобы, нут, вика, редька	пшеница, просо, сорго, суданская трава	озимая рожь, кукуруза, подсолнечник	овес, гречиха, лен, картофель, люпин
Способность извлекать питательные вещества из почвы				
ячмень, сахарная свекла	соя, пшеница	кукуруза, сорго, суданская трава	рапс, редька, картофель, лен, овес, озимая рожь, нут, чечевица, просо	горох, люпин, гречиха, люцерна, горчица, подсолнечник, сафлор

Продолжение таблицы 5.11

1 балл	2 балла	3 балла	4 балла	5 баллов
Отношение к повторным посевам				
подсолнечник, лен, люпин, горох, вика, рапс, сахарная свекла, горчица	нут, просо, многолетние травы, оз. пшеница, сорго, суданская трава	гречиха, ячмень, яр. пшеница	ячмень, рожь, овес	картофель, соя, кукуруза
Способность подавлять сорняки				
горчица, картофель, сахарная свекла, нут, чечевица, соя	ячмень, люпин, лен, горох, сорго	яр. пшеница, овес, просо, подсолнечник, кукуруза	яровой рапс, озимый ячмень, суданская трава, озимый рыжик	озимая рожь, озимая пшеница, многолетние травы, редька, гречиха, сафлор, озимый рапс
Технологичность (сроки сева, уборки, наличие СЗР, вид продукции и др.)				
сахарная свекла, кукуруза на зерно, сорго	Картофель, суданская трава	рапс, редька, просо, гречиха, лен, подсолнечник, нут, соя, горчица, рыжик	люпин, горох, вика, сафлор	озимые зерновые, яровая пшеница, ячмень, овес
По экономической эффективности				
просо, овес, суданская трава	яровая пшеница, озимая рожь, тритикале	озимая пшеница, ячмень, горох, люпин, нут, вика, сорго, чечевица, сафлор	кукуруза, гречиха, люцерна, сахарная свекла, рыжик	лен, рапс, подсолнечник, горчица, редька, соя

**Таблица 5.12 – Методика подбора предшественников
и построения схем севооборотов**

№ поля в севообороте	Выбираемые культуры по полям севооборота (количество культур не ограничено)	По биологическим особенностям, Д – двудольные; Од – однодольные; О/ЯР/ЯП – озимая, яровая ранняя, яровая поздняя	Признаки подбора, оценка в баллах			Сумма баллов
			Возможность возделывания промежуточных культур (от 1 до 5)	Степень засухоустойчивости культур (от 1 до 5)	
1	Культура 1					
	Культура 2					
					
2	Культура 1					
	Культура 2					
	...					

Методология составления схемы эффективного севооборота в конкретных условиях основана на том, что чередуются культуры из разных ботанических классов: однодольные – двудольные, например, горох – озимая пшеница – рапс яровой – яровая пшеница – гречиха – ячмень. Выбор той или иной культуры в каждом поле севооборота уточняется по комплексу показателей, актуальных для конкретных условий с присвоением баллов. Культура, которая набирает наибольшее количество баллов, отличается большей адаптивностью и лучше подходит для конкретных условий. При выборе культур отдельные показатели могут не учитываться (например, отно-

шение культур к рН почвы, если почвы на территории хозяйства имеют нейтральную реакцию).

Проведем подбор культур в 4-польном севообороте (табл. 5.13). В севооборот следует включать озимые, яровые ранние и яровые поздние культуры, т.е. данный метод ограничивает выбор среди большого набора культур, при этом мы получаем чередование по принципу: двудольные – однодольные – двудольные – однодольные, что обеспечивает смену культур с разной корневой системой и оптимизирует агрофизические свойства почвы, исключает распространение сорных растений, болезней и вредителей.

При подборе предшественников и включении культур в севооборот имеются ограничения, которые следует учитывать:

- 1) Фитосанитарный интервал возврата культур на прежнее поле;
- 2) Предшественники для озимых зерновых культур подбираются с учетом времени освобождения поля;
- 3) Чередование культур разных ботанических классов.

Далее проводится подсчет баллов по комплексу показателей, сумма баллов позволяет определить культуры, наиболее подходящие для конкретных условий производства. В приведенном примере наиболее подходящее чередование культур: лен – озимая рожь – соя – ячмень. С учетом специализации предприятия озимую рожь можно заменить на озимую пшеницу или внести другие изменения.

Примеры эффективных севооборотов для прямого посева в условиях Среднего Поволжья:

4-польный полевой (внедрен в ООО «Майнская Агрокомпания» Майнского района Ульяновской области):

1. Лен;
2. Озимая пшеница + посев смеси почвопокровных культур;
3. Рапс яровой;
4. Ячмень + посев смеси почвопокровных культур.

6-польный полевой (внедрен в ООО «Орловка» – Агро-Инновационный Центр Похвистневского района Самарской области):

Таблица 5.13 – Пример подбора построения схем севооборотов для технологии прямого посева

№ поля в севообороте	Выбираемые культуры по полям севооборота (количество культур не ограничено)	По биологическим особенностям, Д – двудольные; Од – однодольные; О/ЯР/ЯП – озимая, яровая ранняя, яровая поздняя	Признаки подбора, оценка в баллах			Сумма баллов
			Возможность возделывания промежуточных культур (от 1 до 5)	Степень засухоустойчивости культур (от 1 до 5)	
1	Горох	Д ЯР	5	3	...	25
	Лен		4	5	...	29
	Рапс		4	1	...	26
2	Озимая пшеница	Од О	5	5	...	30
	Озимая рожь		5	5	...	33
	Озимый ячмень		5	5	...	28
3	Сахарная свекла	Д ЯР	1	1	...	11
	Соя		2	2	...	23
	Нут		3	5	...	22
4	Ячмень	Од ЯП	5	4	...	26
	Яровая пшеница		4	3	...	24
	Овес		4	2	...	26

1. Горох;
2. Озимая пшеница, посев почвопокровных культур;
3. Соя;
4. Яровые зерновые, посев почвопокровных культур;
5. Подсолнечник;

6. Яровые зерновые, посев почвопокровных культур.
 - 4-польный кормовой (внедрен в ООО «Агро-Н» Новоспасского района Ульяновской области):
 1. Однолетние травы на сенаж;
 2. Озимая тритикале на сенаж, пожнивный посев гречихи на зерно;
 3. Кукуруза на зерно;
 4. Кукуруза на зерно.
 - 6-польный полевой (внедрен в ООО «Агрофирма «Приволжье» Старомайнского района Ульяновской области);
 1. Горох;
 2. Озимая пшеница, посев почвопокровных культур;
 3. Гречиха;
 4. Ячмень, посев почвопокровных культур;
 5. Соя;
 6. Просо.

5.3. Методология оценки эффективности севооборотов на прямом посеве

Начиная с середины прошлого века, повышение продуктивности растениеводства было связано с интенсивными системами земледелия, т.е. сопряжено с использованием высоких норм минеральных удобрений, широким применением средств защиты растений и активной обработкой почвы. Данные подходы позволили существенно повысить продуктивность сельскохозяйственных земель (Кирюшин В.И., 2019; Hunter M.C. et al., 2017), несмотря на это, антропогенное использование земель повсеместно привело к снижению плодородия почвы и ее деградации, загрязнению окружающей среды (Gaffney, J. et al., 2019; Яковлев А.С. и др., 2018; Чекмарев, П.А., Коршунов А.П., 2020; Деградация земель и..., 2019; Davidson E., et al., 2014), что, в свою очередь, как следствие снижает эффективность агропроизводства, к тому же возникли глобальные вызовы – продовольственная безопасность, изменение климата в результате выделения парнико-

вых газов, опустынивание, снижение биоразнообразия и др. (Национальный доклад «Глобальный...», 2019; Nabuurs G.-J., и др. 2022).

Деградация земель рассматривается как фактор, влияющий на их продуктивность, а значит и на снижение производства объемов продовольствия и сокращение доходов сельскохозяйственных предприятий и фермеров (Sartori M., et al., 2019). Также в мире обостряется проблема изменения климата, прежде всего, увеличиваются продолжительность и интенсивность засух, ожидается, что это приведет к снижению урожайности многих сельскохозяйственных культур (Li G.И др., 2020; Ortiz-Bobea A., 2021).

В России деградация земель ежегодно нарастает, и в настоящее время 65 % пашни, 28% сенокосов и 50% площади пастбищ подвержены разрушающему действию эрозии, дефляции, периодическому действию засух и суховеев. Ежегодная убыль гумуса в почвах в среднем составляет 0,62 т/га, его содержание за последние 100 лет снизилось на 30-40 %. Ущерб от нерационального использования агроландшафтов впечатляет, так от вредного воздействия природно-антропогенных факторов ежегодный недобор продукции растениеводства в РФ достигает 43 млн. т. в зерновом эквиваленте (Кулик К.Н. и др., 2018).

Интенсивная обработка почвы в растениеводстве приводит к росту объемов выделяемого в атмосферу углекислого газа, что усугубляет парниковый эффект и глобальное потепление (Иванов А.Л., 2019; Столбовой В.С., 2020). По разным оценкам от 14 до 28% суммарных выбросов парниковых газов в атмосферу приходится на сельское хозяйство, лесное хозяйство и другие виды землепользования (Изменение климата и..., 2020; Gan, Y.T. и др., 2014), по некоторым данным 35% CO_2 , 47% CH_4 , 53% N_2O и 21% оксида азота (NO), соответствующие глобальным годовым выделениям, относятся к дегазации почвы (Heinemeyer A. и др., 2011).

В глобальном масштабе экономические эффекты внедрения почвозащитного земледелия можно свести к повышению продуктивности и адаптации к изменениям в сельском

хозяйстве; расширению пула продуктов компаний-производителей сельхозудобрений, средств защиты растений и сельхозтехники; расширению потенциальных технологий, которые могут использоваться сельхозпроизводителями для повышения урожайности и сохранения плодородия почвы и обеспечения продовольственной безопасности страны (Орлова Л.В., 2023).

На сегодняшний день в России данные технологии применяются на площади около 6 млн. гектар. При этом еще 15 млн. га используют технологии мульчирования, которые являются переходным этапом к применению ПРЗ. По оценкам, один гектар, который обрабатывается с помощью технологий ПРЗ, может депонировать до 5 тонн углерода. По данным Глобальной карты потенциала секвестрации почвенного углерода GSOCseq (ФАО) потенциал его секвестрации в России только сельскохозяйственными территориями составляет 17 МгТонн в год (Мировая климатическая повестка..., 2022).

По мнению ряда исследователей, с экономической точки зрения можно ожидать, что применение практики углеродного (регенеративного) земледелия возможной только в том случае, если она будет прибыльной для пользователей (Kragt M.E. и др. 2012). Отложенный, но вполне очевидный эффект экономической выгоды кроется в сокращении производственных затрат и защите почв от эрозии (сохранении ее плодородия) (Джандаров А.Н. и др., 2022; . Minikajev R и др., 2020) и потенциальный – повышении плодородия почвы и получения выплат за секвестрацию углерода в почве в результате продажи углеродных единиц (Медведева О.Е. и др., 2021).

В нашей стране создаются условия для дальнейшего развития и распространения практик почвозащитного и ресурсосберегающего земледелия. Так в 2019 году Россия ратифицировала Парижское соглашение, которое предполагает сокращение к 2030 году выбросов парниковых газов до 70-75 % от уровня 1990 года при условии максимально возможного учета поглощающей способности лесов. После этого президент РФ подписал указ по созданию национальной системы климатического регулирования.

