Яровая пшеница является зерновой культурой, предъявляющей повышенные требования к условиям произрастания. Это особенно актуально для Среднего Предуралья, которое характеризуется преимущественным распространением малогумусных дерново-подзолистых почв, имеющих легко разрушаемые структурные агрегаты. Приёмы обработки почвы способны оказывать значительное влияние на её водный, воздушный и питательный режимы. В монографии представлены результаты многолетних исследований систем обработки почвы в севообороте, а также сравнительная эффективность приёмов зяблевой обработки почвы, приёмов предпосевной и послепосевной обработки почвы в технологии выращивания яровой пшеницы.

Ленточкин Александр Михайлович. Учёный-агроном, доктор сельскохозяйственных наук, профессор. Область научных интересов – особенности формирования урожайности и вопросы технологии выращивания яровой пшеницы. По результатам исследований опубликовано более 160 научных работ.

978-613-9-91350-3

Обработка почвы под пшеницу

Ленточкин, Владыкина, Эсенкулова

Александр Ленточкин
Надежда Владыкина
Ольга Эсенкулова

Обработка почвы в технологии выращивания яровой пшеницы

LAP LAMBERT Academic Publishing

Александр Ленточкин
Надежда Владыкина
Ольга Эсенкулова

Обработка почвы в технологии выращивания яровой пшеницы

Александр Ленточкин
Надежда Владыкина
Ольга Эсенкулова

Обработка почвы в технологии выращивания яровой пшеницы

LAP LAMBERT Academic Publishing RU

Imprint
Any brand names and product names mentioned in this book are subject to trademark, brand or patent protection and are trademarks or registered trademarks of their respective holders. The use of brand names, product names, common names, trade names, product descriptions etc. even without a particular marking in this work is in no way to be construed to mean that such names may be regarded as unrestricted in respect of trademark and brand protection legislation and could thus be used by anyone.

Cover image: www.ingimage.com

Publisher:
LAP LAMBERT Academic Publishing
is a trademark of
International Book Market Service Ltd., member of OmniScriptum Publishing Group
17 Meldrum Street, Beau Bassin 71504, Mauritius

Printed at: see last page
ISBN: 978-613-9-91350-3

Copyright © Александр Ленточкин, Надежда Владыкина, Ольга Эсенкулова
Copyright © 2018 International Book Market Service Ltd., member of OmniScriptum Publishing Group
All rights reserved. Beau Bassin 2018

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение…….....4
1. Природно-климатические условия Среднего Предуралья…….. 6
2. Биологические особенности яровой пшеницы..... ...13
2.1. Морфо-биологическая характеристика..... ...14
2.2. Солнечная радиация и отношение к этому фактору..... ...23
2.3. Температурный режим и отношение к этому фактору..... ...27
2.4. Режим увлажнения и отношение к этому фактору..... ...30
2.5. Воздушно-газовый состав и отношение к этому фактору..... ...33
2.6. Почвы и отношение к этому фактору..... ...36
3. Эффективность систем обработки почвы в севообороте..... ...38
3.1. Влияние систем обработки почвы и внесения удобрений на её агрофизические свойства..... ...38
3.1.1. Плотность почвы..... ...38
3.1.2. Запас продуктивной влаги..... ...44
3.1.3. Водопрочность структурных агрегатов почвы..... ...49
3.2. Влияние систем основной обработки почвы и внесения удобрений на её агрохимические свойства и биологическую активность..... ...51
3.2.1. Содержание элементов питания в почве..... ...54
3.2.2. Обменная кислотность почвы..... ...61
3.2.3. Гумус..... ...63
3.2.4. Биологическая активность почвы..... ...66
3.3. Влияние систем основной обработки почвы и внесения удобрений на засорённость посевов..... ...69
3.4. Продуктивность 9-польного зернопаротравянопропашного севооборота при различных системах обработки почвы и внесения удобрений..... ...74
3.4.1. Продуктивность севооборота..... ...74
3.4.2. Реакция культур севооборота на системы основной обработки почвы. ...78
4. Сравнительная эффективность приёмов зяблевой обработки почвы..... ...81
4.1. Влияние приёмов зяблевой обработки почвы на её агрофизические свойства ...82
4.1.1. Структурные агрегаты почвы..... ...85
4.1.2. Плотность почвы..... ...88
4.1.3. Пористость почвы..... ...89
4.1.4. Влажность почвы..... ...90
4.2. Влияние приёмов зяблевой обработки почвы на засорённость посевов яровой пшеницы..... ...93
4.2.1. Зависимость засорённости посевов от особенностей вегетационного периода..... ...94
4.2.2. Эффективность приёмов зяблевой обработки почвы..... ...98
4.3. Влияние приёмов и систем обработки почвы на урожайность яровой пшеницы, её структуру и экономическую эффективность.....104
4.3.1. Урожайность зерна..... ..104
4.3.2. Структура урожайности.....107
4.3.3. Эффективность систем обработки почвы.....115
4.3.4. Экономическая эффективность.....117
5. Реакция яровой пшеницы на приёмы предпосевной и послепосевной обработки почвы.....119
5.1. Предпосевная обработка почвы.....119
5.1.1. Урожайность.....121
5.1.2. Агрофизические свойства почвы.....122

5.1.3. Засорённость посевов.....125
5.2. Послепосевная обработка почвы.....127
5.2.1. Урожайность.....128
5.2.2. Агрофизические свойства почвы и засорённость посевов.....130
Заключение.....132
Библиографический список.....134

ВВЕДЕНИЕ

Яровая пшеница является одной из сельскохозяйственных культур, занимающих значительную посевную площадь. Высокоуглеводистое и белковое зерно пшеницы имеет большое продовольственное, техническое и кормовое значение. Спрос на этот вид растениеводческой продукции, особенно высокого качества, с годами не снижается, а возрастает.

Среди родственных зерновых культур яровая пшеница отличается менее развитой листовой поверхностью в первые фазы вегетации, что снижает её конкурентную способность с сорными растениями и продуктивность фотосинтеза, менее развитую корневую систему, располагающуюся преимущественно в пахотном слое почвы и имеющую меньшую усвояющую способность. Всё это предъявляет повышенные требования к технологии выращивания яровой пшеницы, к оптимизации технологическими приёмами абиотических и биотических факторов при прохождении всех этапов онтогенеза.

Российская Федерация занимает большую территорию, представленную различными почвенно-климатическими зонами. В каждой из этих зон необходимо ведение растениеводства по адаптивным технологиям, базирующимся, прежде всего, на дифференцированном использовании природных ресурсов и адаптивного потенциала культивируемых видов и сортов растений, добиваясь устойчивого роста величины и качества урожая и повышая отдачу сырьевых, энергетических и трудовых ресурсов. Только за счёт более эффективной утилизации неисчерпаемых природных ресурсов можно снизить затраты всех видов невосполнимой энергии при одновременном повышении природоохранных функций растениеводства [Жученко А. А., 1990].

Среднее Предуралье располагается в юго-восточной части Нечерноземной зоны Российской Федерации, западнее Уральских гор, и характеризуется, как правило, достаточным, но неравномерным выпадением атмо-

сферных осадков. Наибольшее негативное влияние оказывает часто случающийся дефицит атмосферных осадков в первой половине вегетации растений (майско–июньская засуха), сопровождаемый повышенной температурой, что приводит к снижению полевой всхожести, ускоренному прохождению этапов онтогенеза в ущерб формированию продуктивного растения и колоса. Температурный режим Среднего Предуралья позволяет гарантированно выращивать раннеспелые и среднеранние сорта яровой пшеницы, способные стабильно вызревать в данных условиях, что нельзя сказать о среднеспелых сортах, имеющих больший потенциал продуктивности.

В Среднем Предуралье преимущественное распространение имеют эродированные малогумусные дерново-подзолистые почвы суглинистого гранулометрического состава. Средневзвешенное значение показателя гумуса пахотного горизонта почв Удмуртской Республики, входящей в Среднее Предуралье, составляет 2,2 %, обменная кислотность – близкая к нейтральной (pH_{KCl} – 5,6), содержание подвижного фосфора – повышенное (P_2O_5 – 107 мг/кг), содержание обменного калия – среднее (K_2O – 108 мг/кг). Эти почвы имеют слабую прочность структурных агрегатов, которые после выпадающих осадков набухают и распадаются, что резко ухудшает структурность почв, их воздушный и водный режимы [Ковриго В. П., 2004].

Приёмы обработки почвы, имеющие разную финансовую и временную затратность, способны оказывать существенное влияние на её водный, воздушный, тепловой и питательный режимы, а также на биотические факторы, сопровождающие рост и развитие культурных растений.

Целью наших исследований являлось выявление наиболее эффективных систем обработки суглинистой дерново-подзолистой почвы в севообороте, определение наиболее эффективных приёмов зяблевой, предпосевных и послепосевных обработок почвы в технологии выращивания яровой пшеницы.

1. ПРИРОДНО-КЛИМАТИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ СРЕДНЕГО ПРЕДУРАЛЬЯ

Территория Российской Федерации имеет большую протяжённость как с севера на юг, так и с запада на восток и представлена различными природно-климатическими и почвенными зонами. Каждый регион характеризуется определёнными лимитирующими факторами среды, в связи с чем адаптация технологии выращивания культур должна быть специфической [Шевелуха В. С., 1992]. Земельные угодья, которыми располагает Российское сельское хозяйство, уступает по продуктивности земельным угодьям США в 2,8 раза, Западной Европе – в 2 раза [Коровин В., 2001]. Низкий уровень естественного плодородия является главным препятствием получения высоких урожаев [Сдобников С. С., 1979].

Регион Среднего Урала относится к зоне рискованного земледелия, характеризуясь резко континентальным климатом. Важнейшими факторами, лимитирующими получение стабильных и высоких урожаев зерновых культур, являются: короткий вегетационный период, недостаток тепла, неравномерное распределение осадков в течение вегетации растений [Чепелев В. П., 2001].

В Среднее Предуралье входят три субъекта Российской Федерации – Удмуртская Республика, часть Пермского края и Свердловской области. По градации территорий, входящих в Нечернозёмную зону Российской Федерации, эти три субъекта отнесены к Уральскому району Нечернозёмной зоны и располагаются в юго-восточной её части. Эта территория находится на востоке Русской равнины и на западных склонах Уральских гор между 56° и 62° северной широты (Пермский край и Свердловская область) и 56° и 58° северной широты (Удмуртская Республика). Протяжённость с севера на юг Пермского края составляет около 600 км, Свердловской области – более 600 км, Удмуртской Республики – около 300 км, а с запада на восток соответственно около 400 км, более 500 км и около 200 км.

По природно-сельскохозяйственному районированию Пермский край и Свердловская область располагаются в среднетаёжной, южнотаёжно-лесной, лесостепной и уральской горной областях, а Удмуртская Республика – в южнотаёжно-лесной и лесостепной областях [Природно-сельскохозяйственное…, 1986]. Таёжно-лесная зона и северная часть лесостепной зоны с серыми лесными почвами имеют общность природно-хозяйственных признаков и особенностей ведения земледелия и растениеводства [Ковриго В. П., 2004].

Климат на территории Уральского района Нечернозёмной зоны является умеренно-континентальным с продолжительной холодной зимой и коротким, но тёплым летом (таблица 1).

Таблица 1 - Характеристика температурного режима Уральского района Нечернозёмной зоны [Справочник агронома…, 1990]

Территория	Температура воздуха, °С							Продолжительность безморозного периода, сут
	средне-годовая	май	июнь	июль	ав-густ	сумма свыше		
						+5	+10	
Пермский край	0,3	8,7	14,5	16,8	14,3	1865	1580	115
Свердловская область	0,3	9,2	14,7	17,0	14,4	1965	1640	115
Удмуртская Республика	1,8	10,7	16,0	18,0	15,9	2200	1890	128

Вегетационный период этих территорий сравнительно непродолжительный (150–170 дней), период активного роста и развития сельскохозяйственных культур (с температурой более 10 °С) длится 105–135 дней и за это время накапливается сумма температур 1400–1800 °С. Безморозный период составляет 95 дней.

В зимнее время вторжение арктического воздуха с севера приносит сильные морозы (до –40 °С и ниже), а весной и осенью – частые ночные заморозки. Зимние потепления, доходящие до оттепели, вызываются вторжением воздушных масс с запада. Летом эти воздушные массы приносят прохладную и влажную погоду. В летнее время с юга и юго-востока при-

ходят очень тёплые воздушные массы, с которыми связана засушливая и жаркая погода [Ковриго В. П., 2004].

В Пермском крае среднегодовая сумма осадков составляет 660 мм, а в Свердловской области и в Удмуртии – меньше соответственно на 20 и 17 % (таблица 2).

Таблица 2 - Влагообеспеченность в Уральском районе Нечернозёмной зоны
[Справочник агронома…, 1990]

Территория	Сумма осадков, мм					Средняя* наибольшая высота снежного покрова, см	Дата* наступления спелости почвы
	среднегодовая	май	июнь	июль	август		
Пермский край	660	56	71	80	74	55	2 мая
Свердловская область	525	48	68	83	70	49	23 апреля
Удмуртская Республика	548	43	61	67	60	87	3 мая
* данные метеостанций, расположенных в административных центрах территорий							

В Удмуртской Республике осадков в течение вегетационного периода выпадает не много, в среднем 250–300 мм. Некоторой компенсацией недостаточного количества осадков за вегетационный период в Удмуртии можно считать значительные запасы снега (средняя высота снежного покрова достигает 87 см, что превышает данный показатель Перми и Екатеринбурга соответственно на 58 и 78 %). Однако это приводит к удлинению сроков его таяния и оттягивает дату наступления спелости почвы.

В Уральском районе Нечернозёмной зоны, несмотря на значительное количество осадков за год, в течение вегетационного периода повсеместно наблюдаются засуха и суховеи слабой интенсивности. Повторяемость засух средней интенсивности в южной части района наблюдается в 8–9 годах из 10, очень интенсивных 0,3–1,0 раз в 10 лет [Агроклиматические ресурсы…, 1974, 1979]. Причём, часто засушливым бывает период со второй половины мая до середины июня, что резко отрицательно сказывается на начальных этапах развития яровых культур [Ковриго В. П., 2004].

Для южнотаёжно-лесной зоны Нечерноземья характерно преобладание дерново-подзолистых почв с различной мощностью подзолистого горизонта, а также наличие на юге зоны светло-серых лесных почв. В этой зоне выражена мелкая контурность полей, что определяется значительной залесённостью и распространением небольших заболоченных и песчаных участков. Лесостепная зона, в которую входят южные административные районы Удмуртии, Пермского края и Свердловской области, имеет более благоприятный климат для сельскохозяйственных культур, здесь распространены серые лесные почвы, встречаются оподзоленные чернозёмы [Монов А. И., 1978].

Структура пахотных угодий Уральского района Нечернозёмной зоны представлена следующим образом: дерново-подзолистые – 52,6 %, серые лесные – 27,2 %, чернозёмы выщелоченные и оподзоленные – 8,2 %, дерново-карбонатные – 8,1 %, пойменные – 1,3 %, торфяно-болотные – 0,1 % [Справочник агронома…, 1990]. В том числе пахотные угодья Пермского края представлены преимущественно дерново-подзолистыми и подзолистыми почвами, которые составляют – 79,5 %; чернозёмы и серые лесные почвы – около 14 %, а остальная часть пашни размещена на дерново-карбонатных, дерново-бурых, коричнево-бурых, дерново-луговых и глеевых почвах – 6,7 % [Прокошев В. Н., 1968; Пискунов А. С., 1994]. В Свердловской области дерново-подзолистые почвы занимают в пашне около 10 %, серые лесные – 54 %, чернозёмы – 23 % [Эффективное применение…, 1983]. В Удмуртской Республике дерново-подзолистые и подзолистые почвы занимают 75,2 % от площади пашни, серые лесные оподзоленные – 16,7 %, дерново-карбонатные – 6,4 %, пойменные дерновые – 1,0 %, дерново-глеевые – 0,2 %, овражно-балочные дерновые – 0,3 %, прочие – 0,2 % [Кузнецов М. Ф., 1994].

По гранулометрическому составу почвы Пермского края и Свердловской области более тяжёлые, чем в Удмуртии (таблица 3).

Таблица 3 - Распределение пахотных почв территорий Уральского района Нечернозёмной зоны по гранулометрическому составу, %
[Справочник агронома…, 1990]

Территория	Глинистые и тяжелосуглинистые	Средне- и легкосуглинистые	Супесчаные	Песчаные
Россия	28	56	14	2
Пермский край	73	21	6	-
Свердловская область	69	29	2	-
Удмуртская Республика	20	70	8	2

Преобладающие в Нечернозёмной зоне дерново-подзолистые почвы характеризуются низким содержанием гумуса, кислой реакцией почвенной среды, слабой насыщенностью почвенного поглощающего комплекса кальцием и магнием, низким содержанием доступных для сельскохозяйственных культур элементов питания, пониженной биологической активностью. Большая часть Уральского района Нечернозёмной зоны подвержена водной эрозии [Справочник агронома…, 1990]. Поэтому на таких почвах получить хорошие уровни урожайности и качества зерна возможно только при условии известкования и применения необходимых удобрений.