Наиболее популярными экономическими инструментами такого регулирования в мире являются углеродный налог и рынок углеродных единиц, которые относятся к стимулирующим мерам, создающим углеродное ценообразование и способствующие выполнению задач по сокращению выбросов.

В 2021 году в России вступил в силу ФЗ № 296 «Об ограничении выбросов парниковых газов» для регулируемых организаций, который обязывает вести соответствующую отчетность и формирует понятийную базу для обращения углеродных единиц.

Поскольку ПРЗ направлено не только на получение сельскохозяйственной продукции, но и связано с решением экологических вопросов, таких как защита почв от эрозии, воспроизводство плодородия почвы, сохранение биоразнообразия, сокращение эмиссии парниковых газов, секвестрация и депонирование углерода, то оценка его эффективности не может заключаться только в расчете экономических показателей.

Для проведения экологической оценки различных подходов применяется такой метод, как оценка жизненного цикла – *lifecycleassessment* LCA (ISO, 2006), причем данный метод активно используется для оценки агротехнологий в органическом земледелии (Coppola G., и др., 2022), для оценки севооборотов (Gonzalez-Garcia S. и др., 2021) и ресурсосберегающих технологий обработки почвы (Rahman M.D., 2021), применения минеральных удобрений и других агротехнических приемов. Данные исследования были направлены на оценку выбросов парниковых газов и углеродного следа, и они не содержат эколого-экономической оценки.

Имеются публикация и о комплексной экологической и социально-экономической оценке интенсивных систем земледелия, но они касаются оценки отдельных культур в конкретных почвенно-климатических условиях и не могут быть использованы повсеместно (LiXiong et al., 2022).

Так же известны методы эколого-экономической (Рабочев Г.И. и др., 2004; Голубев А.В., 2008) и биоэнергетической оценки (Володин В.М., 1991) приемов возделывания

сельскохозяйственных культур, которые наряду с экономической эффективностью учитывают динамику плодородия почвы (органического вещества) в стоимостном выражении и в той или иной мере могут быть использованы для оценки практик почвозащитного и ресурсосберегающего земледелия. Например, в работе (Голубев А.В., 2008) приведены методологические основы определения экономико-экологической эффективности агромероприятий и методические подходы к исчислению комплексной оценки технологий и применения удобрений, апробирована методика определения изменения почвенного плодородия при помощи нормативного метода расчетов и установления экологических последствий производства в стоимостной оценке.

Оценка эколого-экономической эффективности агротехнологий была апробирована на примере ООО «Майнская Агрокомпания» Майнского района Ульяновской области, которое расположено в лесостепной зоне Среднего Поволжья, где преобладают черноземные почвы и серые лесные почвы. В предприятии возделываются такие культуры, как озимая и яровая пшеница, ячмень, горох, соя, гречиха, рапс, лен (табл. 5.14).

Расчеты показали, что при рекомендованной технологии возделывания полевых культур: использование комбинированной обработки почвы (сочетание отвальных и безотвальных способов с элементами минимализации), использование расчетных норм минеральных удобрений, химическая защита растений, возделывание высокоинтенсивных сортов возможно получить условно чистый доход от 14,5 до 23 тыс. руб. с 1 га с высоким уровнем рентабельности (по отдельным культурам более 100 %).

Формирование урожая сопровождается выносом питательных элементов, минерализацией органического вещества и потерей углерода из почвы. Наши расчеты показывают, что при возделывании полевых культур в ООО «Майнская Агрокомпания», даже с учетом поступления побочной растительной продукции в почву (соломы и пожнивно-корневых остатков) некомпенсированные потери гумуса (по углероду) составляют от 0,13 т/га (гречиха) до 2,50 т/га (озимая пшеница

**Таблица 5.14 – Эколого-экономическая оценка возделывания
основных сельскохозяйственных культур на примере
ООО «Майнская Агрокомпания» Майнского района
Ульяновской области**

Культуры		Оз. пше- ница*	Ячмень пиво- варенный	Го- рох	Соя	Гре- чиха	Рапс
Показатели							
Урожайность, т/га		5,02	3,81	2,85	1,82	1,61	1,60
Стоимость продук- ции, тыс. руб. на 1 га		50,2	45,7	37,05	47,32	35,42	38,4
Прямые затраты, тыс. руб. на 1 га		27,2	23,5	22,6	24,4	15,2	22,8
Условно чистый доход, тыс. руб./га		23,0	22,2	14,5	22,9	20,2	15,6
Баланс гумуса (по углероду), ± т/га		-2,50	-0,30	-0,29	-0,21	-0,13	-0,66
Дополнительные затраты на воспро- изводство углерода почвы, тыс. руб. на 1 га		65	7,9	7,4	5,5	3,4	17
Затраты с учетом компенсации потерь углерода почвы, тыс. руб. на 1 га		92,2	31,4	30	29,9	18,6	39,8
Рента- бель- ность, %	по прямым затратам	84,6	94,6	63,9	93,9	133,0	68,4
	с учетом компен- сации потерь углерода	-45,6	45,6	23,5	58,3	90,4	-3,5

*- озимая пшеница по чистому пару

по чистому пару). Для компенсации потерь углерода почвы необходимо внести органические удобрения (расчет проведен на навоз) в объеме от 3 до 50 т/га, что в денежном эквиваленте составляет от 3,3 до 65,0 тыс. руб. на 1 га соответственно.

Расчеты показывают, что интенсивное использование земли приводит к необходимости воспроизводства потерь углерода почвы за счет поиска его источников, при этом возникают дополнительные затраты и уровень рентабельности возделывания полевых культур существенно снижается, а такие культуры, как озимая пшеница по чистому пару и яровой рапс становятся убыточными.

Также следует учитывать, что использование традиционных подходов – использование органических удобрений для компенсации потерь углерода почвы и воспроизводства плодородия почвы в широких масштабах невыполнимо из-за отсутствия навоза и дороговизны его внесения в указанных объемах, поэтому актуальность применения и освоения почвозащитного и ресурсосберегающего земледелия не вызывает сомнения.

Учитывая объемы поступления углерода в почву от отдельных приемов почвозащитного и ресурсосберегающего земледелия для ООО «Майнская Агрокомпания» с целью компенсации потерь углерода почвы, для его секвестрации и депонирования, достаточно отказаться от чистых паров, использовать практику прямого посева и ввести промежуточные почвопокровные культуры.

Безусловно, что почвозащитное и ресурсосберегающее земледелие имеет перспективу, в том числе для условий лесостепной зоны Среднего Поволжья, однако на сегодняшний день отсутствуют методологический и методический подходы оценки его эффективности, в связи с этим на основании существующих разработок и обзора литературы нами предложена модифицированная методика эколого-экономической оценки данного направления.

Эколого-экономическая оценка почвозащитного и ресурсосберегающего земледелия может проводиться по следующей методике:

1. Расчет эффективности (ЭЭу) применения отдельных агрономических приемов проводится по формуле:

$$\text{ЭЭу} = \text{Ээк} \pm \text{Эус}, \text{ руб./га} [1]$$

где Ээк – экономический эффект возделывания;

Эус – экономический эффект от накопления (потерь) углерода.

2. Показатель Ээк – экономический эффект возделывания рассчитывается по формуле:

$$\text{Ээк} = \text{У} * \text{Ц} - \text{З} = \text{Чд}, \text{ руб./га} [2]$$

где У – урожайность культуры, т/га;

Ц – цена реализации продукции растениеводства, руб./т;

З – совокупные затраты на производство продукции растениеводства, руб./га;

Чд – условно чистый доход, руб./га.

3. Показатель экономический эффект от углеродного следа (Эус) измеряется ростом или снижением содержания углерода почвы:

$$\text{Эус} = \text{Си} - \text{Ск} = \pm \Delta \text{С} * \text{Сс} [3]$$

где Си и Ск – запасы углерода гумуса почве до и после проведения агромероприятий по возделыванию культуры, т/га;

$\pm \Delta \text{С}$ – изменения запасов углерода в почве, т/га;

Сс – стоимость условной углеродной единицы, руб./т CO_2 е/га/год.

Проведенные расчеты показали, что в случае применения эколого-экономической оценки с учетом углеродного следа технологии, применяемые с обработкой почвы и с использованием чистого пара, экономически не эффективны. Замена чистых паров на занятые позволит снизить потери углерода почвы и обеспечить экономически эффективное производство (табл. 5.15).

Включение в звенья севооборотов промежуточных почвопокровных культур и переход на технологию прямого посева существенно повысит экономическую эффективность возделывания полевых культур.

Таким образом, почвозащитное и ресурсосберегающее земледелие следует оценивать не только по экономической эффективности возделывания культур, которая возрастает по

сравнению с рекомендованными (традиционными) технологиями за счет сокращения затрат на горюче-смазочные материалы, средства защиты растений и минеральные удобрения, а следует проводить эколого-экономическую оценку с учетом изменения содержания углерода в почве.

Таблица 5.15 – Экономическая оценка возделывания культур в звеньях севооборотов с учетом углеродного следа (примерные расчеты)

№ п/п	Культура, звено севооборота	Обработка почвы, технология	Производственные затраты (З), руб./га	Чд, руб./га	$\pm \Delta C$, т/га	ЭЭу, руб./га
1	Чистый пар – озимая пшеница	комбинированная	30 000	20 000	- 1,5	-20 000
2	Горох – озимая пшеница	комбинированная	45 000	25 000	- 0,4	+ 14 340
3	Горох – озимая пшеница + ППК*	комбинированная	48 000	22000	-0,1	+ 19 994
4	Горох – озимая пшеница + ППК	прямой посев	40 000	25 000	+0,4	+ 25 400**

*- промежуточные почвопокровные культуры.

** - с учетом компенсации из расчета 1 тыс. руб. за 1 тонну углерода.

Возделывание сельскохозяйственных культур по рекомендованным технологиям сопровождается потерями органического углерода почвы даже с учетом его возврата с биогенными ресурсами (солома, пожнивно-корневые остатки), а компенсация его потерь за счет органических удобрений

(навоза) сопряжено с высокими затратами, которые не всегда окупаются.

Практики почвозащитного и ресурсосберегающего земледелия, прежде всего, такие приемы, как оптимизация структуры посевных площадей и отказ от чистых паров, прямой посев и промежуточные почвопокровные культуры способны обеспечить бездефицитный баланс углерода и даже его накопление. Рекомендованная методика эколого-экономической оценки позволит учитывать возможность получения дополнительных выплат от секвестрации углерода в почве.

Практика почвозащитного и ресурсосберегающего земледелия имеет долгосрочный положительный эффект за счет секвестрации углерода почве, который позволит повысить плодородие почвы и продуктивность возделываемых сельскохозяйственных культур в ближайшей перспективе, что также следует учесть в разрабатываемых моделях эколого-экономической оценки.

Заключение

В условиях отрицательного воздействия на окружающую среду средств интенсификации – обработки почвы, несбалансированных норм внесения минеральных удобрений, нерационального использования пестицидов и других факторов следует осваивать новые более эффективные и менее опасные для экологии системы земледелия. В этом плане приемлемым и перспективным является изучение почвозащитного и ресурсосберегающего земледелия, обязательными компонентами которого являются мульчирующий слой почвы на ее поверхности (за счет растительных остатков и промежуточных почвопокровных культур), минимальная обработка почвы и прямой посев, а также севооборот с максимальным разнообразием возделываемых культур.