Типичные для Нечернозёмной зоны дерново-подзолистые почвы характеризуются также невысокой структурностью и малой прочностью структурных агрегатов, что отрицательно сказывается на водном, воздушном, тепловом и питательном режимах [Крашенинников Н. Н., 1963].

В Удмуртской Республике дерново-подзолистые почвы среди пахотных угодий занимают более 76 %, характеризуются малой мощностью пахотного слоя (18-20 см). Более чем 80 % площади пашни располагаются на склонах крутизной 1-8° и характеризуются рядом неудовлетворительных свойств, в том числе равновесной плотностью в пределах 1,4–1,5 г/см^3 для пахотного и 1,5–1,7 г/см^3 для подпахотного слоёв [Холзаков В. М., 2002б, 2006], тогда как оптимальное значение для основных зерновых культур составляет 1,1–1,3 г/см^3 [Васько В. Т., 2004; Агроэкологическая оценка..., 2005; Холзаков В. М., 2006]; низким содержанием гумуса (1,5–2,4 %) и

очень редко 3 % и более [Башков А. С., 2013], что не обеспечивает благоприятные условия выращиваемых сельскохозяйственных культур.

В целинном виде дерново-подзолистые почвы Среднего Предуралья обычно имеют: сплошной подзолистый горизонт мощностью до 15 см; плотность почвы гумусового (А) 1,15 г/см^3, элювиального ($А_2$) 1,48 г/см^3 и иллювиального ($В_1$) 1,52 г/см^3; пористость общую – соответственно 53, 39 и 42 %; влажность завядания – соответственно 7,1; 7,7 и 8,6 %. Вследствие освоения таких почв, сопровождаемого перемешиванием верхних генетических горизонтов и вовлечением их в пахотный слой, а также действия плоскостной водной эрозии, мощность подзолистого горизонта уменьшается, но при этом плотность почвы возрастает и составляет 1,37 г/см^3, пористость общая снижается до уровня 45,4 %, влажность завядания становится на уровне 7,1 %. Пахотный слой таких почв имеет плохую неводопрочную микро- и макроструктуру, что приводит к «заплыванию» пахотного слоя после выпадения дождей и образованию на поверхности почвы прочной корки, отрицательно влияющей на произрастание сельскохозяйственных культур [Ковриго В. П., 2004].

Более того, около 78 % пахотных земель Удмуртской Республики подвержены плоскостной и линейной водной эрозии, в результате действия которых смываются наиболее плодородные верхние слои почвы, что ещё в большей степени ухудшает её свойства, а часть пахотных угодий становится непригодной для земледелия [Ковриго В. П., 2004; Холзаков В. М., 2006; Вараксина Е. Г., 2008]. С увеличением степени смытости дерново-подзолистых почв резко ухудшаются их водно-физические и агрохимические свойства. Так, у эродированных почв с увеличением степени смыва в обрабатываемом горизонте происходит уменьшение содержания гумуса и увеличение плотности почвы. В связи с меньшей водопроницаемостью в почву меньше поступает талой и дождевой воды, увеличивается доля недоступной влаги в 3–4 раза и в результате запас продуктивной влаги сокращается в 1,5–2,0 раза. Плотность среднесмытой почвы в слое 0–10 см состав-

ляет 1,34 г/см^3, а в слое почвы 10–20 см – 1,47 г/см^3. У такой почвы в случае, когда в весенний период отмечается повышенное количество осадков и при относительно низких температурах, происходит изменение плотности почвы в сторону её увеличения, достигая значений 1,51 г/см^3 и более [Вараксина Е. Г., 2008].

Таким образом, природно-климатические условия Среднего Предуралья позволяют выращивать основные зерновые, кормовые, овощные, а также некоторые технические и плодовые культуры. По сортовому составу культур предпочтение отдаётся раннеспелым и частично среднеспелым сортам, которые при складывающейся сумме активных температур гарантированно успевают вызревать, хотя имеют потенциальную продуктивность ниже, чем более позднеспелые группы сортов.

По сумме осадков территория Среднего Предуралья относится к зоне достаточного увлажнения, но нередки здесь (обычно в первой половине вегетационного периода) состояние засухи, когда влажность почвы в пахотном слое опускается до недоступного уровня, что наносит невосполнимые потери формирующейся урожайности сельскохозяйственных культур.

Почвы Среднего Предуралья в большинстве случаев являются эродированными, характеризуются невысоким естественным плодородием, в том числе имеют повышенную кислотность, низкую гумусность, невысокое содержание подвижных элементов питания. Высокая равновесная плотность и слабая прочность почвенных агрегатов не обеспечивают оптимальный водный и воздушный режимы почвы для произрастающих растений.

Приёмы обработки почвы оказывают значительное влияние на изменение и эффективность использования всех природных факторов, особенно водного, воздушного и питательного режимов выращиваемых сельскохозяйственных культур, в том числе такой требовательной к условиям произрастания культуры как яровая пшеница.

2. БИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ

Эволюционное развитие всех растений проходило при определённых факторах среды, имеющих важное значение для генетической и биохимической регуляции всех этапов онтогенеза. Рост, развитие, формирование урожайности и качества продукции каждого вида растений зависят от условий их эволюционного становления и предъявляют соответствующие требования к сопровождающим его жизнь факторам среды. Так как в процессе филогенеза каждый вид растений выработал определённые приспособления к условиям жизни, изменения этих условий вызывает соответствующие изменения обмена веществ в растении, характер их роста, развития и формирование продуктивности. Воздействуя на среду, улучшая условия жизни растений, мы можем повышать продуктивность растений и качество их урожая [Степанов В. Н., 1964]. Поэтому для обеспечения более полной реализации генетического потенциала выращиваемой сельскохозяйственной культуры, для наиболее эффективно использования имеющихся природных ресурсов, для снижения негативного влияния на культуру неблагоприятных факторов необходимо наиболее полно удовлетворять биологические потребности сельскохозяйственных культур.

Каждая природная зона характеризуется своей совокупностью условий. Поэтому одна зона является более подходящей для культур с одними биологическими особенностями и потребностями к условиям произрастания, другая зона – для других культур. Кроме того, в каждой природно-климатической зоне среди совокупности условий есть факторы, находящиеся «в избытке», а другие – в недостаточном количестве и являющиеся ограничивающими развитие растений и формирование урожайности определённых культур. Поэтому земледельцу на первом этапе необходимо определить культуры, которые способны наиболее полно реализовать свой потенциал в определённых природно-климатических условиях, и затем выявить факторы, которые являются ограничивающими рост и развитие рас-

тений, чтобы, владея арсеналом технологических приёмов, суметь снизить негативное влияние на культуру ограничивающих факторов, повысить эффективность использования всех факторов жизни растений и поднять уровень реализации генетического потенциала сельскохозяйственных культур.

Чем благоприятнее природные условия, тем легче добиться высокого урожая сельскохозяйственных культур. Но такие территории имеют ограниченный размер и приходится использовать реально имеющиеся ресурсы, разрабатывая адаптивные технологии для этих условий.

В целом, яровая пшеница является требовательной культурой, что обусловлено её биологией:

– пшеница даёт нежные всходы и потому требует тщательной подготовки мелкокомковатой структуры почвы, равномерной и оптимальной глубины посева;

– яровая пшеница отличается слабым темпом роста в молодом возрасте, что делает её чувствительной к неблагоприятным факторам, особенно к угнетению сорными растениями;

– яровая пшеница не выносит повышенной кислотности почвы и наличия в ней подвижного алюминия;

– корневая система растений яровой пшеницы отличается пониженной усвояющей способностью и потому она требовательна к наличию в доступном состоянии элементов питания, особенно азота.

2.1. Морфо-биологическая характеристика

Яровая мягкая пшеница (*Triticum aestivum*) – однолетнее травянистое растение семейства мятликовых (*Poaceae*) высотой до 150 см. В умеренных широтах продолжительность её вегетации составляет от 70–80 до 110 дней, в южных – вегетация более длительная [Кумаков В. А., 1988]; в Нечернозёмной зоне она составляет обычно 90–100 дней [Технологии возделывания…, 2001].

Растение яровой пшеницы имеет надземную и подземные части. Подземная часть растения представлена узлами и междоузлиями, несколькими типами корневых систем. Надземная часть представлена одним или несколькими стеблями, каждый из которых имеет несколько узлов. Из каждого узла, в свою очередь, развиваются междоузлия и листовые влагалища с листовыми пластинками; верхнее междоузлие развитого побега завершается колосом. Стебли пшеницы обычно имеют 3–4 шт. подземных (базальных) и 5–7 шт. надземных (стеблевых) узла [Гриценко В. В., 1955]. Нижний базальный узел несёт колеоптиле, а из остальных подземных узлов формируется узел кущения, из которого развиваются побеги. При глубоком размещении семян в почве междоузлия базальных узлов могут несколько раздвинуться (рисунок 1) и тогда образуется несколько узлов кущения [Иванов П. К., 1971].

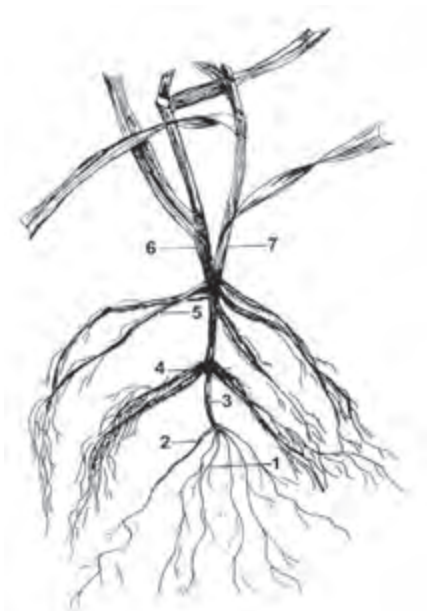

Рисунок 1 – Морфология корневой системы пшеницы
[цит. по: Яровая пшеница…, 1998]:
1 – зародышевые корни; 2 – колеоптильные корни; 3 – эпикотиль; 4 – узловые корни первого порядка; 5 – узловые корни второго порядка; 6 – главный стебель; 7 – боковой побег

При прорастании семени в рост трогается главный зародышевый корень, колеоптиле и междоузлие подземного стебля (эпикотиль), расположенное между колеоптильным узлом и узлом первого зародышевого листа. Точка роста главного побега с зачатками зародышевых листьев и первых сближенных междоузлий стебля выносится в результате роста эпикотиля ближе к поверхности почвы. Однако скорость роста колеоптиле опережает рост эпикотиля обычно на 2–2,5 см и эта разница определяет глубину залегания узла кущения: как только колеоптиле выходит на поверхность и освещается солнечным светом, гормональные механизмы передают в зону роста эпикотиля сигнал, вызывающий прекращение роста последнего, и сближенные узлы стебля, образующие в совокупности узел кущения, остаются ниже поверхности почвы [Яровая пшеница, 1978].

При использовании радиоактивного изотопа углерода удалось показать, что ассимиляты прикорневых листьев используются для формирования корней и листьев вышележащих ярусов; ассимиляты нижних стеблевых листьев – на формирование корней, соломины, зачаточного колоса и верхних листьев; ассимиляты самых верхних трёх листьев поступают преимущественно в колос, в зерно [Кумаков В. А., 1980].

Узел кущения – важный орган, обеспечивающий образование новых побегов и формирование вторичных (узловых) корней [Кумаков В. А., 1980]. При наличии необходимых условий почка, лежащая в узле у основания влагалища первого листа, увеличиваясь в размерах, даёт лист, в пазухе которого в дальнейшем разовьётся в новый побег. После появления первого бокового побега подобным же образом появляется второй боковой побег и т. д. Кущение поддаётся регулированию с помощью изменения влагообеспеченности, аэрации и режима питания: недостаточная обеспеченность питательными веществами усиливает апикальное доминирование, повышенное их содержание – ослабляет [Формирование…, 1984].

Морфологическое строение побегов кущения аналогично строению главного стебля, но они имеют меньше листьев, чем главный стебель

[Иванов П. К., 1971]. Каждый вновь сформировавшийся побег обеспечен собственной корневой системой [Носатовский А. И., 1965]. Опыты с применением $^{14}CO_2$ показали, что как только очередной побег развивает достаточную собственную листовую поверхность, обмен ассимилятами между ним и главным побегом становится слабым и обоюдным. Таким он остаётся до конца вегетации, если оба побега продуктивные. Из непродуктивных же боковых побегов наблюдается интенсивный отток веществ в главный побег в период налива зерна. Поэтому ассимиляты и вещества, накопленные ранее в вегетативных органах непродуктивных побегов, используются на налив зерна главного побега, точно так же, как вещества отмирающих листьев и соломины главного побега [Кумаков В. А., 1980]. Поэтому с увеличением степени кущения у пшеницы сильнее развивается вторичная корневая система и растения лучше переносят весенне-летнюю засуху, которая бывает нередко в Нечернозёмной полосе [Гриценко В. В., 1955], и – как следствие – растёт продуктивность главного побега [Коновалов Ю. Б., 1981]. Однако при небольшой продолжительности вегетационного периода в Нечерноземье кущение яровой пшеницы необходимо ограничивать. Оптимальным для продуктивности пшеничных растений является раннее формирование побегов первичного кущения, образующихся почти в одно время с главным, и подавлять более позднее побегообразование [Шевелуха В. С., 1992].

На энергию кущения большое влияние оказывает влажность слоя почвы, где залегает узел: запасы продуктивной влаги в этот период в 20 см слое должны составлять 30–60 мм. Эффективным средством повышения запасов продуктивной влаги в почве, снижения её непроизводительных потерь являются приёмы обработки почвы, создающие структуру почвы и обеспечивающие рыхлое её состояние. Однако на бедных, песчаных и подзолистых почвах, где наблюдается неблагоприятный водный и питательный режимы, яровая пшеница совершенно не кустится и формирует одностебельные растения [Носатовский А. И., 1965]. Продуктивная

кустистость яровой пшеницы в Нечерноземье обычно составляет 1,0–1,2 [Гриценко В. В., 1955].

Формирование корневой системы яровой пшеницы начинается с момента прорастания зерновки, когда после набухания начинает расти главный зародышевый корень. Через 2–3 дня образуется первая пара зародышевых корней и ещё через 1–2 дня – вторая пара. Количество зародышевых корней зависит от сорта, качества семян и условий развития проростков, но обычно их бывает 3–5 [Гриценко В. В., 1955]. Колеоптильные корни (см. рисунок 1) появляются в фазе третьего листа и их количество в полевых условиях варьирует в большей степени, чем количество зародышевых корней. Чаще всего их бывает 1–3, реже 4, но нередко при пересыхании почвы колеоптильные корни совсем отсутствуют. Зародышевые и колеоптильные корни вместе составляют первичную корневую систему пшеницы. Первичные корни проникают на глубину до 150 см, почти не разветвляясь в пахотном слое, и питают растения при пересыхании верхних слоёв почвы [Иванов П. К., 1971; Кумаков В. А., 1980; Керефов К. Н., 1982; Лоскутов И. Г., 1990].

С наступлением фазы кущения развиваются вторичные (узловые) корни, растущие из подземных узлов вначале главного, а затем и боковых побегов. На каждом узле образуется 2–4 корня. При неблагоприятных условиях, в первую очередь почвенных, узловые корни могут не развиться и тогда судьба урожая будет определяться работой первичных корней. В таких случаях обычно нельзя получить урожайность выше 1,5–1,8 т/га [Кумаков В. А., 1980]. Поэтому вырастить высокие урожаи пшеницы можно только при хорошем развитии всех типов корней – зародышевых, колеоптильных и узловых [Яровая пшеница…, 1978].

У яровой пшеницы начало образование вторичной корневой системы совпадает с кущением растений (IV этап органогенеза) и продолжается до колошения. В этот период пшеница особенно требовательна к условиям увлажнения, к плодородию и наличию элементов питания, особенно фос-

фора; предпочитает пониженные температуры [Гриценко В. В., 1955; Иванов П. К., 1971; Формирование урожая…, 1984; Лоскутов И. Г., 1990; Макарова В. М., 1995]. Хорошее развитие вторичных корней способствует мощному развитию главного и продуктивных боковых побегов, повышению продуктивности каждого колоса [Гриценко В. В., 1955]. У растений яровой пшеницы, не развивших вторичную корневую систему, урожайность зерна снижается на 30 % [Носатовский А. И., 1965].