Эффективность технологии прямого посева в различных регионах России вызывает множество споров, но исследованиями ряда ученых и практиками доказано, что данная технология существенно снижает затраты на производство продукции растениеводства, позволяет более рационально использовать продуктивную влагу, не снижает, а в отдельных случаях даже повышает продуктивность культур и экономическую эффективность производства. Технология прямого посева требует проведения детальных и комплексных исследований, которые в нашей стране проводятся фрагментарно и не всегда методически верно.

Зачастую технология прямого посева в агропредприятиях не получает распространения из-за переуплотнения почвы, высокой засоренности в первые годы ее внедрения и других причин. Нами доказано, что в условиях лесостепной зоны Среднего Поволжья в сравнении с рекомендованной технологией (с предварительной обработкой почвы) плотность чернозема выщелоченного среднесуглинистого и чернозема типичного тяжелосуглинистого хотя и имеет тенденцию к увеличению, но значения данного показателя находятся в

переделах оптимальной плотности для большинства сельскохозяйственных культур. К тому же проблему переуплотнения почвы можно решить за счет меньшего прохода техники по полям, правильного подбора промежуточных почвопокровных культур, которые способны не только оптимизировать агрофизические свойства почвы и повышать их влагоемкость, но и выступать в качестве кулис и в зимний период накапливать снег на полях.

В условиях лесостепной зоны Среднего Поволжья на технологии прямого посева при наличии мульчирующего слоя по поверхности почвы улучшается влагообеспеченность посевов, отмечается более рациональное использование влаги, уменьшается засоренность посевов и существенно сокращается количество видов сорняков. Исследованиями установлено, что урожайность полевых культур формируется на уровне рекомендованных технологий или повышается в сравнении с ней благодаря отмеченным факторам. При сравнении агротехнологий (прямой посев и рекомендованная технология с предварительной обработкой почвы) выявлено, что эффективность минеральных удобрений находится на одном уровне.

Существенным преимуществом технологии прямого посева является снижение затрат до 10 %, прежде всего за счет экономии горюче-смазочных материалов, снижения отчислений на амортизацию и текущий ремонт техники, а экономическая эффективность возделывания полевых культур при этом существенно повышается.

В технологии прямого посева особое значение принадлежит севообороту и промежуточным почвопокровным культурам. В условиях Среднего Поволжья их посев можно осуществлять после ранубираемых – зерновых, гороха, льна, горчицы и некоторых других культур, при условии, что после их уборки выпадает не менее 30 мм осадков и остается не менее 1,5-2,0 месяца вегетации для их роста и развития. При подборе состава промежуточной почвопокровной смеси необходимо учитывать культуры севооборота и задачи, которые необходимо решать при их посеве (рыхление почвы, накопление органического вещества, накопление азота и др.).

Нами разработаны методологические принципы построения схем севооборотов и оценки эколого-экономической эффективности технологии прямого посева. Надеемся, что данные исследования и методологические разработки позволят внести ясность в обоснование структуры посевных площадей и построение схем севооборотов для технологии прямого посева, будут способствовать популяризации данной технологии среди практиков и вдохновят ученых на проведение комплексных исследований в данном направлении.

Список литературы

1. A linkage between the biophysical and the economic: Assessing the global market impacts of soil erosion / M. Sartori, G. Philippidis, E. Ferrari, P. Borrelli, E. Lugato, L. Montanarella, P. Panagos // *Land Use Policy*. – 2019. – Vol. 86. – P. 299–312. – [10.1016/j.landusepol.2019.05.014](https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.05.014) (online).
2. A meta-analysis of global cropland soil carbon changes due to cover cropping / J. Jian, X. Du, M.S. Reiter, R.D. Stewart // *Soil Biology and Biochemistry*. – 2020. – Vol. 143. – P. 107735. – <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2020.107735>.
3. Active Microbial RNA Turnover in a Grassland Soil Estimated Using a ¹³C₂O₂ Spike / N. Ostle, A.S. Whiteley, M.J. Bailey, D. Sleep, P. Ineson, M. Manefield // *Soil Biology and Biochemistry*. – 2003. – № 35. – P. 877–885. – DOI:10.1016/S0038-0717(03)00117-2.
4. Agriculture in 2050: recalibrating targets for sustainable intensification / M.C. Hunter, R.G. Smith, M.E. Schipanski, L.W. Atwood, D.A. Mortensen // *Bioscience*. – 2017, Volume 67. – P. 386–391. – <https://doi.org/10.1093/biosci/bix010>.
5. Agriculture, Forestry and Other Land Uses (AFOLU) / G.-J. Nabuurs, R. Mrabet, Hatab Abu A., M. Bustamante, et al. // *Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. – 2022. – P. 750. – doi:10.1017/9781009157926.009.
6. Allison, F.E. *Soil organic matter and its role in crop production*. – Amsterdam, London, New-York, 1973.
7. Anderson, R.L. An ecological approach to strengthen weed management in the semiarid Great Plains / R.L. Anderson // *Advances in Agronomy*. – Vol 80. – P. 33–62. – DOI:10.1016/S0065-2113(03)80002-0.
8. Andreeva, D. Genesis and properties of black soils in Buryatia, southeastern Siberia, Russia / D. Andreeva, K. Leiber, B. Glaser // *Quaternary International*. – 2011. – № 243(2). – P. 313–326. – DOI:10.1016/J.QUAINT.2010.12.017.

9. Anthropogenic climate change has slowed global agricultural productivity growth / A. Ortiz-Bobea, T.R. Ault, C.M. Carrillo, R.G. Chambers, D.B. Lobell // *Nature Climate Change*. – 2021. – № 11. – P. 306–312. – DOI:10.1038 / s41558–021–01000–1.
10. Assessing costs of soil carbon sequestration by crop–livestock farmers in Western Australia / M.E. Kragt, D.J. Pannell, M.J. Robertson, T. Thamo // *Agricultural Systems*. – 2012. – Vol. 112. – P. 27–37. – doi:10.1016/j.agsy.2012.06.005.
11. Building bridges between agribusiness innovation and smallholder farmers: a review / J.Gaffney, M.Challender, K.Califf, K.Harden // *Glob. Food Secur.* – 2019. – № 20. – P 60–65. – <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2018.12.008>.
12. Carbon in Soils to Meet Paris Climate Pledges / C. Rumpel, F. Amiraslani, L–S. Koutika, P. Smith, D. Whitehead, E. Woltenberg // *Put More. Nature*. – 2018. – № 564. – P. 32–34 – DOI:10.1038/d41586–018–07587–4.
13. Chambers, A. Soil Carbon Sequestration Potential of US Croplands and Grasslands: Implementing the 4 per Thousand Initiative / A. Chambers, R. Lal, K. Paustian // *Soil Water Conserv.* – 2016. – № 71. – P. 68A–74A. – DOI:10.2489/jswc.71.3.68A.
14. Climate change and land: An IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems. – 2019 – <https://www.ipcc.ch/srcl>.
15. Comparative life cycle assessment of conventional and organic hazelnuts production systems in Central Italy / G. Coppola, M. Costantini, A.Fusi, L. Ruiz–Garcia, J. Bacenetti // *Sci. Total Environ.* – 2022. – № 826. – doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.154107.
16. Conservation tillage (CT) for climate–smart sustainable intensification: Assessing the impact of CT on soil organic carbon accumulation, greenhouse gas emission and water footprint of wheat cultivation in Bangladesh / M.D. Rahman, S. Aravindakshan, M. Hoque, M.A. Rahman, M.A. Gulandaz, J. Rahman, M.T. Islam // *Environmental and Sustainability Indica-*

- tors. – 2021. – Vol. 10. – P. 100106 100106. – <https://doi.org/10.1016/j.indic.2021.100106>.
17. Corsi, S. Soil conservation and resource-saving agriculture : a training manual for agricultural extension consultants and farmers in Eastern Europe and Central Asia / S. Corsi, H. Muminjanov. – Анкара: Food&AgricultureOrg, 2019. – 160 c. – ISBN 978-92-5-409740-0.
 18. Cover crops as the main element of biologization of agriculture in the no-till system for reproduction of soil fertility / O. Tomashova, N. Osenniy, S. Abdurashytov, A. Ilyin, L. Veselova // Innovative Technologies in Science and Education (ITSE-2020). – 2020. – Vol 210. – P. 04010. – <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202021004010>.
 19. Crop Rotational Diversity Enhances Belowground Communities and Functions in an Agroecosystem / L.K. Tiemann, A.S. Grandy, E.E. Atkinson, E. Marin-Spiotta, M.D. McDaniel // Ecol. Lett. – 2015. – № 18. – P/ 761–771. – DOI: 10.1111/ele.12453.
 20. Crops for Increasing Soil Organic Carbon Stocks—A Global MetaAnalysis / I. Mathew, H. Shimelis, M. Mutema, B. Minasny, V. Chaplot // Geoderma. – 2020. – № 367. – P. 114230. – <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114230>.
 21. Die 4-Promille-Initiative Böden Für Ernährungssicherung Und Klima—Wissenschaftliche Bewertung Und Diskussion Möglicher Beiträge in Deutschland / A. Don, , H. Flessa, , K. Marx, C. Poeplau, B. Tiemeyer, B. Osterburg. – Braunschweig : Johann Heinrich von Thünen-Institut, 2018. – 42 p. – DOI:10.3220/WP1543840339000.
 22. Diepenbrock, W. Ackerbau, Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung / W. Diepenbrock, F. Ellmer, J. Léon. – Stuttgart : Ulmer, 2009. – 650 p. – DOI:10.36198/9783838558554.
 23. Dwayne L. Beck, Ph.D. Managing Agricultural Ecosystems. – 2014 – <http://www.dakotalakes.com/media/dlakes360webcmscom/documents/Library-%20General%20Practice%20Guides/2014%20Dwayne%20Beck%20Managing%20Agriculture%20Ecosystems.pdf>.
 24. Effectiveness of Cover Crops to Reduce Loss of Soil Organic Matter in a Rainfed Vineyard / M. López-Vicente, E. Calvo-

- Seas, S. Álvarez, A. Cerdà // *Land*. – 2020. – № 9(7). – P. 230. – <https://doi.org/10.3390/land9070230>.
25. Efficiency of cultivation of intermediate cover crops as a biological element of the fertilizer system at no-till in the Crimea / O. Tomashova, N. Osenniy, A. Ilyin, L. Veselova // XIII International Scientific and Practical Conference “State and Prospects for the Development of Agribusiness – INTERAGROMASH 2020”. – Rostovon–Don, 2020. – P. 26–28. – DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202017509001>.
 26. Efficiency of Various Methods of Primary Tillage and Direct Sowing During the Cultivation of Winter Wheat on Chernozem Soils / D.V. Dubovik, V.I. Lazarev, A. Ya. Aidiev, B. Ilin // *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*. – 2019. – № 12. – P. 26–29.
 27. Enhancing soil carbon storage for carbon remediation: potential contributions and constraints by microbes // *Trends in Microbiology*. – 2011. – Vol. 19, № 2. – P. 75–84. – doi:10.1016/j.tim.2010.11.006.
 28. Evaluating the environmental profiles of winter wheat rotation systems under different management strategies / S. Gonzalez–Garcia, F. Almeida, M.T. Moreira, M. Brandao // *Sci. Total Environ.* – 2021. – vol. 770. – A. 145270. – <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145270>.
 29. Finney, D. Functional Diversity in Cover Crop Polycultures Increases Multifunctionality of an Agricultural System / D.M. Finney, J.P. Kaye // *Journal of Applied Ecology*. – № 54. – P. 509–517 – DOI:10.1111/1365–2664.12765.
 30. Flaig, W. Organic compounds in soil / W. Flaig, // *Soil Sci.* – 1971. – V.111, №1. – P. 19–33. – DOI:10.1097/00010694–197101000–00003.
 31. Gheorghe, J. Biologization of agricultural systems – premises and opportunities. / J. Gheorghe, M. Motelica, E. Tofan // *Scientific Papers. Series A. 142 Agronomy 2013*. – Vol. LVI. – ISSN 2285–5785.
 32. Glomalin in Ecosystems // *Soil Science Society of America Journal*. – 2007. – Vol. 71, № 4. – P.1257–1266. – doi:10.2136/sssaj2006.0377.