Яровая пшеница по сравнению с ячменём и овсом имеет менее развитую корневую систему с пониженной усвояющей способностью [Технологии возделывания…, 2001]. Общая длина корней одного растения пшеницы составляет 453 м, ячменя – 1069 м, овса – 1279 м. Кроме того, если у овса прирост корней продолжается до молочного состояния зерна, то у пшеницы заканчивается к колошению [Иванов П. К., 1954]. Отношение массы корней пшеницы к её надземной части составляет всего 17–20 % [Лоскутов И. Г., 1990]. Кроме того, корневая система яровой пшеницы характеризуется пониженной усвояющей способностью [Носатовский А. И., 1965; Технологии возделывания…, 2001].

В вегетационном опыте методом песчаной культуры корневая система яровой пшеницы значительно уступала ячменю и овсу (таблица 4).

Таблица 4 – Сравнительное развитие корневой системы яровых зерновых культур в фазе выхода в трубку (среднее за два года)

Культура	Количество узловых корней одного растения, шт. (%)	Масса корней одного растения, г (%)
Пшеница	8 (100)	0,56 (100)
Ячмень	10 (125)	1,12 (200)
Овёс	9 (112)	1,06 (189)

На дерново-подзолистой почве в слое 0–20 см сосредоточено до 92 % массы всех корней пшеницы. Более глубокому проникновению корней на этих почвах препятствует подзолистый горизонт, который сильно уплотнён и малоплодороден, обладает повышенной кислотностью. В результате даже непродолжительные периоды засух могут отрицательно повлиять на уро-

жайность этой культуры [Гриценко В. В., 1955; Иванов П. К., 1971; Кумаков В. А., 1980; Неттевич Э. Д., 1986; Лоскутов И. Г., 1990]. Поэтому для большего распространения корневой системы необходимо, в первую очередь, рыхление почвы, в том числе подпахотного слоя [Носатовский А. И., 1965].

Соцветие яровой пшеницы – сложный колос, имеющий длину обычно около 10 см. Колоски одиночные, расположены на оси колосьев двумя продольными рядами, чаще всего с 2–5 тесно сближенными цветками, из которых верхний в большинстве случаев бывает недоразвит (рисунок 2).

Рисунок 2 – Колос яровой пшеницы (лицевая сторона) и схема расположения зерновок в колосках по оси колоса

Формирование продуктивности колоса идёт на протяжении всего вегетационного периода: после образования третьего листа в фазе кущения формируются членики колосового стержня, после фазы кущения с началом фазы выхода в трубку закладывается количество колосков в колосе, а затем в течение V–VI этапов органогенеза идёт закладка количества цветков в колосках и их развитие [Куперман Ф. М., 1977]. Чем более благоприятными являются условия для прохождения данных этапов и чем они продолжительнее, тем больше закладывается элементов продуктивности колоса.

Реализация заложенного потенциала продуктивности колоса обеспечивается благоприятностью последующих условий роста и развития расте-

ний: чем благоприятнее условия, тем полнее реализация. При неблагоприятных условиях нижние и верхние колоски развиваются плохо или становятся непродуктивными. Колос в таких случаях приобретает веретеновидную форму. Кроме колосков, редукция касается и цветков в колосках: цветки последних порядков при неблагоприятных условиях не получают развития, редуцируются (рисунок 3).

Рисунок 3 – Элементы продуктивности колоса яровой пшеницы:
А – колосовой стержень; В – цветение и развитие колосков начинается с середины колоса, обеспечивая им преимущество перед другими колосками; С – пятицветковый колосок, в котором только три цветка реализуются в зерновки

Таким образом, реализация заложенного потенциала продуктивности колоса пшеницы начинается с колосков средней части колоса и с первых цветков в колосках. Продолжается этот процесс в колосках и цветках последующих порядков в такой степени, насколько позволяет обеспеченность ресурсами необходимых факторов.

Подводя итог, необходимо подчеркнуть следующие морфобиологические особенности яровой пшеницы. Во-первых, корневая система яровой пшеницы является менее развитой, с меньшей усвояющей способностью, чем у других ранних яровых зерновых культур. Основная её масса на дерново-подзолистой почве сосредоточена в пахотном слое, корни плохо проникают через подзолистый горизонт в низлежащие слои почвы. Вторичная

корневая система при неблагоприятных условиях развивается плохо, а без неё невозможно рассчитывать на формирование высокого уровня урожайности. Во-вторых, слабый проросток обладает плохой способностью пробивать образующуюся почвенную корку. В-третьих, первые появляющиеся листочки пшеничного растения являются узкими, плохо прикрывающими поверхность почвы, что способствует появлению всходов и разрастанию сорных растений. В-четвёртых, учитывая биологические особенности конкурентных отношений однородный и компенсационные отношения разнородных элементов продуктивности, а также короткий вегетационный период и невысокое плодородие почвы, необходимо добиваться ранней закладки и одновременного развития на соответствующих этапах онтогенеза всех элементов продуктивности растения.

Следует учитывать, что органы, отстающие в развитии при «забеге» онтогенетически «старших» органов более чем на 2–3 этапа органогенеза, приостанавливаются в развитии, а затем или переходят в состояние покоя, или отмирают. Чем больше разрыв в прохождении одноимёнными органами этапов органогенеза, тем больше редукция элементов продуктивности и отсюда большие различия между потенциальной и реальной продуктивностью растений [Куперман Ф. М., 1977]. Так, например, побеги, которые к моменту выхода пшеницы в трубку, имеют только 2–3 листа, рано отмирают. Они не успевают к этому времени сформировать собственные корни и существуют, паразитируя, за счёт материнских побегов [Носатовский А. И., 1965].

Реализация потенциальной продуктивности пшеничного растения путём оптимизации абиотических и биотических факторов происходит на протяжении всего вегетационного периода. Важным в этом процессе являются как закладка большого количества каждого их элементов продуктивности (количество растений, количество стеблей, количество колосков в колосе, количество цветков в колоске), так и снижение их редукции и полноценное развитие.

Для обеспечения формирования высокопродуктивных автотрофных растений требуется два основных условия – наличие хорошо развитой фотосинтезирующей поверхности и хорошо развитой корневой системы. Среди всей совокупности возможных технологических приёмов, способных оптимизировать условия хорошего развития фотосинтезирующей поверхности и корневой системы растения, важная роль принадлежит приёмам обработки почвы, которые способны оказывать существенное влияние на водный, воздушно-газовый и питательный режимы почвы.

2.2. Солнечная радиация и отношение к этому фактору

Космическим фактором, оказывающим постоянно действующее влияние на растения, является солнечная радиация, которая регулирует важнейшие функции в жизни растений: вызывает образования хлорофилла, формирование структуры хлоропластов, регулирует работу устьичного аппарата, влияет на газообмен и транспирацию, активизирует ряд ферментов, стимулирует биосинтез белков и нуклеиновых кислот. Свет влияет на деление и растяжение клеток, ростовые процессы и развитие растений, определяет сроки цветения и плодоношения, оказывает формообразующее действие. Но самое большое значение свет имеет в осуществлении процесса фотосинтеза [Важнейшие абиотические…, 2012].

Световая энергия является главным энергетическим источником при формировании урожая, при превращении которой в энергию химических связей органических веществ в процессе фотосинтеза создаётся 90–95 % общей сухой массы растений. За счёт биологического преобразования солнечной энергии в процессе фотосинтеза человечество обеспечивается практически всей пищей, топливом и натуральным волокном. Поэтому необходимо добиваться снятия внутренних и внешних факторов, лимитирующих фотосинтез, КПД запасания солнечной энергии в посевах сельскохозяйственных культур [Жученко А. А., 1988].

Установлено, что средний коэффициент использования фотосинтетически активной радиации (ФАР) составляет 1,43 % [Кумаков В. А., 1980]. Повышение его на несколько процентов, устраняя другие ограничивающие факторы, позволяет увеличить урожайность в два и более раз (таблица 5).

Таблица 5 – Возможная урожайность зерновых культур по приходу ФАР и использованию её посевами [Ковырялов Ю. П., 1986]

Культура	Использование ФАР, %				Потребность в других факторах в расчёте на планируемую урожайность 4,0 т/га			
					продуктивная влага, мм	содержание питательных веществ в почве, мг/кг		
	1,0	1,5	2,0	2,5		$N_{л.г.}$	P_2O_5	K_2O
Озимая пшеница	20,7	31,0	41,3	51,7	325	130	160	130
Озимая рожь	17,2	25,8	31,4	38,7	325	120	180	180
Яровая пшеница	23,0	34,6	46,1	57,6	300	160	170	140
Ячмень	24,0	36,0	48,1	60,1	275	100	150	120
Овёс	21,9	33,8	43,8	54,8	300	110	180	170

Считается, что в современных условиях ведения земледелия можно увеличить коэффициент ФАР с 0,5–1,0 % до 3–5 % [Ковалёв В. М., 1997]. Однако главной причиной недобора урожаев и неудовлетворительного поглощения ФАР продолжает оставаться недостаток для растений влаги и элементов питания [Кумаков В. А., 1980]. На устранение этих причин и должны быть направлены, в первую очередь, технологии выращивания сельскохозяйственных культур.

Величина хозяйственной части урожая (зерно, клубни и т. д.) находится в прямой и тесной зависимости от общей биологической массы растений. Поэтому решение основной задачи повышения урожайности сельскохозяйственных культур следует видеть в разработке и осуществлении такой системы агроприёмов, которые в условиях каждой природной зоны обеспечивают наиболее полное использование выращиваемыми растениями энергии солнечной радиации в процессе фотосинтеза, максимальное накопление органического вещества и наиболее полное его использование на формирование ценной части урожая.

Продолжительность светового периода суток во время наибольшей высоты солнцестояния составляет на крайнем юге (35–40° с. ш.) 14,5–15 ч, в центральных районах (50–60° с. ш.) 16,5–18,5 ч, у северных границ земледелия (65–70 ^{o} с. ш.) 22–23 ч [Степанов В. Н., 1964].

Большинство высших растений обладают фотопериодизмом, связанным с адаптацией их к сезонным режимам условий освещения. К фотопериодическим реакциям относят переход в состояние покоя, опадение листвы, цветение, формирование репродуктивных органов, клубнеобразование и др. По реакции на продолжительность дня растения делят на три основных группы. Пшеницу относят к растениям длинного дня. Растения длинного дня цветут и плодоносят при продолжительности дня не менее 12 ч.

Разностороннее воздействие на жизнедеятельность растений оказывает спектральный состав солнечной радиации. Так, на растения длинного дня больше влияют длинноволновые лучи, т. е. утреннее или вечернее освещение, а на развитие растений короткого дня – коротковолновые лучи, преобладающие в дневном освещении.

Пшеница, как длиннодневное растение, по сравнению с короткодневными (например: просо, сорго, кукуруза), лучше выдерживает кислые почвы, небогатые питательными веществами, хотя полная реализация потенциала продуктивности возможна на слабокислых и нейтральных почвах, богатых элементами питания. Для прохождения этапов онтогенеза каждому виду и сорту требуется своя сумма активных температур, обусловленная генотипом. Растения, пока не наберут необходимую сумму активных температур, не могут перейти к генеративному периоду развития, а продукты фотосинтеза направляются на рост вегетативной массы. Для длиннодневных культур имеет значение не только сумма активных температур, но и продолжительность светового дня. У этих культур с увеличением длины дня, то есть с продвижением на север, сокращаются межфазные периоды. В результате сокращается период вегетации и время накопления вегетативной массы, снижается продуктивность растений.

Солнечная радиация, вызывая изменение физиологических процессов, оказывает большое влияние на формообразование растений. Так, продолжительность освещения определяет или изменяет внешний вид растения. Например, на коротком дне (8–10 часов) растения длинного дня образуют большое число листьев или побегов ветвления. Короткодневные растения в этих же условиях низкорослы, число листьев невелико, соцветия малы и семян в них невелико. При увеличении фотопериода (свыше 14–16 часов) развитие короткодневных растений задерживается, а рост может значительно усилиться: наблюдается обилие листьев на длинном стебле, появление множества пазушных побегов, ветвистость колоса, многопочатковость, увеличение числа и размеров семян в соцветии.

Солнечная радиация не является фактором, находящимся в первом минимуме и ограничивающем рост урожайности. Но критерием успехов могут служить показатели степени использования приходящей энергии солнечной радиации на формирование урожая. Основным компонентом этого фактора является фотосинтетически активная радиация (ФАР). Так, КПД ФАР в посевах характеризуется следующим образом: низкий (0,5–1,5 %), средний (1,5–3,0 %), повышенный (3–5 %), высокий (5–8 %), сверхвысокий (8–10 %). Расчёты показывают [Ничипорович А. А., 1982], что в районах, где приход ФАР за период вегетации составляет 2–3 млрд ккал/га, урожаи зерна пшеницы могут достигать 10–15 т/га.

При обычной технологии посевы, как правило, используют приходящую ФАР с КПД 0,5–1,0 %. В условиях хорошего водоснабжения и обеспеченности элементами питания КПД ФАР возрастает до 2–3 %. В наиболее благоприятных условиях посевы усваивают ФАР до 4–5 % и даже 8–10 % и более [Каюмов М. К., 1989].

Человек не в состоянии регулировать интенсивность солнечной радиации, её спектральный состав, годовой ход продолжительности освещения и длину дня. Однако он может использовать приёмы, позволяющие лучше использовать солнечную радиацию. Например, изменяя сроки и

способы посева, направление рядков, норму высева, грамотно применяя удобрения и необходимые приёмы обработки почвы, – можно в значительной мере улучшать водный, воздушно-газовый, температурный и питательный режимы, этим самым способствуя повышению КПД ФАР, накоплению большей биомассы растений.

2.3. Температурный режим и отношение к этому фактору

Температурные условия определяют возможность прорастания семян, роста корневой системы, формирования урожайности хозяйственно-полезной части растений. От температурного режима зависит интенсивность таких жизненно важных процессов в растениях, как фотосинтез, дыхание, транспирация и др. Главным источником тепла на Земле является солнечная радиация. За вегетационный период на территории европейской части России на каждый 1 см^2 поверхности почвы поступает за сутки в среднем 4190 Дж [Васько В. Т., 2004].

Для характеристики теплообеспеченности сельскохозяйственных культур используют различные показатели, среди которых наиболее востребованным является сумма активных температур. Для яровой пшеницы для широты 55° потребность в сумме активных температур за вегетационный период составляет следующие значения: раннеспелые сорта – 1200...1400 ^{o}С, среднеспелые сорта – 1300...1500 ^{o}С, позднеспелые сорта – 1450...1700 ^{o}С [Кирюшин В. И., 1996].

При сумме температур 1200...1600 ^{o}С уровень биологической продуктивности считается пониженным и характерным для умеренного пояса средней тайги, где могут выращиваться раннеспелые сорта сельскохозяйственных культур. В южной тайге сумма активных температур составляет 1600...2200 ^{o}С, что предполагает выращивание среднеранних сортов, характеризующихся средним уровнем биологической продуктивности. Среднеспелые сорта, характеризующиеся повышенным уровнем биологической

продуктивности, требуют сумму активных температур уже на уровне 2200...2800 °С [Природно-сельскохозяйственное…, 1986].

По требованию к температурному режиму сельскохозяйственные культуры существенно различаются друг от друга и на протяжении онтогенеза предъявляют неодинаковые требования к данному абиотическому фактору. Так, для яровой пшеницы минимальная температура прорастания семян составляет +1...+2 °С, появления всходов – от +4 до +5 °С, а потребность в сумме активных температур для образования всходов составляет 90...120 °С [Степанов В. Н., 1948, 1964].

Не менее важным, чем влияние температуры на прорастание семян, является воздействие температурных условий на развитие всходов и формирование вегетативных органов, т. е. на начальный период роста сельскохозяйственных культур. Установлено, что при температуре на глубине посева семян 5 °С продолжительность периода от посева до всходов яровой пшеницы составляет 20 сут, при 10 °С – 10 сут, при 15 °С – 7 сут, при 20 °С – 5 сут [Степанов В. Н., 1964]. Подобные данные получены В. М. Макаровой [Макарова В. М., 1972]. При температуре свыше +25 °С прорастание замедляется [Перекальский Ф. М., 1961].

Требования растений к теплу на разных этапах формирования ими вегетативных и генеративных органов не остаются постоянными. Так, для яровой пшеницы при формировании вегетативных органов биологический минимум температуры составляет +4...+5 °С, а оптимум равен +12...+16 °С; при формировании генеративных органов и цветения минимум составляет +10...+12 °С, а оптимум равен +16...+20 °С; при плодоношении минимум составляет +10...+12 °С, а оптимум равен +16...+22 °С [Степанов В. Н., 1964].

К высоким температурам яровая пшеница довольно устойчива, особенно при наличии влаги в почве. Температура +35…+40 ºС и сухие ветры неблагоприятно сказываются на растениях и ведут к снижению урожайности и качества зерна. Наиболее чувствительна к высоким температурам

пшеница в период формирования генеративных клеток, а также в фазу цветения и созревания [Кумаков В. А., 1988].

Очевидно, что степень холодостойкости растений находится в определённой связи с их происхождением и общей требовательности к термическому фактору среды. Так, растения умеренных широт (к которым относится яровая пшеница) способные вегетировать при низких температурах, а теплолюбивые растения южных широт не переносят отрицательных температур. Установлена температура, при которой наступает гибель соответствующих органов яровой пшеницы при средней длительности заморозков 5–6 ч в зависимости от интенсивности ростовых процессов и фазы развития: всходы – при –10...–12 ^{o}C, цветение – при –2 ^{o}C, созревание – при –4 ^{o}C [Степанов В. Н., 1964].

По данным других авторов устойчивость к заморозкам зависит и от сопутствующих им обстоятельств. Так, без значительных повреждений набухшие семена пшеницы переносят заморозки до –10 ^{o}C, а наклюнувшиеся – понижение температуры до –6…–7 ^{o}C [Яровая мягкая…, 1999]. Всходы пшеницы выдерживают заморозки до –8 ^{o}C, а непродолжительные или при пониженной влажности и постепенном переходе к отрицательным температурам выдерживают отрицательную температуру до –10…–11 ^{o}C [Макарова В. М., 1972; Клиндюк А. М., 2002].

Несмотря на положительное влияние повышенной температуры на прорастание, самая высокая урожайность пшеницы была тогда, когда в период «посев – всходы» и «всходы – кущение» отмечалась средняя температура +10 ^{o}C [Яровая пшеница…, 1998]. При высокой температуре происходит укорачивание межфазных периодов [Макарова В. М., 1972; Яровая пшеница…, 1998; Васько В. Т., 2004]. Высокая температура, чаще сопровождаемая недостатком влаги, вызывает угнетение роста междоузлий, уменьшение размера листьев, высоты растений и длины колоса [Яровая пшеница…, 1998]; сопровождается снижением энергии кущения ввиду быстрого перехода растений от фазы кущения к фазе выхода растений в

трубку. Кроме того, это сокращает срок созревания, формируя щуплое зерно с пониженной массой 1000 зёрен [Макарова В. М., 1972].

При характеристике температурного режима необходимо различать температуру воздуха и почвы, а также разность между ними. Для растений это очень важно, т. к. они способны поглощать питательные вещества из почвы при условии, если температура почвы будет на несколько градусов ниже температуры воздуха. Поэтому более благоприятные условия создаются при раннем посеве, когда почва относительно холодная, рост и развитие надземной части растений задерживается, тогда как корневая система растёт усиленно [Васько В. Т., 2004]. Способствует понижению температуры корнеобитаемой зоны почвы поддержание верхнего её слоя приёмами механической обработки в рыхлом состоянии и формирование плотных посевов, прикрывающих поверхность почвы.

2.4. Режим увлажнения и отношение к этому фактору

Роль воды в жизни растений огромна и многообразна. Во-первых, имея самую большую долю в клетках, она не препятствует проникновению фотосинтетически активной части солнечной радиации. Во-вторых, вода, обладая высокой теплоёмкостью, стабилизирует суточный температурный режим растений, предохраняя их от перегрева. В-третьих, являясь хорошим растворителем, вода служит средой многочисленных биохимических реакций и средством передвижения продуктов метаболизма из одних органов в другие. Вода поступает в растение частично через ткани надземных органов, а основная часть – через корневую систему.

Почва по составу представляет многофазную систему. Между твёрдыми частицами почвы находятся поры, которые заполнены водой или воздухом. Для пшеницы нижний оптимальный предел влажности почвы на тяжёлых, средних и лёгких почвах составляет от наименьшей влагоёмкости соответственно 75, 70 и 65 % [Кирюшин В. И., 1996]

Яровая пшеница является относительно требовательной к влаге культурой и для обеспечения всех необходимых физиологических процессов требуется значительное количество воды. Так, транспирационный коэффициент яровой пшеницы составляет 540, в коэффициент водопотребления во влажный год – 350...400, в средний по условиям увлажнения – 400...465, в засушливый – 435...500 [Вальков В. Ф., 1986; Кирюшин В. И., 1996; Гатаулина Г. Г., 2005]

В качестве исходного критерия влагообеспеченности посевов используют запасы продуктивной влаги в почве. Данная оценка имеет особое значение, в первую очередь перед началом весенних полевых работ, поскольку с ней связаны прогнозирование урожайности и корректировка технологий возделывания выращиваемых культур (таблица 6).

Таблица 6 – Оценка запасов продуктивной влаги в почве в весенний период
(цит. по: [Кирюшин В. И., 1996])

Мощность слоя почвы, см	Запас воды, мм*	Качественная оценка запасов воды
0–20	> 40	хорошие
	40–20	удовлетворительные
	20	неудовлетворительные
0–100	160	очень хорошие
	160–130	хорошие
	130–90	удовлетворительные
	90–60	плохие
	< 60	очень плохие
* 1мм воды равен 10 м^3/га.		

Важнейшая экологическая характеристика почвы – влажность устойчивого завядания. Почвы, богатые гумусом и тяжёлые по гранулометрическому составу, отличаются более высокими значениями влажности, при которых растения начинают завядать, чем супесчаные и песчаные почвы. Зависимость влажности завядания от гранулометрического состава почвы выглядит следующим образом: лёгкий суглинок – 7 %, средний суглинок – 11, тяжёлый суглинок – 15, глина – 18, тяжёлая глина – 22 %. При уплотнении почвенного профиля увеличивается количество мелких неактивных пор, содержащих непродуктивную влагу, удерживаемую почвой с давле-

нием более 16 атм. В интервале плотности почвы 1,50–1,55 г/см^3 влажность завядания увеличивается на 28–30 % по сравнению с уплотнением 1,11–1,44 г/см^3 [Вальков В. Ф., 1986].

Установлено, что возделывание пшеницы возможно, если сумма осадков за вегетационный период составляет не менее 200–250 мм [Яровая мягкая…, 1999]. Волго-Вятский регион и Средний Урал по влагообеспеченности яровой пшеницы относятся к зоне достаточного увлажнения, которая составляет 80–125 % [Иванов П. К., 1971].

Семена пшеницы начинают прорастать, когда они впитают влагу, равную половине своей массы. Чем бóльшую влажность имеет семенное ложе, тем скорее происходит набухание зерна. Но увеличение влажности до 100 % полной её влагоёмкости ведёт к замедлению прорастания и полному его прекращению. Определено, что оптимальной влажностью для прорастания семян большинства культур является 60–90 % от полной влагоёмкости почвы [Клиндюк А. М., 2002].

Специальными исследованиями установлено, что растения пшеницы расходуют в период «всходы – выход в трубку» около 25 % общей потребности воды, в «выход в трубку – молочное состояние зерна» – 60 % и лишь 15 % – в период от молочного состояния до восковой спелости зерна [Яровая пшеница…, 1998].

Оптимальные условия для кущения растений создаются при запасе продуктивной влаги в пахотном слое 30–60 мм. Если на уровне залегания узла кущения влажность почвы близка к влажности устойчивого завядания, то кущение прекращается и вторичная корневая система не формируется. В острозасушливые годы растения пшеницы не кустятся и имеют только первичную корневую систему, которая не способна обеспечить подачу достаточного количества воды и питательных веществ в надземные органы ввиду ограниченной пропускной способности сосудов эпикотиля. В этих условиях урожайность пшеницы не может быть более 1,5–1,8 т/га [Носатовский А. И., 1965; Яровая пшеница…, 1998; Клиндюк А. М., 2002].

Необходимое условие для формирования высокого урожая – полная обеспеченность растений водой в оптимальных размерах на всех этапах развития. Но в развитии каждого растения есть периоды, когда обеспеченность водой вызывает наибольшее снижение урожая. Так, при недостатке влаги в период «конец кущения – начало выхода в трубку» яровой пшеницы, когда происходит закладка и развитие колоса, в последующем наблюдается череззёрница, достигающая 85 % [Носатовский А. И., 1929]. Период «выход в трубку – цветение» является вторым после кущения критическим периодом в отношении обеспеченности растений влагой, т. к. дефицит её приводит к недоразвитию колоса, снижению его озернённости и в итоге – к низкой урожайности. Поэтому самые низкие урожаи пшеницы получали в годы с сильными засухами в мае – июне [Неттевич Э. Д., 1997].

2.5. Воздушно-газовый состав и отношение к этому фактору

Атмосфера, сложившаяся в результате эволюции Земли под влиянием различных процессов миллионы лет назад, достигла определённого состава, который сохраняется длительное время. Поэтому человек и объекты сельскохозяйственного производства приспособлены к данному составу атмосферы и он необходим для их привычного существования.

Основными компонентами атмосферного воздуха являются азот, кислород, аргон и углекислый газ (таблица 7). Их состав в течение года и суток изменяется незначительно.

Таблица 7 – Состав атмосферного и почвенного воздуха (объёмные проценты) [Почвоведение, 1975]

Газы	Атмосферный воздух	Почвенный воздух
Азот (N_2)	78,08	78,08–80,24*
Кислород (O_2)	20,95	20,90–0,00
Аргон (Ar)	0,93	–
Углекислый газ (CO_2)	0,03	0,03–20,00
Все остальные	0,01	–
* Азот + аргон		

Почвенный воздух играет важную роль в жизни почвы и населяющих её организмов. По сравнению с атмосферным воздухом, в нём меньше кислорода и больше углекислого газа. Изменение концентрации этих двух важных компонентов почвенного воздуха связано с двумя противоположно направленными процессами. Во-первых, интенсивностью потребления кислорода и продуцирования углекислого газа. Во-вторых, скоростью газообмена между почвой и атмосферным воздухом [Почвоведение, 1975].

Газовый состав надпочвенного и почвенного воздуха различается и оказывает большое влияние на продуктивность растений. Считается, что содержание CO_2 в атмосфере в конце XX в. повысилось и составляло уже 0,035 %, а ко второй половине XXI в. оно, предположительно, удвоится и достигнет 0,07 % [Кошкин Е. И., 2005]. Содержание CO_2 в воздухе недостаточно для оптимального течения фотосинтеза и, следовательно, роста. Наиболее эффективно фотосинтез протекает при концентрации углекислого газа 0,2–0,3 %, что в 8–10 раз больше среднего его содержания в воздухе [Леман В. М., 1976].

Углекислый газ в почве образуется, главным образом, благодаря микроорганизмам, которые участвуют в процессе разложения содержащегося там органического вещества, и содержание его в отдельных случаях достигает 5–10 % [Бондарев А. Г., 1966]. Такая высокая концентрация CO_2 токсична для корней растений и аэробных микроорганизмов [Рюбензам Э., 1969]. Было установлено, что от 38 до 72 % всего CO_2, пошедшего на создание урожая, растения используют в виде высвободившегося из почвы [Почвоведение, 1975].

Роль кислорода в жизни растений проявляется, в первую очередь, в процессе дыхания. При недостатке O_2 дыхание ослабляется, что уменьшает метаболическую активность и энергетические ресурсы, а в итоге – снижает урожайность растений. Содержание кислорода в почвенном воздухе при нормальных условиях газообмена почвы с атмосферой изменяется в пределах 17–20 %. При нарушении газообмена (например, при переувлажне-

нии) содержание кислорода падает до 3–6 % и ниже [Бондарев А. Г., 1966]. Повышение аэрации почвы обеспечивает высвобождение CO_2 и поступление в неё O_2. В результате это способствует лучшему развитию корней, более интенсивному поглощению растениями воды и питательных веществ, усилению роста и увеличения урожая.

В пахотном горизонте дерново-среднеподзолистой среднесуглинистой почвы под яровой пшеницей в течение мая – октября содержание кислорода изменялось в пределах 20,1–20,8 %, снижаясь в июле – августе (20,1-20,3 %), а содержание углекислого газа – в переделах 0,10-0,69 %, увеличиваясь в июле – августе (0,55-0,69 %) [Хромченко Н. Я., 1974].

Газообмен почвенного и атмосферного воздуха – двусторонне полезный процесс: надпочвенный воздух обогащается углекислым газом, необходимым для фотосинтеза растений, а почвенный – кислородом, используемым для дыхания корней и биологической деятельности почвенной фауны. У дерново-подзолистых почв максимальное суточное поступление CO_2 в приземный слой наблюдалось в июне – июле. Установлено, что максимум содержания углекислого газа в зоне листьев растений наблюдается рано утром. К полудню содержание CO_2 у поверхности почвы снижается до 79 % от содержания его утром. Существенно улучшают питание растений углекислым газом внесение в почву органических удобрений и заделка в почву пожнивных остатков, наличие в севообороте полей с многолетними травами, широкое применение повторных посевов и возделывание сидеральных культур [Васько В. Т., 2004].

Улучшению газообмена почвенного и атмосферного воздуха достигается рыхлением почвы, прежде всего вспашкой, улучшением структуры почвы (внесением органических удобрений и извести). Образующаяся во время вегетации растений корка на поверхности почвы должна своевременно разрушаться с помощью соответствующих обработок (культивация, боронование, частично прикатывания) [Рюбензам Э., 1969].

2.6. Почвы и отношение к этому фактору

Яровая пшеница характеризуется высокой требовательностью к плодородию почвы. Наиболее высокие урожаи яровой пшеницы получают на хорошо окультуренных плодородных почвах с хорошей структурой, обеспеченной влагой и питательными веществами [Перекальский Ф. М., 1961]. В Нечернозёмной зоне для яровой пшеницы более всего подходят серые лесные, дерново-карбонатные, слабо- и среднеподзолистые суглинистые почвы с pH 5,6–6,5, содержащие не менее 2 % гумуса, 100–120 мг/кг подвижного фосфора и обменного калия [Тихвинский С. Ф., 2007].

Подзолистые почвы без соответствующих улучшений являются малопригодными для получения высокой урожайности пшеницы. Корневая система пшеницы при проникновении в более глубокие горизонты испытывает недостаток в азоте и фосфоре. Кислая реакция среды ослабляет процессы нитрификации. При вымывании минеральных веществ, в частности кальция, понижается способность к образованию благоприятной структуры, что ведёт к ухудшению физических свойств подзолов. Оптимальная плотность почвы для яровой пшеницы составляет 1,1–1,4 г/см^3. Но хорошее увлажнение, меньшая вероятность засухи и высоких температур в зоне дерново-подзолистых почв благоприятствуют культуре пшеницы [Носатовский А. И., 1965; Шевлягин А. И., 1968].

Неблагоприятны для пшеницы глинистые почвы, которые плохо пропускают воздух, задерживают появление всходов. Песчаные почвы тоже непригодны: они обладают неудовлетворительными водными свойствами, в них мало питательных веществ [Прокошев В. Н., 1968].

Плодородные свойства почвы определяются комплексом показателей, среди которых наибольшее значение имеют содержание гумуса, показатель кислотности почвы, содержание подвижного фосфора, обменного калия и других элементов питания. Пахотные угодья территории Удмуртской Республики имеют следующие значения показателей плодородия: со-

держание гумуса – 2,2 %; pH_{KCl} – 5,6; подвижный фосфор – 107 мг/кг; обменный калий – 108 мг/кг [Ковриго В. П., 2004].

Дерново-подзолистые почвы характеризуются невысоким естественным плодородием, но в зоне их расположения, как правило, отмечается более благоприятный режим увлажнения, меньшая вероятность засухи и суховеев. Поэтому при внесении необходимых элементов питания на этих почвах можно получать не меньше урожай, чем на чернозёмах [Носатовский А. И., 1950; Макарова В. М., 1995].

Оптимизация агрохимических показателей почвы оказывает большое положительное влияние как на урожайность, так и на качество сельскохозяйственных культур, в частности, зерна яровой пшеницы (таблица 8).