33. Glomalin: Hiding Place for a Third of the World's Stored Soil Carbon // *Agricultural Research*. – 2002. –P. 4–7. – <https://agresearchmag.ars.usda.gov/2002/sep/soil>.
34. Glomalin-related soil protein contains non-mycorrhizal-related heat-stable proteins, lipids and humic materials // *Soil Biology and Biochemistry*. – 2011. – Vol. 43, № 4. – P. 766–777. – doi 10.1016/j.soilbio.2010.12.010.
35. Hasanova, A.O. Composition and amount of nutrients entering the soil with cotton biomass and green manure / A.O. Hasanova, N.V. Huseynov, R.F. Gahramanova, R.N. Orujova, A.M. Huseynova // *Turkish Journal of Computer and Mathematics Education*. – 2021. – Vol.12, No.2. – P. 3127–3129. – <https://9lib.net/document/7qvnmlz-view-composition-nutrients-entering-cotton-biomass-green-manure.html>.
36. Heinemeyer, A. Comparing the closed static versus the closed dynamic chamber flux methodology: implications for soil respiration studies / A. Heinemeyer, N.P. McNamara // *Plant Soil*. – 2011. – № 346. – P. 145–151 – <https://doi.org/10.1007/s11104-011-0804-0>.
37. Hu, T. Soil Carbon Varies between Different Organic and Conventional Management Schemes in Arable Agriculture / T. Hu, P. Sørensen, J.E.Olesen // *European Journal of Agronomy*. – 2018. – Vol. 94. – P. 79–88. – <https://doi.org/10.1016/j.eja.2018.01.010>.
38. Improving farming practices reduces the carbon footprint of spring wheat production / Y.T. Gan, C. Liang, Q. Chai, R.L. Lemke, C.A. Campbell, R.P. Zentner // *Nature Communications*. – 2014. – № 5:5012. – 13 p. – <https://doi.org/10.1038/ncomms6012>.
39. Influence of soil tillage, fertilizers and biostimulants on the yield of spring wheat in the forest-steppe of the Middle Volga / V.G. Vasin, A.V. Vasin, A.N. Burunov, V.N. Vasin // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. – 2019. – Vol. 422, Issue 1. – P. 012017. – DOI:10.1088/1755-1315/422/1/012017.
40. ISO 14040: environmental management–life cycle assessment–principles and framework. – 2006. – 28 p. – <https://www.iso.org/standard/37456.html>.

41. Kuzyakov, Y. Photosynthesis controls of rhizosphere respiration and organic matter decomposition / Y. Kuzyakov, W. Cheng // *Soil Biology & Biochemistry*. – 2001. – № 33. – P. 1915–1925. – DOI:10.1016/S0038–0717(01)00117.
42. Kuzyakov, Y.V. Review: factors affecting rhizosphere priming effects. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* / Y.V. Kuzyakov // *Nutrition and Soil Science*. – 2002. – № 165 (4). – P. 382–396. – DOI:10.1002/1522–2624(200208)165:4<382::AID–JPLN382>3.0.CO;2–#.
43. Lehoczky, E. Effects of Nutrient Supply and Soil Tillage on the Weeds in Maize / E. Lehoczky, A. Kismanyoky, T. Nemeth // *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. – 2013. – № 44. – P. 546–550. – DOI:10.1080/00103624.2013.745212.
44. Li, G. Does environmental diplomacy reduce CO₂ emissions? A panel group means analysis / G. Li, A. Zakari, V. Tawiah // *Science of the Total Environment*. – 2020. – № 722. – P. 137790. – DOI:10.1016/j.scitotenv.2020.137790.
45. Li, X. Environmental and socio-economic performance of intensive farming systems with varying agricultural resource for maize production / L. Xiong F. Shah, W. Wu. // *Science of The Total Environment*. – 2022. – Vol. 850. – P. 158030. – <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.158030>.
46. Minikajev, R. Optimization of the main tillage in the grey forest rotation of the Predkamye region of the Republic of Tatarstan / R. Minikajev, G. Saifiyeva, I. Manukova // *BIO Web of Conferences : International Scientific–Practical Conference “Agriculture and Food Security: Technology, Innovation, Markets, Human Resources” (FIES 2019), Kazan, 13–14 ноября 2019 года*. – Kazan: EDP Sciences, 2020. – P. 00066. – <https://doi.org/10.1051/bioconf/20201700066>.
47. Modeling incorporation of corn (*Zea mays* L.) carbon from roots and rhizodeposition into soil organic matter / J.A.E. Molina, C.E. Clapp, D.R. Linden, R.R. Allmaras, M.F. Layese, R.H. Dowdy, and H.H. Cheng // *Soil Biology and Biochemistry*. – 2001. – Vol. 33, Issue 1. – P. 83–92. – [https://doi.org/10.1016/S0038–0717\(00\)00117–6](https://doi.org/10.1016/S0038–0717(00)00117–6).
48. Modelling the Impacts of Different Carbon Sources on the Soil Organic Carbon Stock and CO₂ Emissions in the Fog-

- gia Province (Southern Italy) / M. Bleuler, R. Farina, R. Francaviglia, C. di Bene, R. Napoli, A. Marchetti // *Agricultural Systems*. – 2017. – Vol 157. – P. 258–268. – DOI:10.1016/j.agsy.2017.07.017.
49. NO–TILL – Шаг к идеальному земледелию. – Киев: Видавництво «Зерно», ЗАТ «Гроші тасвіт», 2007. – 128 с. – ISBN: 966–95638–2–8.
50. N–related greenhouse gases in North America: innovations for a sustainable future / E.A. Davidson, J.N. Galloway, N. Millar, A.M. Leach // *Current Opinion in Environmental Sustainability*. – 2014. – Vol 9–10. – P 1–8. – <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2014.07.003>.
51. Poeplau, C. Carbon Sequestration in Agricultural Soils via Cultivation of Cover Crops–A Meta–Analysis / C. Poeplau, A. Don // *Agricultural and Food Sciences, Environmental Science*. – 2015. – № 200. – P. 33–41. – DOI:10.1016/J.AGEE.2014.10.024.
52. Ranaivoson, L. Agro–ecological functions of crop residues under conservation agriculture / L. Ranaivoson, K. Naudin, F. Affholder // *Agronomy for sustainable development*. – 2017. – Vol. 37, Iss. 4. – P. 26–30. – DOI:10.1007/s13593–017–0432–z.
53. Roesch–McNally G.E. Barriers to implementing climate resilient agricultural strategies: the case of crop diversification in the U.S / G.E. Roesch–McNally, J.G. Arbuckle, J.C. Tyndall // *Global Environmental Change*. – 2018. – Vol. 48. – P. 206–215. – <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2017.12.002>.
54. Sonia, P. The arbuscular mycorrhizal fungal protein glomalin: Limitations, progress, and a new hypothesis for its function / P. Sonia, C.R. Matthias // *Pedobiologia*. – 2007. – Vol. 51, Issue 2. – P. 123–130. – <https://doi.org/10.1016/j.pedobi.2007.03.002>.
55. Weed Seed Decay in No–Till Field and Planted Riparian Buffer Zone / N. Nikolić, A. Squartini, G. Concheri, P. Stevanato, G. Zanin, R. Masin // *Plants*. – 2020. – № 9(3). – P. 293. – DOI:10.3390/plants9030293.
56. When does no–till yield more? A global meta–analysis / C.M. Pittelkova, B.A. Linquist, M.E. Lundy, X. Liang, K.J. Van

- Groenigen, J. Lee, N. Van Gestel, J. Six, T. Rodney Venterea, C. Van Kessel // *Field crops research*. – 2015. – Vol.183. – P. 156–168. – DOI: 10.1016/j.fcr.2015.07.020.
57. Why do we need to standardize no-tillage research? / R. Derpsch, A.J. Franzluebbers, S.W. Duiker, D.C. Reicosky, K. Koeller, T. Friedrich, W.G. Sturny, J.C.M. Sa, K. Weiss // *Soil & Tillage Research*. – 2014. – Vol 137. – P.16–22. – <http://dx.doi.org/10.1016/j.still.2013.10.002>.
58. Winter Cover Crops Increase Readily Decomposable Soil Carbon, but Compost Drives Total Soil Carbon during Eight Years of Intensive, Organic Vegetable Production in California / K.E. White, E.B. Brennan, M.A. Cavigelli, R.F. Smith // *PLoS ONE*. – 2020. – № 15. – P. e0228677. – <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0228677>.
59. Абашев, В.Д. Сидераты в адаптивном земледелии / В.Д. Абашев, Л.М. Козлова. – Текст : непосредственный // *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. – 2005. – № 6. – С. 169–178.
60. Агроэкологическая оценка земель, проектирование адаптивно-ландшафтных систем земледелия и агротехнологий. Методическое руководство : под ред. В.И. Кирюшина и А.Л. Иванова. – Москва: ФГНУ «Росинформагротех», 2005. – 794 с. – ISBN 5–7367–0525–7. – Текст : непосредственный.
61. Адаптивно-интегрированная защита растений: монография / Ю.Я. Спиридонов, М.С., Соколов, А.П., Глинушкин и др. – Москва: Печатный город, 2019. – 628 с. – ISBN 978–5–98467–014–2. – Текст: непосредственный.
62. Адаптивно-ландшафтная система земледелия Ульяновской области / А.В. Дозоров, В.А. Исайчев, С.Н. Никитин и др. – изд. 2–е, доп. и перераб. – Ульяновск : Ульяновский НИИСХ, 2017. – 448 с. – ISBN 978–5–9909323–9–5. – Текст: непосредственный
63. Азот в черноземах при традиционной технологии обработки и прямом посеве (обзор) / А.А. Завалин, В.К. Дридигер, В.П. Белобров, С.А. Юдин. – Текст : непосредственный // *Почвоведение*. – 2018. – № 12. – С. 1506–1516.