Таблица 8 – Зависимость урожайности и качества зерна яровой пшеницы от агрохимических показателей пахотного горизонта дерново-подзолистых суглинистых почв [Башков А. С., 2000]

Показатель	Возрастающие значения				Коэффициент корреляции с урожайностью
Урожайность, т/га	0,92–1,98	2,01–3,00	3,01–4,00	4,05–4,78	–
Белок, %	13,2	13,1	13,7	13,8	+0,80
pH_{KCl}	5,5	6,0	6,0	6,1	+0,61
P_2O_5, мг/кг	139	187	228	263	+0,98
K_2O, мг/кг	115	151	172	229	+0,93
S, ммоль/100 г	12,6	18,1	18,5	21,4	+0,82
$H_г$, ммоль/100 г	2,6	2,0	2,0	1,8	–0,78
V, %	81	90	90	92	+0,88

Таким образом, в обеспечении устойчивого роста урожайности и качества зерна всё бóльшее значение приобретает приспособленность агроценозов к нерегулируемым условиям среды [Жученко А. А., 1990]. Достигается это применением соответствующих технологий, которые, во-первых, позволяют, в определённой степени, регулировать уровень использования растениями природных факторов; во-вторых, снизить отрицательное влияние неблагоприятных факторов (сорные растения, болезни, вредители, повышенная кислотность почвы и др.) [Исмагилов Р. Р., 1997].

3. ЭФФЕКТИВНОСТЬ СИСТЕМ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ В СЕВООБОРОТЕ

3.1 Влияние систем обработки почвы и внесения удобрений на её агрофизические свойства

Важным фактором повышения продуктивности растений являются оптимальные физические свойства почвы, которые влияют на водный, воздушный, тепловой и питательный режимы почвы, а также на развитие корневой системы. Известно, что правильная обработка почвы изменяет строение пахотного слоя, улучшает её водно-физические и биологические свойства.

3.1.1 Плотность почвы

Проведя многочисленные исследования в Нечернозёмной зоне Российской Федерации, И. С. Кочетов сделал вывод, что при плотности почвы ниже 1,1 и выше 1,3 г/см^3 ухудшаются водно-воздушный, тепловой и питательный режимы, а также условия жизнедеятельности почвенной микрофлоры и, как следствие, накопление в доступной форме элементов питания [Кочетов И. С., 1990]. В результате замедляются рост и развитие растений, снижается урожайность сельскохозяйственных культур.

По данным сотрудников НИИСХ Северо-Востока величина равновесной плотности дерново-подзолистой почвы в период вегетации зерновых культур составляет 1,33–1,37 г/см^3. На основе этого они объясняют получение близких по величине урожаев по отвальной вспашке и поверхностным обработкам, особенно в первые годы после их выполнения [Макаров И. П., 1979].

И. С. Робочев с соавторами указывают, что минимальная обработка почвы допустима при следующих показателях: плотность 1,1–1,2 г/см^3, содержание водопрочных агрегатов размеров свыше 0,25 мм не менее 40 %

[Робочев И. С., 1972]. Поэтому, на чернозёмах можно обходиться без дополнительного рыхления почвы, в то время как на дерново-подзолистых почвах требуется периодическое рыхление пахотного слоя, чтобы создать оптимальную плотность [Мингалев С. К., 1988; Арнт В. А., 1998]. По данным О. А. Скрябиной, на территории Пермского края почвы, подверженные эрозии, составляют 43 % распаханных земель, в основном это дерново-подзолистые с тяжёлым гранулометрическим составом. Ею выявлена тенденция увеличения плотности пахотного слоя склоновых земель, подверженных смыву, до 1,38–1,48 г/см^3. Поэтому минимализацию обработки таких почв, она считает, целесообразно рассматривать как поисковый вариант в системе противоэрозионных мероприятий [Скрябина О. А., 1982].

Изучение приёмов обработки почвы часто даёт различные результаты. Так, исследования, проведённые И. П. Талановым, показали, что использование плоскорезной обработки в Республике Татарстан приводит к уплотнению пахотного слоя почвы на всю его глубину [Таланов И. П., 2003а, 2003б]. В условиях Ярославской области Б. А. Смирнов установил, что по различным системам основной обработки почвы её плотность и режим влажности существенно не изменяются [Смирнов Б. А., 2003]. По данным В. Н. Мосина разноглубинная обработка почвы в севооборотах центрального Предуралья улучшает её физические свойства, повышает влагообеспеченность растений и обеспечивает максимальную продуктивность сельскохозяйственных культур [Мосин В. Н., 1991].

Проведённые нами комплексные исследования эффективности четырёх систем основной обработки почвы на дерново-среднеподзолистой суглинистой почве в 9-польном зернопаротравянопропашном севообороте (схема севооборота представлена в таблице 11) при различной насыщенности органическими и минеральными удобрениями показали, что минеральные удобрения не оказали влияния на агрофизические свойства дерново-подзолистой почвы, что соответствует многочисленным исследованиям, проведённым в других регионах России. Поэтому в работе приведены по-

казатели плотности почвы только в зависимости от систем обработки почвы и применения органических удобрений по её слоям на начало вегетации культур зернопаротравянопропашного севооборота, что представляет бóльший интерес, так как к концу вегетации имеющиеся различия по этому показателю сглаживались.

Эродированные дерново-подзолистые почвы Среднего Предуралья характеризуются высокой плотностью. Кроме того, майские осадки, которые превышали среднемноголетние данные в 2,0–3,5 раза в 4 года выращивания культур севооборота из 8, а также низкое содержание гумуса в почве (2,12–2,20 %) на начало закладки опыта, способствовали более быстрому ухудшению агрофизических свойств дерново-подзолистой почвы. Её плотность в слое 0–30 см в среднем за ротацию севооборота в начале вегетации культур севооборота оказалась достаточно высокой, изменяясь от 1,35 до 1,42 г/см^3, что было выше оптимальной величины (таблица 10).

Таблица 10 – Плотность почвы в начале вегетации культур севооборота в зависимости от систем основной обработки почвы и внесения органических удобрений, г/см^3

Органическое удобрение (А)	Система обработки почвы (В)	Слой почвы, см (С)				Среднее по фактору	
		0–10 (к)	10–20	20–30	0–30	А	В
Без навоза (к)	Отвальная (к)	1,36	1,44	1,46	1,42	1,42	1,40
	Комбинированная	1,35	1,43	1,42	1,40		1,37
	Среднее	1,35	1,43	1,44	—		—
Навоз, 90 т/га	Отвальная (к)	1,33	1,40	1,42	1,38	1,36	
	Комбинированная	1,28	1,38	1,39	1,35		
	Среднее	1,30	1,39	1,40	—		
Среднее по фактору С		1,33	1,41	1,42	—	—	
НСР$_{05}$	частных различий			главных эффектов			
Фактор А	0,06–0,11			0,02–0,06			
Фактор В	0,04–0,08			0,02–0,05			
Фактор С	0,03–0,07			0,01–0,04			

Внесение навоза в паровом поле в дозе 90 т/га (фактор А) создавало более благоприятные условия для роста и развития последующих возделываемых культур. Плотность почвы была ниже на 0,06 г/см^3 в сравнении с вариантом без органических удобрений (1,42 г/см^3; НСР$_{05}$ = 0,02–0,06 г/см^3)

и доказана на 6 культурах севооборота из восьми. По комбинированной обработке почвы (фактор В) плотность почвы была существенно ниже на 0,03 г/см^3, чем по отвальной вспашке (1,40 г/см^3; НСР$_{05}$ = 0,02–0,05 г/см^3) и доказана на 5 культурах севооборота из восьми. Плотность почвы по слоям также отличалась существенно (фактор С). Так, плотность верхнего слоя почвы 0–10 см была оптимальная – 1,33 г/см^3. Нижележащий слой почвы 10–20 см оказался плотнее на 0,08 г/см^3 при НСР$_{05}$ = 0,01–0,04 г/см^3, что доказывалось на 6 культурах севооборота из восьми.

Анализ сочетаний изучаемых технологических приёмов показал, что по комбинированной системе обработки почвы в севообороте с внесением навоза 90 т/га плотность её в слое 0–10 см была наиболее оптимальной – 1,28 г/см^3. В тех же условиях по ежегодной отвальной обработке почва была плотнее на 0,05 г/см^3 (1,33 г/см^3; НСР$_{05}$ = 0,04–0,08 г/см^3).

Таким образом, на дерново-среднеподзолистой суглинистой почве в 9-польном зернопаротравянопропашном севообороте для получения наиболее оптимальной её плотности следует вносить органические удобрения в пару в дозе 90 т/га, запахивать солому, оставшуюся после уборки культур, и применять комбинированную систему обработки почвы.

Плотность почвы на начало вегетации каждой из возделываемых культур в слое 0–30 см по вариантам органических удобрений представлена в таблице 11. Средняя плотность почвы в слое 0–30 см изменялась от оптимальной на картофеле (в среднем 1,07 г/см^3) до высокой на яровой пшенице (1,51 г/см^3), когда в мае выпало осадков к норме 255 %. Выявлено, что внесение органических удобрений в большей степени способствовало снижению плотности почвы в начале ротации севооборота. Так, во втором поле севооборота под посевом озимой ржи плотность почвы снизилась на 0,10 г/см^3 в сравнении с контролем (1,46 г/см^3; НСР$_{05}$ = 0,03 г/см^3). В шестом поле севооборота на клевере II г. п. это снижение составило всего 0,02 г/см^3 в сравнении с контролем (1,46 г/см^3; НСР$_{05}$ = 0,02 г/см^3). В среднем за севооборот внесение органических удобрений также оказалось

эффективным. Плотность почвы в этом варианте была ниже на 0,06 г/см^3 в сравнении с контролем (1,42 г/см^3; НСР$_{05}$ = 0,02–0,06 г/см^3) и доказана на шести первых культурах севооборота из восьми.

Таблица 11 – Влияние органических удобрений на плотность почвы в слое 0–30 см в начале вегетации культур севооборота, г/см^3

Чередование культур севооборота	Органическое удобрение		Откл.	НСР$_{05}$
	без навоза (к)	навоз 90 т/га		
1. Пар чистый	—	—	—	—
2. Озимая рожь	1,46	1,36	-0,10	0,03
3. Картофель	1,13	1,02	-0,11	0,05
4. Яровая пшеница + клевер	1,56	1,47	-0,09	0,05
5. Клевер I г. п.	1,49	1,45	-0,04	0,04
6. Клевер II г. п.	1,46	1,44	-0,02	0,02
7. Озимая рожь	1,41	1,33	-0,08	0,06
8. Ячмень	1,42	1,39	-0,03	0,05
9. Овёс	1,38	1,38	0	0,05
Среднее	1,42	1,36	—	—

Таким образом, внесение органических удобрений в паровом поле 9-польного зернопаротравянопропашного севооборота улучшало агрофизические свойства дерново-подзолистой суглинистой почвы в течение 6 лет. Только в посевах последних двух культур севооборота плотность почвы в вариантах с органическими удобрениями не отличалась.

В наших исследованиях были оценены четыре системы обработки почвы. Каждая из систем обработки почвы состояла из лущения жнивья (БДТ-3) на глубину до 8 см и следующей основной обработки почвы.

1. Отвальная – вспашка (ПЛН-3-35) на глубину 20-22 см (контроль).

2. Отвально-чизельная – вспашка (ПЛН-3-35) на глубину 20-22 см под озимую рожь в обоих полях севооборота, чизельное рыхление (ПЧ-4,5) на глубину 16-18 см под картофель, яровую пшеницу, ячмень, овёс.

3). Безотвальная – плоскорезная обработка (КПГ-2-150) на глубину 16–18 см под озимую рожь во втором поле севооборота, чизельное рыхление (ПЧ-4,5) на глубину 16–18 см под озимую рожь в седьмом поле, картофель, яровую пшеницу, ячмень, овёс.

4. Комбинированная – разноглубинная обработка почвы, сочетающая плоскорезную обработку (КПГ-2-150) на глубину 16–18 см под озимую рожь во втором поле севооборота, чизельное рыхление (ПЧ-4,5) на глубину 26–28 см под картофель, чизельное рыхление (ПЧ-4,5) на глубину 16–18 см под яровую пшеницу и ячмень, вспашка (ПЛН-3-35) на глубину 20–22 см дернины клевера II г. п. под озимую рожь в седьмом поле.

При всех системах основной обработки почвы проводилась общепринятая её предпосевная подготовка: ранневесеннее боронование БЗСС-1,0; культивация (КПС-4,0); вторая предпосевная обработка комбинированным агрегатом (РВК-3,6).

Плотность почвы в зависимости от систем её основной обработки представлена в таблице 12.

Таблица 12 – Влияние систем основной обработки на плотность почвы в слое 0–30 см в начале вегетации культур севооборота, г/см^3

Культура	Система обработки почвы		Откл.	$НСР_{05}$
	Отвальная (к)	Комбинированная		
1. Пар чистый	—	—	—	—
2. Озимая рожь	1,44	1,40	-0,04	0,02
3. Картофель	1,08	1,08	0	0,04
4. Яровая пшеница + клевер	1,55	1,47	-0,08	0,03
5. Клевер I г. п.	1,52	1,43	-0,09	0,05
6. Клевер II г. п.	1,46	1,44	-0,02	0,02
7. Озимая рожь	1,36	1,34	-0,02	0,02
8. Ячмень	1,41	1,40	-0,01	0,02
9. Овёс	1,38	1,38	0	0,02
Среднее	1,40	1,37	—	—

Проведение комбинированной обработки почвы в севообороте способствовало меньшему её уплотнению, чем ежегодная отвальная вспашка. Наименьшая достоверная разница плотности почвы по комбинированной обработке была в посевах клевера II г. п., озимой ржи (седьмое поле). Наибольшее снижение плотности почвы в сравнении с ежегодной отвальной обработкой получено в посевах озимой ржи (второе поле) – 0,04 г/см^3 ($НСР_{05}$ = 0,02 г/см^3), в посевах яровой пшеницы с подсевом клевера – 0,08 г/см^3 ($НСР_{05}$ = 0,04 г/см^3), тогда в мае осадков выпало в 2,5 раза боль-

ше нормы и на клевере I г. п. – 0,09 г/см^3 (НСР$_{05}$ = 0,05 г/см^3). В конце ротации севооборота плотность почвы по комбинированной обработке была на уровне контрольного варианта, соответственно 1,40 и 1,41 г/см^3 в посевах ячменя (НСР$_{05}$ = 0,02 г/см^3) и 1,38 г/см^3 в посевах овса (НСР$_{05}$ = 0,02 г/см^3).

Таким образом, проведение комбинированной обработки почвы в 9-польном зернопаротравянопропашном севообороте способствовало оптимизации плотности дерново-среднеподзолистой среднесмытой почвы в сравнении с ежегодной отвальной вспашкой. Снижение плотности почвы доказано на 5 культурах севооборота из восьми. Действие комбинированной разноглубинной обработки почвы было наиболее эффективным при внесении органических удобрений в паровом поле севооборота в дозе 90 т/га.

3.1.2 Запас продуктивной влаги

Основную обработку почвы часто связывают с возможностью регулирования водного режима в корнеобитаемом её слое [Мингалев С. К., 2001]. Результаты исследований А. К. Киреева и В. Н. Евминова свидетельствуют, что под влиянием приёмов обработки почвы меняется содержание продуктивной влаги, увеличивается водопроницаемость и влагоёмкость [Киреев А. К., 1981; Евминов В. Н., 1984]. Многие исследователи отмечают положительное влияние плоскорезной обработки почвы на рост влагозапасов почвы, особенно при осенней или весенней засухе [Корчагин В. А., 1980; Таланов И. П., 2003а]. Например, по данным И. П. Таланова, приёмы плоскорезной обработки почвы имеют преимущество в накоплении и сохранении влаги перед вспашкой и безотвальным рыхлением, что создаёт более благоприятные условия для прорастания семян и роста в начальный период развития [Таланов И. П., 2003а]. Многие авторы отмечают положительную роль плоскорезной обработки зяби в накоплении влаги, особенно осенью и ранней весной [Данилов Г. Г., 1978; Макаров И. П.,

1984, 1985; Мерзлякова Т. П., 1985, 1986]. Кроме того, на обработанной плоскорезом зяби влага более экономно расходуется в период вегетации растений [Чернышев В. А., 1963; Сурмач Г. П., 1976]. Но наблюдения, проведённые в Республике Татарстан [Пыхтин И. Г., 2000; Долотин И. И., 2001], показывают, что в принципе различные способы обработки почвы существенно не влияют на количество продуктивной влаги в пахотном слое почвы во время вегетации растений. Таким образом, по вопросу накопления, сохранения и использования влаги в почве при различных способах её обработки осенью имеются противоречивые данные.

Органические удобрения тоже оказывают влияние на накопление влаги в почве. Так, А. А. Платунов считает, что на лёгких по гранулометрическому составу почвах органические удобрения, повышая влагоёмкость и снижая водопроницаемость, способствуют бóльшему накоплению влаги в корнеобитаемом слое [Платунов А. А., 2003].