64. Акименко, А.С. Основа эффективного использования природных ресурсов в севооборотах / А.С. Акименко. – Текст: непосредственный // Земледелие. – 2015. – № 1. – С. 21–22.
65. Александрова, Л.Н. Органическое вещество почвы и процессы и его трансформации / Л.Н. Александрова. – Ленинград: Наука, 1980. – 286 с. – Текст: непосредственный.
66. Антонова, Ж.А. Почвенно–экологическое районирование Ульяновской области : специальность 03.02.08 Экология (по отраслям), 03.02.13 Почвоведение : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата биологических наук / Антонова Жанна Анатольевна ; Ульян. гос. ун–т. – Ульяновск, 2011. – 20 с.
67. Антонова, Ж.А. Почвы Поволжья: учебно–методическое пособие / Ж.А. Антонова, Е.Г. Климентова, Е.В. Рассадина. – Ульяновск: УлГУ, 2016. – 272 с. – Текст: непосредственный.
68. Арнт В.А. Засоренность посевов и почвы под влиянием основной ее обработки / В.А. Арнт, А.А. Арнт. – Текст: непосредственный // Материалы XX научно–практической конференции Ижевской ГСХА. – Ижевск : Ижевская ГСХА, 2000. – С. 9.
69. Артохин, К.С. Сорные растения / К.С. Артохин. – изд. 3–е, перераб. и доп. – Москва : Печатный двор, 2010. – 263 с. – ISBN 978–5–98467–006–7 – Текст: непосредственный.
70. Вадюнина, А.Ф. Методы исследования физических свойств почв : учебное пособие по специальности «Агрохимия и почвоведение» / А.Ф. Вадюнина, З.А. Корчагина. – 3–е изд., перераб. и доп. – Москва : Агропромиздат, 1986. – 415 с. – (Учеб. и учеб. пособия для вузов) – Текст: непосредственный.
71. Ваксман, С.А. Гумус: Происхождение, химический состав и значение его в природе / С.А. Ваксман. – Москва : Сельхозгиз, 1937. – 470 с. – Текст: непосредственный.
72. Вернадский, В.И. Живое вещество / В.И. Вернадский. – Москва : Наука, 1978. – 358 с. – Текст: непосредственный.
73. Взаимодействие культурных растений и вредных объек-

- тов в агро–фитоценозах / Ю.Я. Спиридонов, Н.И. Будынов, И.В. Дудкин, Н.И. и др. – Текст: непосредственный // Аграрный научный журнал. – 2018. – № 7. – С. 26–30.
74. Вильямс, В.Р. Земледелие с основами почвоведения / В.Р. Вильямс. – Москва : Сельхозгиз, 1939. – 448 с. – Текст: непосредственный.
75. Вильямс, В.Р. Значение органических веществ почвы / В.Р. Вильямс. – Текст: непосредственный // Избранные сочинения. – Москва : Сельхозгиз, 1949. – С. 26–36.
76. Включение сои в севооборот сельскохозяйственных культур, как один из приемов рационального использования мелиоративных земель сухостепной зоны Поволжского региона / В.А. Шадских, В.О. Пешкова, В.Е. Кижаева, Н.А. Тимофеева, А.Г. Лапшова. – Текст : непосредственный // Технология возделывания сои в сухостепной зоне Поволжья на орошении : сборник научных трудов. – Энгельс. – 2017. – С. 24–29.
77. Власенко, А.Н. Эффективность No–till технологии на черноземных почвах Северной Лесостепи Западной Сибири / А.Н. Власенко, Н.Г. Власенко, П.И. Кудашкин. – Текст: непосредственный // Сельскохозяйственный журнал. – 2021. – № 5S (14). – С. 4–13.
78. Влияние возделывания почвопокровных культур на урожайность кукурузы в условиях предгорно–степной зоны Крыма / О.Л. Томашова, А.В. Ильин, П.С. Захарчук, К.Р. Сильченко. – Текст : непосредственный // Известия сельскохозяйственной науки Тавриды. – 2021. – № 27 (190). – С. 46–58.
79. Влияние длительного применения прямого посева на основные агрофизические факторы плодородия почвы и урожайность озимой пшеницы в условиях засушливой зоны / Г.Р. Дорожко, О.И. Власова, О.Г. Шабалдас, Т.Г. Зеленская. – Текст: непосредственный // Земледелие. – 2017. – № 7. – С. 7–10
80. Влияние технологии No–till на содержание питательных элементов в черноземе обыкновенном центрального Предкавказья / В.К. Дридигер, Е.И. Годунова, Р.Г. Гаджи-

- умаров, Н.А. Перегудова. – Текст: непосредственный // Земледелие. – 2023. – № 6. – С. 6–9.
81. Влияние технологии возделывания на урожайность и экономическую эффективность возделывания гороха в зоне неустойчивого увлажнения Ставропольского края / А.Н. Джандаров, Р.Г. Гаджимаров, Н.А. Горшкова, В.К. Дридигер. – Текст: непосредственный // Известия Горского государственного аграрного университета. – 2022. – Т. 59–1. – С. 20–26.
 82. Володин, В.М. Оценка эффективности растениеводства на биоэнергетической основе / В.М. Володин, Р.Ф. Еремина. – Текст: непосредственный // Земледелие. – 1991. – № 9. – С.50–52.
 83. Воробьев, С.А. Севообороты интенсивного земледелия / С.А. Воробьев. – Москва : Колос, 1979. – 368 с. – Текст: непосредственный.
 84. Восстановление свойств почв в технологии прямого посева / В.К. Дридигер, А.Л. Иванов, В.П. Белобров, О.В. Кутювая. – Текст: непосредственный // Почвоведение. – 2020. – № 9. – С. 1111–1120.
 85. Ганжара, Н.Ф. Процессы трансформации органического вещества в почвах и его качественный состав / Н. Ф. Ганжара, Д. С. Орлов. – Текст: непосредственный // Концепция оптимизации режима органического вещества почв в агроландшафтах. – Москва, 1993. – С. 18–26.
 86. Голубев, А.В. Экономико-экологические основы сельскохозяйственного производства : монография / А.В. Голубев. – Москва : Колос, 2008. – 296 с. – ISBN 978–5–10–004022–4. – Текст: непосредственный.
 87. Горянин, О.И. Водный режим чернозема обыкновенного при возделывании подсолнечника в Поволжье / О.И. Горянин, Б.Ж. Джангабаев. – Текст : непосредственный // Аграрный научный журнал. – 2021. – № 11. – С. 22–25.
 88. ГОСТ 16265–89 Земледелие. Термины и определения : издание официальное : утвержден и введен в действие Постановлением Государственного комитета СССР по управлению качеством продукции и стандартам от

- 25.12.89 N 4093 : дата введения 1991–01–01 / разработан Всесоюзной академией сельскохозяйственных наук им. В.И. Ленина – Москва : Издательство стандартов, 1990. – 23 с. – Текст : непосредственный.
89. Государственный (национальный) доклад о состоянии и использовании земель Российской Федерации / Федер. служба зем. кадастра России. – Москва, 2002. – 29 см. – Текст : непосредственный.
90. Деградация земель и опустынивание в России: Новейшие подходы к анализу проблемы и поиску путей решения. – Москва: Издательство «Перо», 2019. – 235 с. – Текст : непосредственный.
91. Деградация земель и проблемы устойчивого развития / А.С. Яковлев, О.А. Макаров, М.В. Евдокимова, С.С. Огородников. – Текст: непосредственный // Почвоведение. – 2018. – № 9. – С. 1167–1174.
92. Динамика изменения агрофизических свойств почвы при возделывании полевых культур по технологии No-till / В.К. Дридигер, В.В. Кулинцев, Р.С. Стукалов, Р.Г. Гаджиумаров. – Текст : непосредственный // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2018. – № 5 (73). – С. 35–38.
93. Добровольский, Г.В. Деградация почв – угроза глобального экологического кризиса / Г.В. Добровольский. – Текст : непосредственный // Век глобализации. – 2008. – № 2. – С. 54–65.
94. Добровольский, Г.В. Деградация почв – угроза экологического кризиса / Г.В. Добровольский. – Текст : непосредственный // Куда движется век глобализации?. – Волгоград, 2014. – С. 192–203.
95. Добровольский, Г.В. К истории эталона русского чернозема на всемирной выставке 1900 года / Г.В. Добровольский. – Текст: непосредственный // Почвоведение. – № 9. – 2010. – С.1135–1136.
96. Добровольский, Г.В. Полузабытая, но очень важная для почвоведения и учения о биосфере работа В. И. Вернадского / Добровольский Г.В. – Текст : непосредственный // Живые и биокосные системы. – 2013. – № 2. – С. 2.

97. Довбан, К.И. Зеленое удобрение в современном земледелии. Вопросы теории и практики / К.И. Довбан. – Минск: Белорусская наука, 2009. – 404 с. – ISBN 978–985–08–1019–9. – Текст : непосредственный.
98. Доклад конференции Организации Объединенных Наций по окружающей среде и развитию. Рио–де–Жанейро, 3–14 июня 1992 г. – Нью–Йорк : ООН, 1993. – Текст : непосредственный.
99. Долгов, С.И. Агрофизические методы исследования почв / С.И. Долгов, П.У. Бахтин. – Москва : Колос, 1966. – 156 с. – Текст : непосредственный.
100. Дридигер, В.К. Агрофизические свойства почвы и урожайность гороха в зависимости от технологии возделывания в зоне неустойчивого увлажнения Ставропольского края / В.К. Дридигер, А.Н. Джандаров. – Текст : непосредственный // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2021. – № 6 (92). – С. 76–80.
101. Дридигер, В.К. Возделывание озимой пшеницы в системе прямого посева в Ставропольском крае : монография / В.К. Дридигер. – Ставрополь : АГРУС, 2021. – 190 с. – ISBN 978–5–9596–1753–0. – Текст : непосредственный.
102. Дридигер, В.К. О методике исследований технологии No–till / В.К. Дридигер. – Текст: непосредственный // Достижения науки и техники АПК. – 2016. – № 4. – С. 30–32.
103. Дридигер, В.К. Продуктивность сои в зависимости от технологии возделывания на черноземе обыкновенном в зоне центрального Предкавказья / В.К. Дридигер, Р.Г. Гаджиумаров. – Текст : непосредственный // Кормление сельскохозяйственных животных и кормопроизводство. – 2021. – № 1 (186). – С. 60–73.
104. Дюшофур, Ф. Основы почвоведения. Эволюция почв / Ф. Дюшофур. – Москва : Прогресс, 1970. – 591 с. – Текст : непосредственный.
105. Жученко, А.А. Адаптивное растениеводство = Adaptive Plant Production : (эколого–генетические основы) : теория и практика : [в 3 т.]. Том III. Особенности реализации страте-

- гии адаптивной интенсификации растениеводства в условиях России / А.А. Жученко. – Москва : Агрорус, 2009. – 958 с. ISBN 978–5–903413–11–9. – Текст : непосредственный.
106. Захаренко, В.А. Сорный компонент агроценозов / В.А. Захаренко, А.В. Захаренко. – Текст : непосредственный // Защита и карантин растений. – 2007. – № 2. – С. 81–84.
107. Захаренко, В.А. Экономическая целесообразность системы защиты зерновых культур в России / В.А. Захаренко. – Текст : непосредственный // Достижения науки и техники АПК. – 2018. – № 32 (7). – С. 5–8.
108. Земледелие : практикум : учебное пособие : соответствует Федеральному государственному образовательному стандарту 3–го поколения / И. П. Васильев и др. – Москва : ИНФРА–М, 2013. – 422 с. – ISBN 978–5–16–006299–0. – Текст : непосредственный.
109. Земледелие: учебник / Г.И. Баздырев, А.В. Захаренко, В.Г. Лошаков, А.Я. Рассадин, А.Ф. Сафонов и др. – Москва: ИНФРА–М, 2015. – 608 с. – ISBN 978–5–16–006296–9. – Текст : непосредственный.
110. Значение предшественника для повышения эффективности удобрений в исследованиях географической сети опытов / В.Г. Сычев, В.Г. Лошаков, В.А. Романенков, О.В. Рухович, М.В. Беличенко. – Текст : непосредственный // Проблемы агрохимии и экологии. – 2016. – № 3. – С. 3–8.
111. Зойдзе, Е.К. Сравнительная оценка сельскохозяйственного потенциала климата территории РФ и степени использования ее агроклиматических ресурсов сельскохозяйственными культурами : монография / Е.К. Зойдзе, Л.И. Овчаренко. – Санкт–Петербург: Гидрометеиздат, 2000. – 75 с. – Текст : непосредственный.
112. Зотиков, В.И. Повышение продуктивности и устойчивости агроэкосистем / В.И. Зотиков, А.Д. Задорин. – Орел: Картуш, 2007. – 197 с. – ISBN 978–5–9708–0100–0. – Текст : непосредственный.
113. Зубков, А.Ф. Модернизация защиты растений. Агроэкологическое направление защиты полевых культур / А.Ф.

- Зубков. – Текст : непосредственный // Вестник защиты растений. – 2011. – № 3. – С.13–37.
- 114.Иванов, А.И. Эффективность нового органо–минерального удобрения в полевом севообороте / А.И. Иванов, Ж.А. Иванова. – Текст : непосредственный // Вестник российской сельскохозяйственной науки. – 2019. – № 4. – С. 41–46.
- 115.Иванов, А.Л. Инициатива “4 промилле” – новый глобальный вызов для почв России / А.Л. Иванов, В.С. Столбовой. – Текст: электронный // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. – 2019. – № 98. – С. 185–202. – <https://doi.org/10.19047/0136-1694-2019-98-185-202>.
- 116.Иванов, А.Л. Инновационные приоритеты в развитии земледелия в России / А.Л. Иванов. – Текст: непосредственный // Плодородие. – 2011. – №1 (61). – С. 2–6.
- 117.Ивенин, В.В. Агротехнические особенности выращивания картофеля : учебное пособие для студентов высших аграрных учебных заведений, обучающихся по агрономическим специальностям / В.В. Ивенин, А.В. Ивенин ; под науч. ред. В. В. Ивенина. – 2-е изд., перераб. – Санкт-Петербург : Лань, 2015. – 333 с. – ISBN 978-5-811419074. – Текст: непосредственный.
- 118.Измаильский, А. А. Влажность почвы и грунтовая вода в связи с рельефом местности и культурным состоянием поверхности почвы / А.А. Измаильский. – Текст : непосредственный // Избранные сочинения. – Москва : Гос. изд. с.-х. лит, 1949. – С. 83–323.
- 119.Изменение климата и земля. Специальный доклад МГЭИК об изменении климата, опустынивании, деградации земель, устойчивом управлении земельными ресурсами, продовольственной безопасности и потоках парниковых газов в наземных экосистемах. Резюме для политиков. – 2020. – 36 с. – ISBN 978-92-9169-454-9. – Текст: непосредственный.
- 120.Ильина, Л.В. Биологизация земледелия – фактор ресурсосбережения и сохранения плодородия почвы / Л.В. Ильина, К.Н. Дрожжин, Р.Н. Ушаков. – Текст : непо-

- средственный // Севооборот в современной земледелии : сборник докладов международной научной конференции. – Москва: Изд-во МСХА, 2004. – С. 166–169.
121. Использование, сохранение земель и плодородия почв – дело государственное (к 75-летию государственного плана преобразования природы) / И.А. Трофимов, Л.С. Трофимова, Е.П. Яковлева, Н.Г. Рыбальский, Е.В. Муравьёва, В.В. Снакин, А.В. Емельянов, Е.В. Скрипникова. – Текст : непосредственный // Жизнь Земли. – № 3. – 2023. – С.379–388.
122. Казаков, Г.И. Обработка почвы в Среднем Поволжье : монография / Г.И. Казаков. – Самара : Самарская ГСХА, 2008. – 250 с. – ISBN 978–5–88575–200–8. – Текст : непосредственный.
123. Калегари, А. Севооборот и покровные культуры в системе No-till / А. Калегари. – Текст : непосредственный // Зерно. – 2008. – № 9. – С. 69.
124. Каштанов, А.Н. Развитие и совершенствование адаптивно-ландшафтных систем земледелия / А.Н. Каштанов. – Текст: непосредственный // Освоение адаптивно-ландшафтных систем земледелия и агротехнологий : материалы Всероссийской научно-практической конференции к 100-летию Ульяновского НИИСХ. – Ульяновск: Издательство «Корпорация технологий продвижения», 2010. – С. 14–21.
125. Кирюшин, В.И. Актуальные проблемы и противоречия развития земледелия / В.И. Кирюшин. – Текст: непосредственный // Земледелие. – 2019. – № 3. – С. 3–7.
126. Кирюшин, В.И. Концепция адаптивно-ландшафтного земледелия / В.И. Кирюшин. – Пушкино, 1993. – 64 с. – Текст: непосредственный.
127. Кирюшин, В.И. Теория адаптивно-ландшафтного земледелия и проектирование агроландшафтов / В. И. Кирюшин. – Москва : КолосС, 2011. – 442 с. – ISBN 978–5–9532–0779–9. – Текст: непосредственный.
128. Кирюшин, В.И. Экологизация земледелия и технологическая политика / В.И. Кирюшин. – Москва: Изд-во МСХА,

2000. – 367 с. – ISBN 5–7230–0521–9. – Текст: непосредственный.
129. Кирюшин, В.И. Экологические основы земледелия / В. И. Кирюшин. – Москва : Колос, 1996. – 365 с. – ISBN 5–10–003342–8. – Текст: непосредственный.
130. Колобов, Н.В. Климат Среднего Поволжья / Н.В. Колобов. – Казань: Издательство Казанского университета, 1968. – 252 с. – Текст : непосредственный.
131. Кононова, М.М. Органическое вещество почвы: его природа, свойства и методы изучения / М.М. Кононова. – Москва : Изд-во Акад. наук СССР, 1963. – 314 с. – Текст : непосредственный.
132. Концепция сохранения и повышения плодородия почвы на основе биологизации полевого кормопроизводства по природно-экономическим районам России / М-во сел. хоз-ва и продовольствия РФ; Б.П. Михайличенко и др. – Москва : Информагротех, 1999. – 107 с. – ISBN 5–7367–0157–Х. – Текст : непосредственный.
133. Копосов, И.П. Агропочвенные районы Ульяновской области / И.П. Копосов. – Ульяновск: Ульяновская правда, 1948. – 203 с. – Текст : непосредственный.
134. Коржов, С.И. Сидераты и их роль в воспроизводстве плодородия черноземов : монография / С. И. Коржов, В. В. Верзилин, Н. Н. Королев. – Воронеж : ФГОУ ВПО Воронежский ГАУ, 2011. – 98 с. – ISBN 978–5–7267–0552–1. – Текст : непосредственный.
135. Коржов, С.И. Устойчивость продуктивности сельскохозяйственных культур при различных технологиях возделывания / С.И. Коржов, Т.А. Трофимова. – Текст: непосредственный // Биологизация земледелия: перспективы и реальные возможности : материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 105-летию со дня рождения доктора сельскохозяйственных наук, профессора, члена-корреспондента ВАСХНИЛ М.И. Сидорова и 70-летию со дня рождения доктора сельскохозяйственных наук, профессора Н.И. Зезюкова. – Воронеж, 2019. – С. 56–60.

136. Костычев, П.А. Образование и свойства перегноя: Избранные труды / П.А. Костычев. – Москва, 1951. – 668 с. – Текст : непосредственный.
137. Костычев, П.А. Почвоведение / П.А. Костычев. – Москва: Сельхозгиз, 1940. – 224 с. – Текст : непосредственный.
138. Кравков, С.П. Биохимия и агрохимия почвенных процессов / С.П. Кравков. – Ленинград: Наука, 1978. – 205 с. – Текст : непосредственный.
139. Кравченко, Ю.С. Российские чернозем: генезис, распределение и управления / Ю.С. Кравченко. – Текст: непосредственный // Научные труды SWorld. – 2015. – № 23 (1). – С. 23–26.
140. Кроветто, К. Прямой посев (No-till). Взаимосвязь между no-till, растительными остатками, растениями и насыщением почвы питательными веществами / К. Кроветто. – Самара: Издательство «Элайт», 2010. – 206 с. – Текст : непосредственный.
141. Кузин, А.С. Экономическая эффективность возделывания ярового рапса по технологии прямого посева в условиях Среднего Поволжья / А.С. Кузин, А.Л. Тойгильдин. – Текст: непосредственный // Современные тенденции сельскохозяйственного производства в мировой экономике. Материалы XXI Международной научно-практической конференции. – Кемерово, 2022. – С. 721–726.
142. Кулаковская, Т.Н. Оптимизационная модель плодородия почв / Т.Н. Кулаковская. – Текст: непосредственный // Оптимальные параметры плодородия почв. – Москва: Колос, 1984. – С. 246–259.
143. Куликова, А.Х. Эффективность основной обработки почвы в регулировании азотфиксирующей активности и продуктивности гороха в лесостепи Поволжья / А.Х. Куликова, И.В. Антонов. – Текст: непосредственный // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2007. – №2 (5). – С. 3–12.
144. Либманн, М. Растительные остатки и сорняки / М. Либманн, Ч.Л. Молер, Ч.П. Стейвер. – Текст : непосредственный // Зерно. – 2012. – № 1. – С.105.

145. Лошаков, В.Г. Зеленое удобрение в земледелии России (150-летию со дня рождения Д. Н. Прянишникова) / В.Г. Лошаков. – Москва : ВНИИ агрохимии им. Д. Н. Прянишникова, 2015. – 299 с. – ISBN 978-5-9238-0204-7. – Текст : непосредственный.
146. Лошаков, В.Г. Промежуточные культуры как фактор интенсификации земледелия и окультуривания дерново-подзолистых почв / В.Г. Лошаков – Текст : непосредственный // Земледелие и растениеводство. – 1982. – № 3. – С. 32.
147. Лошаков, В.Г. Севооборот и плодородие почвы / В. Г. Лошаков ; под ред. В.Г. Сычева. – Москва : ВНИИА, 2012. – 512 с. – ISBN 978-5-9238-0134-7. – Текст : непосредственный.
148. Лошаков, В.Г. Фитосанитарная роль севооборота в адаптивном земледелии/ В.Г. Лошаков. – Текст : непосредственный // Фундаментальные и прикладные исследования в биоорганическом сельском хозяйстве России, СНГ и ЕС: сборник трудов. – Б. Вяземы, 2016. – Том 2. – С. 203–221.
149. Лыков, А.М. Гумус и плодородие почвы / А.М. Лыков. – Москва: Московский рабочий, 1985. – 190 с. – Текст : непосредственный.
150. Лыков, А.М. Органическое вещество пахотных почв Нечерноземья : (Актуальность и состояние проблемы, рабочие гипотезы исследования, сопряженность агрономических и экологических функций, динамика в агроценозах, принципы моделирования и технологии воспроизводства) / А.М. Лыков, А.И. Еськов, М.Н. Новиков. – Москва : ГНУ ВНИПТИОУ, 2004. – 630 с. – ISBN 5-85941-086-7. – Текст : непосредственный.
151. Максимов, В.А. Агроэкологическое обоснование роли севооборота в улучшении фитосанитарного состояния Агроциноза / В.А. Максимов, С.А. Замятин, Н.Н. Апаева. – Текст : непосредственный // Научная жизнь. – 2013. – № 3. – С. 34–41.
152. Маслов, М.Н. Углерод, азот и фосфор в тундровых экосистемах северной Фенноскандии : специальность 03.02.13 Почвоведение : диссертация на соискание ученой степе-