Проведённые нами комплексные исследования эффективности систем основной обработки почвы и внесения удобрений выявили наиболее существенные изменения в накоплении, сохранении и расходовании запасов продуктивной влаги в почве по изучаемым вариантам в конце вегетации культур 9-польного зернопаротравянопропашного севооборота. Майские осадки, которые превышали средние многолетние данные в 2,0–3,5 раза в четыре года из восьми, сгладили различия по запасу продуктивной влаги в изучаемых вариантах в начале вегетации возделываемых культур. За ротацию севооборота наиболее существенные различия по изучаемым вариантам отмечены в слоях почвы 0–30 и 0–50 см, а в слое почвы 0–70 см имеющиеся различия сглаживались. Запас продуктивной влаги в слое почвы 0–70 см в конце вегетации возделываемых культур в среднем за ротацию севооборота был достаточным для формирования высокой их урожайности (69,4–73,3 мм).

Выполненные расчёты показали, что в годы с нормальным увлажнением во втором поле с озимая рожью, под картофелем, клевером I г. п., в

седьмом поле под озимой рожью на накопление продуктивной влаги в почве в начале вегетации культур большое влияние оказало внесение навоза в чистом пару (первое поле). В среднем за эти 4 года в варианте с навозом запас продуктивной влаги в слое почвы 0–20 см был выше на 10,8 % по сравнению с вариантом без навоза. В слое 0–30 см разница уменьшилась на 2 %, но оставалась существенной и значимой для роста и развития культур. В слое почвы 0–50 см преимущество в накоплении запаса продуктивной влаги варианта с навозом составляло всего 3,5 %. Следовательно, наибольшее влияние навоз оказал на изменение запаса продуктивной влаги в слое его заделки, в котором, как правило, располагается основная масса корней растений.

Влияние комбинированной обработки почвы на изменение в ней запаса продуктивной влаги по сравнению с отвальным способом обработки было менее существенным, чем от органических удобрений. В среднем по годам увеличение данного показателя от комбинированной обработки почвы составило в слое 0–20 см – 5,1 %, что в 2 раза меньше, чем от навоза. В слое 0–30 см прибавка продуктивной влаги от обработки почвы была ниже в 4 раза по сравнению с эффективностью органики. Увеличение продуктивной влаги в слое почвы 0–50 см от обработки почвы практически не отмечено.

Анализ сочетаний изучаемых технологических приёмов показал наиболее существенное преимущество комбинированной обработки почвы по запасу продуктивной влаги в слое 0–50 см в варианте без органических удобрений на 6,3 мм в сравнении с отвальной вспашкой (50,6 мм; $НСР_{05}$ = 2,2–11,1 мм). В других слоях почвы, как без внесения, так и с органическими удобрениями, эти различия сглаживались.

Таким образом, комбинированная система основной обработка почвы в севообороте при внесении органических удобрений, обеспечивая самую высокую продуктивность возделываемых культур (3,84–3,90 т з. ед./га), сохраняла больше продуктивной влаги в слое почвы 0–50 см – 58,0 мм, чем

отвальная вспашка (соответственно 3,52–3,65 т з. ед./га и 56,3 мм). Следовательно, по комбинированной обработке почвы культуры более экономно и эффективно расходовали влагозапасы почвы, чем по отвальной, в связи с улучшением её агрофизических свойств, в частности, плотности почвы и водопрочности структурных агрегатов.

Запас продуктивной влаги в почве по культурам зернопаротравяно-пропашного севооборота в конце их вегетации в зависимости от органических удобрений представлен в таблице 13.

Таблица 13 – Влияние органических удобрений на запас продуктивной влаги в слое почвы 0–50 см по культурам севооборота в конце их вегетации, мм

Культура	Органическое удобрение			Среднее	$НСР_{05}$
	без навоза (к)	навоз 90 т/га	откл.		
1. Пар чистый	—	—	—	—	—
2. Озимая рожь	83,9	88,5	+4,6	86,2	6,0
3. Картофель	29,1	23,6	–5,5	26,4	4,8
4. Яровая пшеница + клевер	54,8	60,9	+6,1	57,8	6,3
5. Клевер I г. п.	56,7	56,5	–0,02	56,6	11,1
6. Клевер II г. п.	46,0	50,1	+4,1	48,0	1,7
7. Озимая рожь	90,1	105,1	+15,0	97,6	6,1
8. Ячмень	60,2	61,9	+1,7	61,0	2,3
9. Овёс	14,4	16,2	+1,8	15,3	2,5

Запас продуктивной влаги в почве изменялся в зависимости от возделываемой культуры, количества выпавших осадков в период их вегетации. Минимальный запас продуктивной влаги в почве в слое 0–50 см отмечен на овсе – 15,3 мм и на картофеле – 26,4 мм. Это годы, когда в период вегетации этих культур количество выпавших осадков составило всего по 248 мм. Наибольший запас продуктивной влаги в почве отмечен на озимой ржи в обоих полях севооборота – 86,2 и 97,6 мм. Количество выпавших осадков с апреля по июль в эти годы составило 362 и 523 мм.

Внесение органических удобрений в севообороте не оказало существенного влияния на запас продуктивной влаги в почве в конце вегетации культур, кроме клевера II г. п. и озимой ржи (седьмое поле севооборота), но способствовало более экономному её расходованию.

Баланс влаги в почве складывается из суммарного поступления в неё воды и её расхода. Источником поступления воды в почву являются атмосферные осадки и конденсация водяных паров. В расходной части баланса почвенной воды отмечают транспирацию её растениями и испарение с поверхности почвы. В регулировании непроизводительного расхода воды важную роль играет правильная система обработки почвы. Запас продуктивной влаги в почве по изучаемым системам обработки представлен в таблице 14.

Таблица 14 – Влияние систем основной обработки почвы на запас продуктивной влаги в слое почвы 0–50 см по культурам севооборота в конце их вегетации, мм

Культура	Система обработки почвы		Откл.	$НСР_{05}$
	Отвальная (к)	Комбинированная		
1. Пар чистый	—	—	—	—
2. Озимая рожь	82,3	90,1	+7,8	3,7
3. Картофель	19,2	33,4	+14,2	4,4
4. Яровая пшеница + клевер	54,8	60,9	+6,1	3,1
5. Клевер I г. п.	57,9	55,4	–2,5	9,5
6. Клевер II г. п.	48,0	48,1	+0,1	1,6
7. Озимая рожь	93,8	101,4	+7,6	3,8
8. Ячмень	56,8	65,3	+8,5	4,0
9. Овёс	14,4	16,2	+1,8	1,2

Комбинированная обработка почвы в севообороте увеличила запас продуктивной влаги в конце вегетации озимой ржи (второе поле севооборота) на 7,8 мм в сравнении с отвальной (82,3 мм; $НСР_{05}$ = 3,7 мм), картофеля – на 14,2 мм (19,2 мм; $НСР_{05}$ = 4,4 мм), яровой пшеницы с подсевом клевера – на 6,1 мм (54,8 мм; $НСР_{05}$ = 3,1 мм), озимой ржи (седьмое поле) – на 7,6 мм (93,8 мм; $НСР_{05}$ = 3,8 мм), ячменя – на 8,5 мм (56,8 мм; $НСР_{05}$ = 4,0 мм), овса – на 1,8 мм (14,4; $НСР_{05}$ = 1,2 мм); преимущество доказано на 6 культурах севооборота из восьми. Отсутствие обработки почвы на многолетних травах привело к выравниванию плотности нижних её слоёв и как следствие к ликвидации различий по запасу продуктивной влаги.

Таким образом, комбинированная система основной обработки почвы в зернопаротравянопропашном севообороте улучшила и водный режим, и плотность дерново-среднеподзолистой суглинистой почвы в сравнении с

отвальной вспашкой, обеспечив формирование бóльшей продуктивности возделываемых культур. Внесение органических удобрений один раз за севооборот в паровом поле в дозе 90 т/га способствовало улучшению плотности почвы. Органические удобрения улучшили водный режим почвы в начале вегетационного периода культур в годы с нормальным увлажнением и способствовали более экономному и более эффективному расходованию влагозапасов в почве, особенно по комбинированной обработке. Между урожайностью и запасом продуктивной влаги установлена сильная прямая корреляционная зависимость (r = 0,89). Следует обратить внимание, что урожайность культур в большей степени определяет запас продуктивной влаги в начальный период вегетации, чем в её конце.

3.1.3 Водопрочность структурных агрегатов почвы

Благоприятный водно-физический режим в почве создаётся благодаря наличию макро- и микроструктуры. Интенсивная обработка почвы приводит к повышенному разрушению структуры, чрезмерному уплотнению почвы [Панников В. Д., 1984]. При систематической отвальной вспашке пахотный горизонт таких почв распылён и представляет собой бесструктурную массу. О качестве структуры почвы судят по её водопрочности. Безотвальные приёмы обработки почвы способствуют повышению водопрочности структуры верхнего слоя почвы. Результаты исследований Б. П. Мальцева и И. А. Шениной на дерново-подзолистой почве Кировской области показали увеличение содержания водопрочных агрегатов по безотвальной обработке [Мальцев Б. П., 1977]. Подобные результаты улучшения структурного состояния почвы получены В. М. Холзаковым в Удмуртской Республике [Холзаков В. М., 2004]. Иные результаты исследований приведены К. И. Сараниным [Саранин К. И., 1982] и С. С. Сдобниковым [Сдобников С. С., 1984].

Для выявления влияния разных систем обработки почвы на её структуру в наших исследованиях был проведён учёт и анализ водопрочности структурных агрегатов почвы размером 0,25–10 мм (агрономически ценная фракция). Перед закладкой опыта, перед освоением севооборота водопрочность почвенных агрегатов составила 41,8–46,4 %. По данным А. Ф. Вадюниной и З. А. Корчагиной, если сумма водопрочных агрегатов составляет 40–60 %, то водопрочность такой почвы считается хорошей, менее 30 % – удовлетворительной, более 75 % – избыточно высокой [Вадюнина А. Ф., 1986]. К концу ротации севооборота водопрочность агрегатов увеличилась по всем изучаемым факторам в сравнении с его началом. Данный показатель в конце ротации севооборота в зависимости от органических удобрений и систем обработки почвы по слоям почвы представлен в таблице 15.

Таблица 15 – Водопрочность агрономически ценных агрегатов почвы по её слоям в конце ротации севооборота в зависимости от систем основной обработки почвы и внесения органических удобрений, %

Органическое удобрение (А)	Система обработки почвы (В)	Слой почвы, см (С)			Среднее по фактору	
		0–10 (к)	10–20	0–20	А	В
Без навоза (к)	Отвальная (к)	52,8	49,8	51,3	52,4	53,5
	Отвально-чизельная	55,4	47,6	51,5		55,8
	Безотвальная	51,6	45,5	48,6		54,0
	Комбинированная	60,0	56,8	58,4		59,0
	Среднее	55,0	49,9	—		—
Навоз, 90 т/га	Отвальная (к)	54,8	56,6	55,7	59,0	
	Отвально-чизельная	61,0	60,2	60,1		
	Безотвальная	66,2	52,6	59,4		
	Комбинированная	66,0	55,2	60,6		
	Среднее	62,0	56,2	—		
Среднее по фактору С		58,5	53,0	—	—	

$НСР_{05}$	частных различий	главных эффектов
Фактор А	26,5	4,1
Фактор В	10,8	3,0
Фактор С	13,7	4,8

Внесение навоза за ротацию севооборота в дозе 90 т/га (фактор А) создавало более благоприятные условия для структурообразования по всем изучаемым системам обработки почвы. Водопрочность агрегатов увеличилась в среднем на 6,6 % в сравнении с контрольным вариантом (52,4 %;

$НСР_{05}$ = 4,1 %). При комбинированной системе основной обработки почвы в севообороте (фактор В) этот показатель увеличился на 5,5 % в сравнении с отвальной вспашкой (53,5 %; $НСР_{05}$ = 3,0 %). Другие системы обработки почвы обеспечили водопрочность агрегатов на уровне контрольного варианта. Водопрочность агрегатов в верхнем слое почвы 0–10 см (фактор С) оказалась существенно выше на 5,5 %, чем в нижележащем 10–20 см (53,0 %; $НСР_{05}$ = 4,8 %).

Анализ взаимодействия изучаемых технологических приёмов показал, что при внесении навоза комбинированная система обработки почвы в севообороте обеспечивает наибольшую устойчивость агрегатов к разрушающему действию воды в слое почвы 0–10 см – 66,0 %. В тех же условиях по отвальной вспашке она была ниже на 11,2 % при $НСР_{05}$ = 10,8 %. В нижележащем 10–20 см слое почвы водопрочность агрегатов по этим обработкам не отличалась – 55,2 и 56,6 % при $НСР_{05}$ = 10,8 %. Аналогичная тенденция в варианте с внесением навоза прослеживается и по безотвальной системе обработки почвы.

Таким образом, комбинированная система основной обработки почвы в зернопаротравянопропашном севообороте способствует повышению водопрочности агрономически ценных агрегатов почвы (0,25–10 мм) в пахотном её слое при внесении органических удобрений в пару в дозе 90 т/га и соломы озимой ржи за счёт оструктуривания в большей степени верхней 0–10 см его части. Увеличение водопрочности структурных агрегатов произошло за счёт улучшения физических свойств почвы по всем изучаемым вариантам в сравнении с контрольными, водного режима почвы по комбинированной обработке в сравнении с отвальной вспашкой.

3.2 Влияние систем основной обработки почвы и внесения удобрений на её агрохимические свойства и биологическую активность

Влияние приёмов основной обработки почвы на её агрохимические показатели были изучены многими исследователями. Но мнения различ-

ных авторов отличаются: одни считают, что многократные, глубокие отвальные обработки за счёт вовлечения элювиального и аллювиального горизонтов, приводят к ухудшению физико-химических свойств почвы, возрастанию её кислотности, уменьшению суммы поглощённых оснований [Мосин В. Н., 1988; Бениддовский А. А., 1990].

Результаты, полученные в Пензенском научно-исследовательском институте сельского хозяйства [Немцев Н. С., 1993], свидетельствуют о том, что при замене вспашки безотвальной обработкой под все культуры и минимальной под яровые зерновые, увеличилось накопление органического вещества на 8 т/га сухого вещества, гумуса на 0,1–0,2 %, гидролизуемого азота на 0,2 %, фосфора и калия соответственно на 3,0–4,9 и 2,5–3,9 мг/100 г почвы. Благотворное влияние безотвальных обработок при оптимальном уровне питания и плодородия почвы на азотный и фосфорно-калийный режимы питания, а также урожайность, не уступающую вариантам со вспашкой, отмечали В. В. Судаков с авторами [Судаков В. В., 1989].

Многие авторы указывают на снижение содержания нитратов при плоскорезной обработке на чернозёмах, особенно в первой половине вегетации, в результате более позднего поспевания и медленного прогревания почвы [Кузина В. П., 1976; Иванов П. К., 1976; Мухортов Я. Н., 1984; Чуданов И. А., 1976, 1980]. Снижение нитратов могло быть вызвано также активным использованием его почвенными микроорганизмами [Мишустин Е. Н., 1972; Кашинская В. К., 1983].

В результате применения безотвальной обработки проявляется выраженная дифференциация пахотного слоя по уровню плодородия. Так, в слое почвы 0–15 см содержание щелочногидролизуемого азота по отвальной обработке составило 78 мг, по плоскорезной – 83 мг, подвижного фосфора соответственно 176 и 200 мг, обменного калия – 88 и 92 мг/кг почвы. Внесённые удобрения при плоскорезном рыхлении в основном аккумулируются в верхнем (0–15 см) слое почвы, а в нижний слой (15–30 см) проникают в значительно меньших количествах. При вспашке распределение

внесённых удобрений в почве происходит более равномерно. Следовательно, длительное использование безотвальной обработки почвы, как основной, вызывает дифференциацию верхней и нижней частей пахотного слоя по плодородию в пользу верхней, что ухудшает питание растений из-за быстрого пересыхания этого слоя в перерывах между осадками [Таланов И. П., 2003б].

В Удмуртской Республике изучением дифференциации пахотного слоя дерново-подзолистых почв занимался В. М. Холзаков. По его данным наиболее плодородными свойствами обладает слой почвы 0–10 см. Внесение минеральных удобрений при безотвальной обработке снизило микробиологическую активность и в итоге проявился консервирующий эффект по отношению к органическому веществу почвы. Это подтвердилось и данными агрохимического анализа почвы по слоям. При этом он считает, что проведение глубоких обработок 1 раз в 4 года при наличии дифференциации пахотного слоя с верхним расположением более плодородного слоя не приводит к снижению урожая по сравнению с ежегодной вспашкой [Холзаков В. М., 2004].