- ни кандидата биологических наук : / Маслов Михаил Николаевич ; Моск. гос. ун-т им. М.В. Ломоносова. – Москва, 2015. – 233 с.
153. Медведева, О.Е. Мировая климатическая повестка: экономические вызовы для России от введения Евросоюзом углеродного налога / О.Е. Медведева, С.В. Соловьева, А.В. Стеценко. – Текст: непосредственный // Имущественные отношения в Российской Федерации. – 2021. – № 2 (233). – С. 39–52. – doi:10.24411/2072–4098–2021–10202.
154. Миркин, Б.М. Современная наука о растительности : учебник для студентов вузов, обучающихся по специальностям «Биология», «Ботаника», «Экология» / Б.М. Миркин, Л.Г. Наумова, А.И. Соломещ. – Москва : Логос, 2001. – 262 с. – (Учебник для XXI века). – ISBN 5–94010–040–6 – Текст : непосредственный.
155. Мировая климатическая повестка. Почвозащитное ресурсосберегающее (углеродное) земледелие как стандарт межнациональных и национальных стратегий по сохранению почв и аграрных карбоновых рынков / В.И. Беляев, А.В. Варлагин, В.К. Дридигер, И.Н. Курганова, Л.В. Орлова и др. – Текст: непосредственный // *International agricultural journal*. – 2022. – Т. 65, № 1. – С. 421–441.
156. Моисеев, Н.Н. Взаимодействие природы и общества – глобальные проблемы / Н.Н. Моисеев. – Текст : непосредственный // *Вестник Российской академии наук*. – 1998. – Т. 68, № 2. – С. 167.
157. Морозов, В.И. Влияние севооборотов на баланс гумуса в выщелоченном черноземе лесостепи Поволжья / В.И. Морозов, М.И. Подсевалов, А.Х. Куликова – Текст : непосредственный // *Агрохимия*. – 1994. – № 10. – С. 3 – 10.
158. Морозов, В.И. Дифференциация севооборотов, плодородие чернозема и устойчивость агроэкосистем лесостепи Поволжья / В.И. Морозов, М.И. Подсевалов, Е.А. Петухов. – Текст : непосредственный // Севооборот в современном земледелии: сборник докладов Международной научной конференции. – Москва, 2004. – С. 65–69.

159. Морозов, В.И. Дифференциация систем земледелия и их практическое освоение в лесостепи Поволжья / В.И. Морозов. – Текст : непосредственный // Дифференциация систем земледелия и плодородие чернозема лесостепи Поволжья. Тематический сборник научных трудов. – Ульяновск, 1996. – С. 12–31.
160. Назаренко, В.И. Мировые экологические проблемы / В.И. Назаренко. – М.: ВНИИТЭИагропром, 1991. – 138 с. – Текст : непосредственный.
161. Научно–практическое обоснование биологизации земледелия лесостепной зоны Поволжья : монография / А.Л. Тойгильдин, В.И. Морозов, М.И. Подсевалов, Д.Э. Аюпов, И.А. Тойгильдина. – Ульяновск: УлГАУ, 2020. – 386 с. – Текст : непосредственный.
162. Национальный доклад «Глобальный климат и почвенный покров России: опустынивание и деградация земель, институциональные, инфраструктурные, технологические меры адаптации (сельское и лесное хозяйство)» / под редакцией Р.С.Х. Эдельгериева. – Том 2. – Москва: ООО «Издательство МБА», 2019. – 476 с. – ISBN 978–5–6043225–6–7. – Текст : непосредственный.
163. Некоторые закономерности строения и динамики сорного компонента агрофитоценоза озимой пшеницы в Центральном Нечерноземье / Ю.Я. Спиридонов, А.Т. Калимуллин, В.А. Абубикеров, И.Ю. Спиридонова, Г.С. Босак. – Текст : непосредственный // Агрехимия. – 2020. № 5. – С. 52–61.
164. Немцев, Н.С. Научно–практические основы систем обработки почвы в Среднем Поволжье / Н.С. Немцев. – Ульяновск: Ульяновский НИИСХ, 2000. – 149 с. – Текст : непосредственный.
165. Немцев, С.Н. Агроэкологические основы почвозащитных систем земледелия в лесостепи Среднего Поволжья : монография / С.Н. Немцев. – Ульяновск, 2005. – 240 с. – ISBN 5–7572–0142–8. – Текст : непосредственный.
166. О целесообразности освоения системы прямого посева на черноземах России / А.Л. Иванов, В.В. Кулинцев, В.К.

- Дридигер, В.П. Белобров. – Текст: непосредственный // Достижения науки и техники АПК. – 2021. – Т. 35, № 4. – С. 8–16.
167. Обработка почвы как фактор регулирования почвенного плодородия / А. Ф. Витер [и др.]. – Воронеж : Истоки, 2011. – 207 с. – ISBN 978–5–88242–845–6. – Текст : непосредственный.
168. Образцов, А.С. Системный метод: применение в земледелии / А.С. Образцов. – Москва : Агропромиздат, 1990. – 302 с. – ISBN 5–10–001121–1. – Текст : непосредственный.
169. Обущенко, С.В. Агроэкологическое обоснование систем воспроизводства почвенного плодородия в полевых севооборотах Среднего Заволжья : специальность 06.01.01 Общее земледелие, растениеводство : автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора сельскохозяйственных наук / Обущенко Сергей Владимирович ; Сам. гос. с.–х. акад. – Самара, 2014. – 40 с.
170. Орлов, Д.С. Гумусовые кислоты почвы / Д.С. Орлов. – М.: Издание МГУ, 1974. – 333 с. – Текст : непосредственный.
171. Орлов, Д.С. Органическое вещество почв Российской Федерации / Д.С. Орлов, О.Н. Бирюкова, Н.И. Суханова. – Москва: Наука, 1996. – 254 с. – ISBN 5–02–003643–9. – Текст : непосредственный.
172. Орлова, О.В. Активное органическое вещество как регулятор процессов трансформации азота и углерода в дерново–подзолистых почвах : специальность 06.01.03 Агрофизика : диссертация на соискание ученой степени доктора биологических наук / Орлова Ольга Владимировна ; Агрофизический институт Россельхозакадемии. – Санкт–Петербург, 2013. – 322 с.
173. Орлова, О.В. Повышение плодородия почв при активизации почвенной микрофлоры, регулируемой биоудобрениями / О.В. Орлова. – Текст : непосредственный // Сельскохозяйственная биология. – 2011. – № 3. – С. 94–97.
174. Остин, В.Н. Приемы возделывания озимой пшеницы в звеньях севооборотов лесостепной зоны Среднего По-

- волжья специальность 06.01.01 Общее земледелие, растениеводство : диссертация на соискание ученой степени кандидата сельскохозяйственных наук / Остин Владимир Николаевич ; Самарский государственный аграрный университет. – Самара. – 2022. – 192 с.
175. Оценка влияния покровных культур на биологическую активность черноземов при использовании технологии прямого посева / А.Н. Федоренко, Г.В. Мокриков, К.Ш. Казеев, А.А. Гобарова, Ю.С. Козунь, С. И. Колесников. – Текст: непосредственный // Земледелие. – 2023. – №1. – С. 23–26.
176. Патент № 2634353С1 Российская Федерация, МПК А01G 1/00(2006.01), А01С /00(2006.01) Способ возделывания гороха на зерно : № 2016148349 : заявл. :2016.12.08 : опубл. 2017.10.26 / Тойгильдин А.Л., Подсевалов М.И., Аюпов Д.Э. – 4 с. – Текст : непосредственный.
177. Плодородие почвы и продуктивность агробиоценозов в полевых севооборотах лесостепи Поволжья: монография / Р.С. Голомолзин, В.И. Морозов, М.И. Подсевалов, С.В. Шайкин, А.В. Карпов и др. – Москва: Изд. центр МГАУ, 2012. – 98 с. – ISBN 978–5–86785–288–7. – Текст: непосредственный.
178. Повторные посевы гибридов кукурузы на юге России / В.С. Сотченко, А.Г. Горбачева, И.А. Ветошкина, Е.А. Конарева – Текст : непосредственный // Кукуруза и сорго. – 2020. – № 4. – С. 21–24.
179. Подсевалов, М.И. Режим влажности почвы и формирование урожайности озимой пшеницы в севооборотах лесостепи Заволжья / М.И. Подсевалов, АЛ. Тойгильдин, Д.Э. Аюпов. – Текст : непосредственный // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии.– 2016. – № 4 (36). – С. 48–54.
180. Почвозащитная роль прямого посева в земледелии / В.П. Белобров, Д.А. Шаповалов, В.К. Дридригер, С.А. Юдин, Н.Р. Ермолаев. – Текст : непосредственный // Международный сельскохозяйственный журнал. – 2023. – № 3 (393). – С. 255–260.

181. Пошон, Ж. Почвенная микробиология / Ж. Пошон, Г. де Баржак ; пер. с фр. проф. В.А. Шорина. – Москва : Изд-во иностранной литературы, 1960. – 560 с. – Текст : непосредственный.
182. Программа действий: повестка дня на XXI век и другие документы конференции в Рио-де-Жанейро. – Женева, 1992. – 218 с. – Текст : непосредственный.
183. Продуктивность звеньев севооборотов с озимой пшеницей и приемы совершенствования агротехнологий в условиях лесостепи Поволжья / А.Л. Тойгильдин, М.И. Подсевалов, И.А. Тойгильдина, Д.Э. Аюпов, В.Н. Остин. – Текст : непосредственный // Нива Поволжья. – 2021. – № 1 (58). – С. 42–51.
184. Продуктивность озимой пшеницы в зависимости от сочетании почвопокровных культур в полевом севообороте и по-till в предгорно-степном Крыму / О.Л. Томашова, А.В. Ильин, П.С. Захарчук, К.Р. Сильченко, А.С. Томашова. – Текст : непосредственный // Известия сельскохозяйственной науки Тавриды. – 2021. – № 28 (191). – С. 32–41.
185. Продуктивность озимой пшеницы в звеньях севооборота на черноземе выщелоченном / С.В. Богомазов, А.В. Лянденбургская, А.А. Левин, О.А. Ткачук, Е.В. Ефремова. – Текст : непосредственный // Нива Поволжья. – 2020. – № 2 (55). – С. 84–90.
186. Продуктивность яровых культур при минимизации основной обработки почвы в условиях Саратовского правобережья / А.П. Солодовников, Е.Д. Денисов, Ф.П. Четвериков, А.Д. Яников. – Текст : непосредственный // Зерновое хозяйство России. – 2015. – № 3 (39). – С. 63–66.
187. Прянишников, Д.Н. Агрехимия / Д.Н. Прянишников. – Москва, 1934. – 399 с. – Текст : непосредственный.
188. Прянишников, Д.Н. Севооборот и его значение в деле поднятия наших урожаев (Из лекций по курсу «Введение в агрономию», читанных в 1943/44 учеб. году) / Д.Н. Прянишников ; Моск. ордена Ленина с.-х. акад. им. К. А. Тимирязева. – Москва : тип. «Красное знамя», 1945. – 35 с – Текст : непосредственный.