Всё это даёт основание для проведения разноглубинной обработки в севообороте, возможности сочетания поверхностного рыхления, безотвальных и отвальных обработок. На светло-серых лесных почвах Нижегородской области экономически наиболее выгодной оказалась разноглубинная основная обработка с чередованием глубины от 8–10 до 28–30 см, с разрывами между минимальными и глубокими обработками не более 2–3 лет [Нарциссов В. П., 1980]. На высокую эффективность плужно-поверхностных обработок указывали авторы, проводившие исследования в Нечерноземной зоне России [Наумов С. А., 1982; Сдобников С. С., 1983; Салова Т. М., 1984]. В Республике Татарстан лучшие результаты получены при чередовании плоскорезной обработки со вспашкой [Ахметсагиров К. С., 1981; Аверьянов Г. Д., 1984].

В Нечернозёмной зоне установлено варьирование эффективного плодородия разных частей пахотного слоя в течение вегетационного периода, сохранение различий по плодородию верхней и нижней частей пахотного слоя и общего уровня плодородия при активном перемешивании обеих частей [Пестряков В. К., 1984; Беденчук Н. Ф., 1984; Пупонин А. И., 1984].

Чередование вспашки и безотвального рыхления улучшает условия питания растений. В этом плане безотвальная обработка в течение 3 лет с последующей вспашкой обеспечивает более благоприятное сложение пахотного слоя за счёт перемещения верхней более плодородной его части вниз, где, как правило, в течение вегетационного периода имеется доступная влага для формирования урожая [Ахметсагиров К. С., 1981].

В результате длительного применения минеральных удобрений повышается содержание в почве подвижных форм минеральных элементов – азота, фосфора, калия. Однако, одновременно с этим, они оказывают отрицательное действие на некоторые агрохимические свойства почв – увеличивается их гидролитическая кислотность, уменьшается сумма поглощённых оснований и степень насыщенности поглощающего комплекса почвы, снижается содержание обменного кальция и магния, возрастает количество подвижного алюминия [Минеев В. Г., 1990; Igonin M. I., 1995].

3.2.1 Содержание элементов питания в почве

Формирование урожая сельскохозяйственных культур невозможно без обеспечения потребностей растений в элементах минерального питания, главным источником которых выступает почва. Содержание доступных форм элементов питания в почве зависит от предшественника, доз внесённых удобрений, приёмов основной обработки почвы и др.

Перед первой ротацией изучаемого севооборота содержание подвижного фосфора в пахотном слое почвы составляло 220–225 мг/кг. За

вторую ротацию 9-польного зернопаротравянопропашного севооборота, где дважды вносилась солома озимой ржи, уровень эффективного плодородия дерново-среднеподзолистой суглинистой почвы повысился по всем изучаемым вариантам. В таблице 16 представлены данные содержания подвижного фосфора на конец первой и второй ротации севооборота.

Таблица 16 – Содержание подвижного фосфора (P_2O_5 по Кирсанову) в пахотном слое почвы на конец первой и второй ротаций севооборота, мг/кг

Органическое удобрение (А)	Система обработки почвы (В)	Минеральные удобрения (С)	Конец первой ротации	Конец второй ротации
Без навоза (к)	Отвальная (к)	$(NPK)_0$ (к)	209	235
		$(NPK)_{30}$	228	260
	Безотвальная	$(NPK)_0$ (к)	200	229
		$(NPK)_{30}$	214	240
	Комбинированная	$(NPK)_0$ (к)	200	249
		$(NPK)_{30}$	214	265
Среднее по минеральным удобрениям		$(NPK)_0$ (к)	203	238
		$(NPK)_{30}$	219	255
Среднее			211	246
Навоз, 90 т/га	Отвальная (к)	$(NPK)_0$ (к)	300	405
		$(NPK)_{30}$	310	425
	Безотвальная	$(NPK)_0$ (к)	291	428
		$(NPK)_{30}$	295	459
	Комбинированная	$(NPK)_0$ (к)	291	440
		$(NPK)_{30}$	295	451
Среднее по минеральным удобрениям (С)		$(NPK)_0$ (к)	294	424
		$(NPK)_{30}$	300	445
Среднее			297	434

За счёт севооборота содержание подвижного фосфора в пахотном слое почвы увеличилось на 16,6 %. Совместное внесение навоза в пару в дозе 90 т/га и соломы озимой ржи в двух полях увеличило содержание подвижного фосфора в почве на 46,1 %. За ротацию севооборота в варианте без навоза содержание подвижного фосфора увеличилось на 13,8 % по ежегодной отвальной вспашке, по безотвальной – на 13,2 %, по комбинированной обработке – на 24,1 %. При внесении органических удобрений – соответственно на 36,0; 51,4 и 52,0 %. То есть, проведение безотвальной и комбинированной обработки почвы в севообороте способствовало боль-

шему накоплению подвижного фосфора в почве, чем отвальная обработка, особенно при внесении органических удобрений.

Содержание подвижного фосфора в варианте без минеральных удобрений увеличилось на 16,4–17,2 % и на 44,2–48,3 % в варианте с внесением минеральных удобрений. Выявлено, что комбинированная обработка почвы в севообороте с внесением навоза и минеральных удобрений увеличила содержание подвижного фосфора на 52,9 %, в тех же условиях ежегодная отвальная обработка – на 37,1 %.

Проведённые нами комплексные исследования эффективности систем основной обработки почвы при различной насыщенности органическими и минеральными удобрениями в 9-польном зернопаротравянопропашном севообороте показали, что среднегодовое содержание подвижного фосфора в пахотном слое почвы составило 226–412 мг/кг почвы (таблица 17).

Таблица 17 – Содержание подвижного фосфора (P_2O_5 по Кирсанову) в пахотном слое почвы в зависимости от систем основной обработки почвы, внесения органических и минеральных удобрений, мг/кг (среднее за вторую ротацию севооборота)

Органическое удобрение (А)	Система обработки почвы (В)	Минеральные удобрения (С)			Среднее по фактору	
		$(NPK)_0$ (к)	$(NPK)_{30}$	Среднее	А	В
Без навоза (к)	Отвальная (к)	233	260	246	247	320
	Безотвальная	226	268	247		321
	Комбинированная	232	266	249		326
	Среднее	230	265	—		—
Навоз, 90 т/га	Отвальная (к)	390	399	394	398	
	Безотвальная	390	401	395		
	Комбинированная	397	412	404		
	Среднее	392	404	—		
Среднее по фактору С		311	334	—	—	

$НСР_{05}$	частных различий	главных эффектов
Фактор А	20,8	18,8
Фактор В	11,2	6,0
Фактор С	9,3	3,8

Внесение навоза один раз за ротацию севооборота в паровом поле в дозе 90 т/га (фактор А) способствовало созданию более благоприятных свойств почвы: снизилась плотность почвы, улучшилась водопрочность структурных агрегатов почвы, повысилась биологическая активность поч-

вы. Всё это способствовало более экономному расходованию продуктивной влаги и улучшению питательного режима почвы. Поэтому среднегодовое содержание подвижного фосфора с внесением органических удобрений было выше на 151 мг/кг почвы в сравнении с вариантом без навоза (247 мг/кг; $НСР_{05}$ = 18,8 мг/кг). По комбинированной обработке почвы в севообороте (фактор В) среднегодовое содержание подвижного фосфора было достоверно выше на 6 мг/кг, чем по вспашке (320 мг/кг; $НСР_{05}$ = 6,0 мг/кг). Безотвальная обработка почвы в севообороте обеспечила содержание подвижного фосфора на уровне контрольного варианта. От внесения минеральных удобрений (фактор С) среднегодовое содержание подвижного фосфора в почве увеличилось на 23 мг/кг в сравнении с контролем (311 мг/кг; $НСР_{05}$ = 3,8 мг/кг).

Анализ взаимодействия изучаемых технологических приёмов показал, что максимальное среднегодовое содержание подвижного фосфора обеспечила комбинированная система обработки почвы в севообороте при внесении органических и минеральных удобрений – 412 мг/кг почвы.

Отмечено наличие дифференциации пахотного слоя почвы с верхним расположением более плодородного слоя по содержанию подвижного фосфора – на 24 мг/кг в сравнении с нижележащим (333 мг/кг; $НСР_{05}$ = 4,1 мг/кг). В большей степени это проявилось в варианте с внесением навоза: по комбинированной обработке почвы – на 36–65 мг/кг, по безотвальной обработке – на 26–37 мг/кг при $НСР_{05}$ = 14,2 мг/кг. По отвальной вспашке таких закономерностей не выявлено. Комбинированная обработка почвы при внесении органических и минеральных удобрений обеспечила наибольшее содержание подвижного фосфора в пахотном слое почвы – 460 мг/кг почвы, по отвальной вспашке в тех же условиях его содержалось меньше на 33 мг/кг при $НСР_{05}$ = 22,8 мг/кг.

Таким образом, к концу второй ротации 9-польного зернопаротравянопропашного севооборота, где дважды вносили солому озимой ржи, содержание подвижного фосфора было выше по всем изучаемым вариантам в срав-

нении с контрольными. Комбинированная обработка почвы в севообороте при внесении органических и минеральных удобрений улучшила агрофизические свойства дерново-подзолистой среднесмытой почвы (плотность, водопрочность структурных агрегатов), способствовала более экономному и эффективному расходованию запасов продуктивной влаги, снизила биологическую активность почвы, проявив консервирующий эффект, и при наличии дифференциации пахотного слоя почвы с верхним расположением более плодородного слоя по содержанию подвижного фосфора, обеспечила наибольшую продуктивность культур севооборота, сохранив максимальное содержание подвижного фосфора в пахотном слое почвы в сравнении с ежегодной отвальной вспашкой. Установлено, что даже при высокой обеспеченности почвы подвижным фосфором между урожайностью и наличием в почве P_2O_5 имеется сильная прямая зависимость. Коэффициент корреляции между урожайностью культур севооборота и средним содержанием подвижного фосфора в пахотном слое почвы составил r = 0,90. Аналогичная зависимость урожайности от содержания P_2O_5 в слое 0–20 см сохранилась на конец ротации, r = 0,86. Причём урожайность культур в одинаковой степени зависела от содержания подвижного фосфора в слое 0–10 и 10–20 см, соответственно r = 0,89 и r = 0,83.

Не менее важна для получения высоких урожаев сельскохозяйственных культур и хорошая обеспеченность почвы обменным калием, особенно в годы с неблагоприятными погодными условиями. В таблице 18 представлены данные по содержанию обменного калия почвы перед началом и в конце второй ротации севооборота.

Его содержание к концу второй ротации зернопаротравянопропашного севооборота также увеличилось по всем изучаемым вариантам в сравнении с концом первой ротации севооборота, как и подвижного фосфора. За счёт севооборота, где дважды вносилась солома озимой ржи, содержание обменного калия в пахотном слое почвы увеличилось на 36,7 %. Совместное внесение навоза в пару в дозе 90 т/га и соломы озимой ржи в

двух полях увеличило содержание обменного калия в почве на 42,8 %. За ротацию севооборота по ежегодной отвальной вспашке содержание подвижного калия увеличилось в среднем на 50,0 %, по безотвальной обработке – на 34,0 %, по комбинированной обработке – на 38,8 %. То есть, безотвальная и комбинированная обработки почвы в севообороте способствовали меньшему накоплению обменного калия в почве, чем отвальная. Мы полагаем, что калий, являясь наиболее подвижным элементом питания, в большей степени тратился на формирование урожайности культур севооборота и в меньшей степени сохранялся в почве.

Таблица 18 – Содержание обменного калия (K_2O по Кирсанову) в пахотном слое почвы в конце первой и второй ротации севооборота, мг/кг

Органическое удобрение (А)	Система обработки почвы (В)	Минеральные удобрения (С)	Конец первой ротации	Конец второй ротации
Без навоза (к)	Отвальная (к)	$(NPK)_0$ (к)	113	153
		$(NPK)_{30}$	119	162
	Безотвальная	$(NPK)_0$ (к)	112	147
		$(NPK)_{30}$	131	173
	Комбинированная	$(NPK)_0$ (к)	112	164
		$(NPK)_{30}$	131	184
Среднее по минеральным удобрениям		$(NPK)_0$ (к)	112	155
		$(NPK)_{30}$	127	173
Среднее			120	164
Навоз, 90 т/га	Отвальная (к)	$(NPK)_0$ (к)	112	182
		$(NPK)_{30}$	123	204
	Безотвальная	$(NPK)_0$ (к)	144	188
		$(NPK)_{30}$	158	222
	Комбинированная	$(NPK)_0$ (к)	144	191
		$(NPK)_{30}$	158	213
Среднее по минеральным удобрениям		$(NPK)_0$ (к)	133	187
		$(NPK)_{30}$	146	213
Среднее			140	200

Минеральные удобрения (фактор С) также способствовали увеличению содержания обменного калия на 36,2–45,9 %. В варианте без применения минеральных удобрений содержание K_2O в почве к концу второй ротации севооборота по фону без навоза увеличилось на 38,4 %, при его внесении разница с исходным уровнем составила 40,6 %. По-видимому, на

данный показатель оказала положительное влияние солома, оставленная в двух полях севооборота.

Выявлено, что комбинированная обработка почвы в севообороте с внесением органических и минеральных удобрений увеличила в почве содержание обменного калия на 34,8 %, безотвальная – на 40,5 %. В тех же условиях ежегодная отвальная обработка – на 65,8 %. Вероятно, это явилось следствием формирования большей урожайности возделываемых культур по комбинированной обработке.

Среднегодовое содержание обменного калия в пахотном слое почвы в зависимости от систем основной обработки почвы при различной насыщенности органическими и минеральными удобрениями составило 117–185 мг/кг почвы (таблица 19).

Таблица 19 – Содержание обменного калия в пахотном слое почвы в зависимости от систем основной обработки почвы, внесения органических и минеральных удобрений, мг/кг (среднее за вторую ротацию севооборота)

Органическое удобрение (А)	Система обработки почвы (В)	Минеральные удобрения (С)			Среднее по фактору	
		$(NPK)_0$ (к)	$(NPK)_{30}$	Среднее	А	В
Без навоза (к)	Отвальная (к)	116	136	126	128	143
	Безотвальная	121	135	128		150
	Комбинированная	117	143	130		154
	Среднее	118	138	—		—
Навоз, 90 т/га	Отвальная (к)	149	172	160	170	
	Безотвальная	163	183	173		
	Комбинированная	169	185	177		
	Среднее	160	180	—		
Среднее по фактору С		139	159	—	—	

$НСР_{05}$	частных различий	главных эффектов
Фактор А	11,8	9,0
Фактор В	8,1	4,1
Фактор С	8,0	3,3

Внесение навоза один раз за ротацию севооборота в паровом поле в дозе 90 т/га (фактор А) увеличило среднегодовое содержание обменного калия на 42 мг/кг почвы в сравнении с контролем (128 мг/кг; $НСР_{05}$ = 9,0 мг/кг). Проведение комбинированной обработки почвы в севообороте

(фактор В) увеличило содержание обменного калия на 11 мг/кг в сравнении с отвальной вспашкой (143 мг/кг; $НСР_{05}$ = 4,1 мг/кг). По безотвальной обработке тоже отмечено достоверное увеличение данного элемента питания. Внесение минеральных удобрений (фактор С) увеличило содержание обменного калия в пахотном слое почвы на 20 мг/кг в сравнении с контролем (139 мг/кг; $НСР_{05}$ = 3,3 мг/кг). По комбинированной и безотвальной системам обработки почвы в севообороте с внесением органических и минеральных удобрений отмечено наибольшее содержание обменного калия – 185 и 183 мг/кг.

Таким образом, в 9-польном зернопаротравянопропашном севообороте, где дважды вносилась солома озимой ржи, содержание обменного калия увеличилось по всем изучаемым факторам. Проведение комбинированной обработки почвы в севообороте с внесением органических и минеральных удобрений обеспечило наибольшую продуктивность культур севооборота, сохранив более высокое среднегодовое содержание обменного калия в пахотном слое почвы в сравнении с ежегодной отвальной вспашкой (как и подвижного фосфора). Результаты корреляционного анализа показали сильную прямую зависимость между урожайностью культур и содержанием обменного калия в слое почвы 0–20 см за ротацию севооборота и наличием K_2O в её конце, соответственно: r = 0,94 и r = 0,92.

3.2.2 Обменная кислотность почвы

Решение проблемы минерального питания растений зависит от поддержания в почве, в первую очередь, оптимальных параметров обменной кислотности почвы. Высокая кислотность почв Удмуртской Республики обусловлена их генезисом. Кислая реакция почвенной среды угнетает рост и развитие растений, создаёт неблагоприятные условия их питания, приводит к нежелательным агрофизическим свойствам почв. И. П. Дерюгин с авторами считают, что кислотность почв, соответствующая pH 5,5–5,7, является оптимальной для по-

лучения стабильных и высоких урожаев в условиях Удмуртии [Дерюгин И. П., 1987]. В наших исследованиях обменную кислотность почвы определяли перед закладкой опыта, в начале, в середине и в конце ротации севооборота. Выявлено, что за ротацию севооборота кислотность почвы повысилась по всем изучаемым факторам, т. к. последний раз известкование почвы в этом поле было проведено более 30 лет назад. К концу ротации севооборота кислотность почвы по изучаемым вариантам составила 5,23–5,77 (таблица 20).