- 189.Прянишников, Д.Н. Севооборот и его значение в поднятии урожайности / Д.Н. Прянишников. – Текст : непосредственный // Об удобрении полей и севооборотах : избранные статьи. – Москва: 1962. – С. 35.
- 190.Ревут, И.Б. Физика почв / И.Б. Ревут. – 2-е изд., доп. и перераб. – Ленинград : Колос, 1972. – 366 с. – Текст : непосредственный.
- 191.Рекомендации для специалистов сельскохозяйственных организаций всех форм собственности по применению технологии NO-TILL в условиях Республики Крым / под ред. Н.Г. Осеннего. – Симферополь, 2019. – 41 с. – Текст : непосредственный.
- 192.Роде, А.А. Почвоведение / А.А. Роде. – Ленинград : Голстехиздат, 1955. – 524 с. – Текст : непосредственный.
- 193.Роде, А.А. Система методов исследования в почвоведении / А.А. Роде. – Новосибирск, 1971. – 92 с. – Текст : непосредственный.
- 194.Рюзенбам, Э. Земледелие / Э. Рюзенбам, К. Рауэ. – Москва : Колос, 1969. – 520 с. – Текст : непосредственный.
- 195.Сафиулин, М.Р. Прямой посев в Саратовской области: история с продолжением / М.Р. Сафиулин. – Текст : непосредственный // Ресурсосберегающее земледелие. – 2015. – № 2 (26). – С. 22–24.
- 196.Севооборот как биологический прием сохранения почвенного плодородия и повышения продуктивности пашни / Л.М. Козлова, Т.С. Макарова, Ф.А. Попов, А.В. Денисова. – Текст : непосредственный // Достижения науки и техники АПК. – 2011. – №1. – С. 16–18
- 197.Сидоров, М.И. Научные и агротехнические основы севооборотов / М.И. Сидоров, Н.И. Зезюков. – Воронеж, 1993. – 104 с. – ISBN: 5-7455-0719-5– Текст : непосредственный.
- 198.Система биологизации земледелия в Нечерноземной зоне : (научно-практические рекомендации на примере Владимирской области) / М.Н. Новиков и др. – Москва : ФГНУ «Росинформагротех», 2007. – 295 с. – Текст : непосредственный .

199. Системы земледелия : учебник для студентов вузов, обучающихся по агрономическим специальностям / А.Ф. Сафонова и др. ; под ред. А.Ф. Сафонова. – Москва : КолосС, 2006. – 446 с. – ISBN 5–9532–0347–0. – Текст : непосредственный.
200. Сравнительная продуктивность звеньев севооборотов с озимой пшеницей при их биологизации в условиях лесостепи Поволжья / А.Л. Тойгильдин, М.И. Подсевалов, И.А. Тойгильдина, А.В. Дозоров. – Текст : непосредственный // Международный сельскохозяйственный журнал. – 2017. – № 6. – С. 53–55.
201. Столбовой, В.С. Регенеративное земледелие и смягчение изменений климата / В.С. Столбовой. – Текст : непосредственный // Достижения науки и техники АПК. – 2020. – № 7. – С. 19–26.
202. Стратегия развития защитного лесоразведения в Российской Федерации на период до 2025 года, переработанная и дополненная / К.Н. Кулик [и др.]; ФНЦ агроэкологии РАН. – Волгоград, 2018. – 36 с. – Текст : непосредственный.
203. Сукачев, В.Н. О внутривидовых и межвидовых взаимоотношениях среди растений / В.Н. Сукачев. – Текст : непосредственный // Ботанический журнал. – 1953. – №1. – С. 57.
204. Сулейменов, М.К. О терминах в земледелии и растениеводстве / М.К. Сулейменов. – Текст : непосредственный // Аграрный сектор. – 2012. – № 3 (12). – С. 36–40.
205. Сулейменов, М.К. Стандартизировать исследования по нулевой технологии / М.К. Сулейменов. – Текст : непосредственный // Аграрный сектор. – 2015. – № 2 (24). – С. 90–96.
206. Тейт, Р.Л. Органическое вещество почвы / Р.Л. Тейт ; пер. с англ. О.Д. Масаловой, Д.С. Орлова. – Москва : Мир, 1991. – 399 с. – ISBN 5–03–001918–9. – Текст : непосредственный.
207. Терентьев, О.В. Агроэкологические и экономико–энергетические основы оптимизации полевых севооборотов в

- среднем Заволжье : специальность 06.01.01 Общее земледелие, растениеводство : автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора сельскохозяйственных наук / Терентьев Олег Владимирович. – Кинель, 2007. – 40 с.
208. Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Ульяновской области : официальный сайт. – Ульяновск. – <https://73.rosstat.gov.ru/folder/40369>. – Текст : электронный.
209. Титлянова, А.А. Поступление органического вещества в почву в естественных фитоценозах и агроценозах / А.А. Титлянова. – Текст : непосредственный // Концепция оптимизации режима органического вещества в агроландшафтах. – Москва: Издательство МСХА, 1993. – С. 7–18.
210. Тойгильдин, А.Л. Абиотические факторы и устойчивость урожайности озимой пшеницы в условиях лесостепи Поволжья / А.Л. Тойгильдин, В.И. Морозов, М.И. Подсевалов. – Текст : непосредственный // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2015. – № 1 (29). – С. 29–35.
211. Тойгильдин, А.Л. Научно–практическое обоснование биологизации земледелия и воспроизводства плодородия чернозема выщелоченного лесостепи Поволжья : специальность 06.01.01 Общее земледелие, растениеводство : диссертация на соискание ученой степени доктора сельскохозяйственных наук / Тойгильдин Александр Леонидович ; Самарская государственная сельскохозяйственная академия. – Кинель, 2018 – 424 с.
212. Тойгильдин, А.Л. Перспективы использования масличных культур в севооборотах лесостепной зоны Поволжья / А.Л. Тойгильдин, М.И. Подсевалов, В.Н. Остин. – Текст: непосредственный // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2021. – № 2 (54). – С 54–61.
213. Турусов, В.И. Опыт основной обработки почвы в Воронежской области / В.И. Турусов, А.М. Новичихин. – Текст

- : непосредственный // Новости науки в АПК. – 2018. – №1 (10). – С. 84–92.
214. Тюрин, И.В. Органическое вещество почв и его роль в почвообразовании и плодородии : Учение о почвенном гумусе / И.В. Тюрин. – Москва ; Ленинград : Сельхозгиз, 1937. – 285 с. – Текст : непосредственный.
215. Фокин, А.Д. Почва, биосфера и жизнь на земле / А.Д. Фокин. – Москва : Наука, 1986. – 175 с. – Текст : непосредственный.
216. Фрумин, И.Л. Моделирование земледелия Южного Зауралья : специальность 06.01.01 Общее земледелие, растениеводство : автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора сельскохозяйственных наук / Фрумин Игорь Лазаревич. – Челябинск, 2004. – 40 с.
217. Холзаков, В.М. Повышение продуктивности дерново-подзолистых почв в Нечерноземной зоне: монография / В.М. Холзаков. – Ижевск: ФГОУ ВПО Ижевская ГСХА, 2006. – 436 с. – Текст: непосредственный.
218. Чекмарев, П.А. Агрохимическая характеристика почв Чувашской Республики / П.А. Чекмарев, А.П. Коршунов – Текст: непосредственный // Земледелие. – 2020. – № 8. – С. 24–28.
219. Чекмарев, П.А. Почвенные ресурсы Ульяновской области и их современное состояние / П.А. Чекмарев, Е.А. Черкасов. – Текст : электронный // Фундаментальные и прикладные основы сохранения плодородия почвы и получения экологически безопасной продукции растениеводства : материалы Всероссийской научно–практической конференции с Международным участием, посвященной 75–летию проф. А.Х. Куликовой. – Ульяновск : УлГАУ, 2017. – С. 12–26. – URL: <http://lib.ugsha.ru:8080/handle/123456789/12609>
220. Черкасов, Е.А. Динамика агрохимических показателей плодородия черноземов ульяновской области за 2000–2015 гг / Е.А. Черкасов, А.Х. Куликова. – Текст: непосредственный // Почвоведение – продовольственной и экологической безопасности страны : тезисы докладов VII съезда Общества почвоведов им. В.В. Докучаева и

- Всероссийской с международным участием научной конференции. – Москва–Белгород : Издательский дом «Белгород», 2016. – Часть I. – С. 135–136.
221. Черкасов, Е.А. Известкование черноземов Ульяновской области / Е.А. Черкасов, А.Х. Куликова. – Текст: непосредственный // Почвы – стратегический ресурс России. Тезисы докладов VIII съезда Общества почвоведов им. В.В. Докучаева и Школы молодых ученых по морфологии и классификации почв. – Москва–Сыктывкар, 2021. – Т. 3. – С. 826–827.
222. Чижикова, Г.А. Экономическая эффективность возделывания гречихи по технологии прямого посева в условиях среднего Поволжья / Г.А. Чижикова, А.Л. Тойгильдин. – Текст: непосредственный // Наука в современных условиях: от идеи до внедрения : материалы Национальной научно–практической конференции с международным участием, посвященной 80–летию Ульяновского государственного аграрного университета имени П.А. Столыпина. – Ульяновск : УлГАУ, 2022. – С. 66–71.
223. Чуб, М.П. Современное состояние плодородия почв Саратовской области / М.П. Чуб, И.Ф. Медведев, Н.В. Потапурина. – Текст: непосредственный // Агрохимия. – 2003. – № 4. – С. 5–13.
224. Чуданов, И.А. Ресурсосберегающие системы обработки почв в Среднем Поволжье : монография / И.А. Чуданов. – Самара, 2006. – 236 с. ISBN 978–5–904164–02–7. – Текст: непосредственный.
225. Экологическая оценка применения технологии No–Till в Ростовской области : монография / К.Ш. Казеев, Г.В. Мокриков, Ю.В. Акименко [и др.] ; под ред. К.Ш. Казеева. – Ростов–на–Дону, Таганрог : Издательство Южного федерального университета, 2018. – 332 с. – ISBN 978–5–9275–2862–2. – Текст: непосредственный.
226. Экономическая эффективность возделывания яровой пшеницы по технологии прямого посева в условиях Среднего Поволжья / А.Л. Тойгильдин, М.И. Подсевалов, И.А. Тойгильдина, Д.Э. Аюпов, Р.А. Мустафина, Н.А.

- Богданов. – Текст: непосредственный // Нива Поволжья. – 2022. – № 3 (63). – С. 1006.
227. Экономическая эффективность технологии No-till в засушливой зоне Ставропольского края / В.К. Дридигер, А.Ф. Невечеря, И.Д. Токарев, С.С. Вайцеховская. – Текст: непосредственный // Земледелие. – 2017. – № 3. – С. 16–19.
228. Эффективность технологии No-till в засушливой зоне Ставропольского края / В.К. Дридигер, В.В. Кулинцев, С.А. Измалков, В.В. Дридигер. – Текст: непосредственный // Достижения науки и техники АПК. – 2021. – Т. 35, № 1. – С. 52–56.
229. Яговенко, Л.Л. Фитосанитарное состояние почвы в севооборотах / Л.Л. Яговенко, Г.Л. Яговенко. – Текст: непосредственный // Севооборот в современной земледелии: сборник докладов Международной научной конференции. – Москва: Издательство МСХА, 2004. – С.192–196.

**А.Л. Тойгильдин, О.Л. Кибалюк,
И.А. Тойгильдина, Д.Э. Аюпов**

**СЕВООБОРОТЫ ДЛЯ ТЕХНОЛОГИИ ПРЯМОГО
ПОСЕВА В УСЛОВИЯХ ЛЕСОСТЕПНОЙ ЗОНЫ
СРЕДНЕГО ПОВОЛЖЬЯ**

Ульяновск: УлГАУ, 2023. – 192 с.

Подписано в печать 05.12.2023 г. Формат 60х90/16. Бумага офсетная
Гарнитура Times New Roman. Усл. печ. л. 12 Тираж 500 экз. Заказ №115/2

Адрес издателя: 432072, г. Ульяновск, 1-й Инженерный проезд, 17