Таблица 20 – Обменная кислотность пахотного слоя почвы (pH_{KCl}) в конце ротации севооборота

Органическое удобрение (А)	Система обработки почвы (В)	Минеральные удобрения (С)			Среднее по фактору	
		$(NPK)_0$ (к)	$(NPK)_{30}$	Среднее	А	В
Без навоза (к)	Отвальная (к)	5,55	5,27	5,41	5,33	5,49
	Безотвальная	5,32	5,23	5,27		5,44
	Комбинированная	5,37	5,28	5,32		5,53
	Среднее	5,41	5,26	—		—
Навоз, 90 т/га	Отвальная (к)	5,64	5,53	5,58	5,65	
	Безотвальная	5,66	5,59	5,62		
	Комбинированная	5,74	5,77	5,71		
	Среднее	5,68	5,63	—		
Среднее по фактору С		5,54	5,44	—	—	

$НСР_{05}$	частных различий	главных эффектов
Фактор А	0,17	0,08
Фактор В	0,14	0,06
Фактор С	0,15	0,06

Таким образом, выявлено, что в течение ротации севооборота без известкования произошло подкисление дерново-среднеподзолистой среднесмытой почвы по всем изучаемым факторам. Комбинированная и безотвальная обработка почвы в 9-польном зернопаротравянопропашном севообороте без внесения и при внесении органических удобрений один раз за ротацию в пару в дозе 90 т/га и минеральных ежегодно в дозе $N_{30}P_{30}K_{30}$ не повышала обменную кислотность почвы в сравнении с отвальной вспашкой в тех же условиях.

3.2.3. Гумус

В условиях интенсивного использования пахотных почв увеличение почвенного плодородия невозможно без его расширенного воспроизводства и поступления в почву питательных элементов и органического вещества. Безусловно, важнейшим интегральным показателем высокого плодородия и окультуренности дерново-подзолистых почв является содержание в них органического вещества [Егоров В. В., 1978; Лыков А. М., 1976, 1978]. Общеизвестно, что существует прямая, тесная зависимость физических, физико-химических и технологических свойств пахотной почвы от содержания в ней гумуса. Органическое вещество почвы решающим образом влияет на её биологические свойства.

В наших исследованиях содержание гумуса в пахотном слое почвы определяли в начале, середине и в конце ротации севооборота (таблица 21).

Таблица 21 – Содержание гумуса в пахотном слое почвы в начале и конце ротации севооборота, %

Органическое удобрение (А)	Система обработки почвы (В)	Минеральные удобрения (С)	Начало ротации	Конец ротации	Откл.
Без навоза (к)	Отвальная (к)	$(NPK)_0$ (к)	2,12	2,15	0,03
		$(NPK)_{30}$	2,12	2,26	0,13
	Безотвальная	$(NPK)_0$ (к)	2,12	2,23	0,11
		$(NPK)_{30}$	2,12	2,30	0,18
	Комбинированная	$(NPK)_0$ (к)	2,12	2,28	0,16
		$(NPK)_{30}$	2,12	2,34	0,22
Среднее по минеральным удобрениям		$(NPK)_0$ (к)	2,12	2,22	0,10
		$(NPK)_{30}$	2,12	2,30	0,18
Среднее			2,12	2,26	0,14
Навоз, 90 т/га	Отвальная (к)	$(NPK)_0$ (к)	2,20	2,25	0,05
		$(NPK)_{30}$	2,20	2,30	0,10
	Безотвальная	$(NPK)_0$ (к)	2,20	2,35	0,15
		$(NPK)_{30}$	2,20	2,39	0,19
	Комбинированная	$(NPK)_0$ (к)	2,20	2,39	0,19
		$(NPK)_{30}$	2,20	2,42	0,22
Среднее по минеральным удобрениям		$(NPK)_0$ (к)	2,20	2,33	0,13
		$(NPK)_{30}$	2,20	2,37	0,17
Среднее			2,20	2,35	0,15

К концу ротации севооборота по сравнению с её началом содержание гумуса по всем изучаемым факторам увеличилось. За счёт севооборота, где дважды вносилась солома озимой ржи, содержание гумуса в пахотном слое почвы увеличилось на 0,14 %. Совместное внесение навоза в пару в дозе 90 т/га и соломы озимой ржи в двух полях увеличило содержание гумуса в почве на 0,15 %. За ротацию севооборота по системам основной обработки почвы (фактор В) в варианте без органических удобрений содержание гумуса увеличилось по ежегодной отвальной вспашке на 0,08 %, по безотвальной – на 0,14 %, по комбинированной обработке – на 0,19 %. При внесении органических удобрений – соответственно на 0,08 %, 0,17 % и 0,20 %. То есть, проведение безотвальной и комбинированной обработки почвы в севообороте способствовало большему накоплению гумуса в почве, чем по отвальной обработке, особенно при внесении органических удобрений.

В среднем по варианту без внесения минеральных удобрений содержание гумуса увеличилось по фону без навоза на 0,10 % и с внесением навоза в чистом пару на 0,13 %. Внесение минеральных удобрений (фактор С) привело к более существенному увеличению содержания гумуса в почве: в варианте без навоза и с его внесением прибавка составила 0,18 и 0,17 %, соответственно. Выявлено, что комбинированная обработка почвы в севообороте с внесением органических и минеральных удобрений увеличила содержание гумуса на 0,19 %, в тех же условиях ежегодная отвальная обработка – на 0,10 %.

К концу второй ротации 9-польного зернопаротравянопропашного севооборота содержание гумуса оказалось в пределах 2,15–2,42 % (таблица 22).

Внесение органических удобрений (фактор А) увеличило содержание гумуса на 0,09 % (контроль – 2,26 %; $НСР_{05}$ = 0,02 %), применение комбинированной обработки почвы в севообороте (фактор В) – на 0,12 %

(контроль – 2,24 %; $НСР_{05}$ = 0,08 %), внесение минеральных удобрений (фактор С) – на 0,06 % (контроль – 2,28 %; $НСР_{05}$ = 0,02 %).

Таблица 22 – Содержание гумуса в пахотном слое почвы в зависимости от систем основной обработки почвы, внесения органических и минеральных удобрений в конце ротации севооборота, %

Органическое удобрение (А)	Система обработки почвы (В)	Минеральные удобрения (С)			Среднее по фактору	
		$(NPK)_0$ (к)	$(NPK)_{30}$	Среднее	А	В
Без навоза (к)	Отвальная (к)	2,15	2,26	2,20	2,26	2,24
	Безотвальная	2,23	2,30	2,26		2,32
	Комбинированная	2,28	2,34	2,31		2,36
	Среднее	2,22	2,30	—		—
Навоз, 90 т/га	Отвальная (к)	2,25	2,30	2,27	2,35	
	Безотвальная	2,35	2,39	2,37		
	Комбинированная	2,39	2,42	2,40		
	Среднее	2,33	2,37	—		
Среднее по фактору С		2,28	2,34	—	—	

$НСР_{05}$	частных различий	главных эффектов
Фактор А	0,13	0,02
Фактор В	0,11	0,08
Фактор С	0,05	0,02

Анализируя взаимодействие изучаемых технологических приёмов, можно сказать, что проведение комбинированной обработки почвы в севообороте с внесением органических и минеральных удобрений повысило содержание гумуса в пахотном слое почвы на 0,12 % в сравнении с отвальной вспашкой в тех же условиях (2,30 % при $НСР_{05}$ = 0,11 %).

Таким образом, за вторую ротацию севооборота содержание гумуса в пахотном слое почвы повысилось по всем изучаемым вариантам. Комбинированная обработка почвы при внесении органических удобрений в пару в дозе 90 т/га и минеральных $N_{30}P_{30}K_{30}$ ежегодно достоверно повысила содержание гумуса в почве в сравнении с отвальной вспашкой в тех же условиях. Между урожайностью культур и содержанием гумуса в почве установлена сильная прямая зависимость (r = 0,88).

Баланс гумуса за вторую ротацию 9-польного зернопаротравянопропашного севооборота, рассчитанный по А. М. Лыкову [Лыков А. М., 1979],

где дважды вносилась солома озимой ржи, был положительным: по комбинированной обработке почвы с внесением органических и минеральных удобрений – 2,98 т/га, по отвальной в тех же условиях ниже на 0,17 т/га. Причём, при оставлении и заделке в почву соломы озимой ржи баланс гумуса в данном поле был положительным и только незначительно уступал аналогичному показателю по многолетним травам.

3.2.4. Биологическая активность почвы

Биологическая активность почвы является важным показателем её плодородия. Общеизвестно, что обработка почвы, изменяя физико-химические свойства, водный, воздушный и тепловой режимы, оказывает наиболее сильное влияние на интенсивность биологических процессов. По данным Г. Д. Аверьянова [Аверьянов Г. Д., 1984], И. П. Макарова [Макаров И. П., 1985] при поверхностной и плоскорезной обработке нижние горизонты пахотного слоя теряют биологическую активность, в верхних же слоях она возрастает. В тоже время они отмечают, что общая биологическая активность пахотного слоя при этих обработках не снижается в сравнении со вспашкой. А. А. Платунов с соавторами [Платунов А. А.,1986], проводя исследования в Кировской области на дерново-подзолистых почвах, подтвердили эти данные. О. А. Берестецкий [Берестецкий О. А., 1986] считает, что при минимальных поверхностных обработках и безотвальном рыхлении биологическая активность почвы несколько снижается. В этом случае микробиологическое разложение свежего органического вещества замедляется, а коэффициент его гумификации возрастает.

Биологическая активность почвы связана с микробиологическими процессами синтеза и распада гумуса, минерализации вносимых в почву органических удобрений, поукосно- и пожнивно-корневых остатков возделываемых культур, перевода труднорастворимых для растений элементов питания в доступную форму, трансформации вносимых в почву минераль-

ных удобрений. В нашей стране и за рубежом проведено значительное количество исследований по влиянию невысоких доз удобрений на биологическую активность почвы. Установлено [Таланов И. П., 2003б], что внесение удобрений, особенно на фоне извести, не угнетало, а, напротив, увеличивало численность агрономически важных физиологических групп почвенных микроорганизмов.

Д. Г. Звягинцев [Звягинцев Д. Г., 1980] предложил аппликационный метод определения биологической активности почвы путём оценки интенсивности разложения целлюлозы. По его шкале интенсивность разрушения клетчатки за вегетационный период от 10 до 30 % является слабой.

Проведённые нами комплексные исследования эффективности систем основной обработки почвы при различной насыщенности органическими и минеральными удобрениями показали, что биологическая активность дерново-подзолистой среднесмытой почвы в севообороте при 60-суточном разложении льняных полотен была слабой (таблица 23), в том числе в начале ротации севооборота она была выше (17,1–29,3 %), а в среднем за ротацию севооборота составила 15,7–24,6 %.

Таблица 23 – Биологическая активность пахотного слоя почвы в зависимости от систем основной обработки почвы, внесения органических и минеральных удобрений (среднее за ротацию севооборота), %

Органическое удобрение (А)	Система обработки почвы (В)	Минеральные удобрения (С)			Среднее по фактору	
		$(NPK)_0$ (к)	$(NPK)_{30}$	Среднее	А	В
Без навоза (к)	Отвальная (к)	19,4	22,2	20,8	18,9	21,9
	Комбинированная	15,7	18,4	17,0		17,7
	Среднее	17,5	20,3	—		—
Навоз, 90 т/га	Отвальная (к)	21,6	24,6	23,1	20,7	
	Комбинированная	18,4	18,4	18,4		
	Среднее	20,0	21,5	—		
Среднее по фактору С		18,7	20,9	—		
$НСР_{05}$	частных различий		главных эффектов			
Фактор А	2,3–6,5		0,7–3,4			
Фактор В	2,0–4,8		1,0–3,0			
Фактор С	1,9–4,6		0,7–2,3			

Внесение навоза один раз за ротацию зернопаротравянопропашного севооборота в пару в дозе 90 т/га (фактор А) создало более благоприятные агрофизические свойства в пахотном слое почвы и её биологическая активность увеличилась на 1,8 % (контроль – 18,9 %; $НСР_{05}$ = 0,7–3,4 %), что доказано на 5 культурах севооборота из шести.

Проведение комбинированной обработки почвы в севообороте (фактор В) способствовало снижению биологической активности пахотного слоя почвы на 4,2 % в сравнении с отвальной вспашкой (21,9 %; $НСР_{05}$ = 1,0–3,0 %) и доказано на 4 культурах севооборота из шести, что согласуется с результатами исследований В. М. Холзакова [Холзаков В. М., 2004].

Внесение минеральных удобрений в средней дозе $N_{30}P_{30}K_{30}$ ежегодно (фактор С) не оказало достоверного влияния на биологическую активность пахотного слоя почвы (18,7–20,9 %; $НСР_{05}$ = 0,7–2,3 %), доказанное лишь на трёх культурах звена севооборота из шести.

Анализ сочетаний изучаемых технологических приёмов показал, что по комбинированной обработке почвы с внесением навоза 90 т/га и минеральных удобрений $N_{30}P_{30}K_{30}$ биологическая активность почвы была низкой – 18,4 %. В тех же условиях по отвальной вспашке она была выше на 6,2 %. Снижение биологической активности почвы по комбинированной обработке почвы при оптимальных агрофизических условиях, способствовало более экономному расходованию элементов питания на формирование бóльшего урожая.

Выявлено, что в слое почвы 0–10 см и органические, и минеральные удобрения обеспечили существенное повышение биологической активности почвы. В нижележащем слое почвы 10–20 см только органические удобрения существенно повлияли на этот показатель. Проведение комбинированной обработки почвы в севообороте снизило биологическую активность почвы в обоих горизонтах пахотного слоя.

Таким образом, при внесении органических удобрений отмечено повышение биологической активности пахотного слоя. Внесение минераль-

ных удобрений увеличило биологическую активность только верхней части пахотного слоя почвы (0–10 см). Комбинированная обработка почвы оказала консервирующий эффект – биологическая активность почвы снизилась по всему пахотному слою, особенно при внесении удобрений как органических, так и минеральных.

Таким образом, за ротацию 9-польного зернопаротравянопропашного севооборота, где дважды вносилась солома озимой ржи, питательный режим почвы (среднегодовое содержание фосфора, калия) по всем изучаемым вариантам был лучше в сравнении с контрольными. Комбинированная система обработки почвы в севообороте, сочетающаяся с внесением органических удобрений один раз в пару в дозе 90 т/га и ежегодно минеральных в дозе $N_{30}P_{30}K_{30}$, улучшила агрофизические свойства среднесмытой дерново-среднеподзолистой почвы (плотность, водопрочность структурных агрегатов), способствовала более экономному и эффективному расходованию запасов продуктивной влаги, снизила биологическую активность почвы – проявив консервирующий эффект. Тем самым сочетание указанных приёмов обеспечило наибольшую продуктивность культур севооборота, сохранив максимальное содержание подвижного фосфора, обменного калия в пахотном слое почвы, даже при наличии дифференциации пахотного слоя почвы с верхним расположением более плодородного слоя по их содержанию в сравнении с ежегодной отвальной вспашкой в тех же условиях.

3.3 Влияние систем основной обработки почвы и внесения удобрений на засорённость посевов

Преимущество безотвальной обработки почвы в накоплении влаги, улучшении водопрочности структурных агрегатов, улучшении питательного режима почвы, сохранении и накоплении гумуса в почве, отмеченное многими известными учёными [Сдобников С. С., 1985, 2000; Зайцева А. П., 1976; Кирюшин В. И., 1984], подтверждается и нашими исследованиями на

дерново-подзолистой почве. В то же время отметаются и недостатки безотвальной обработки почвы, в числе которых называется увеличение засорённости посевов, развитие болезней и вредителей.

Об увеличении засорённости посевов по безотвальным обработкам, в частности по плоскорезной обработке, говорят и другие исследователи [Извеков А. С., 1980; Хабибрахманов Х. Х., 1984; Холмов В. Г., 1985]. Засорённость, действительно, увеличивается по зяби, обработанной плоскорезом, но большой научный и практический опыт П. П. Колмакова и исследования А. М. Нестеренко [цит. по: Кирюшин В. И., 2004], доказали, что в условиях степной зоны с ней можно справиться механической обработкой с очень ограниченным применением гербицидов. Большинство учёных [Круть В. М., 1984; Хабибрахманов Х. Х., 1984; Утеулина Р. Г., 1984; Наумов С. А., 1984; Здравков И. П., 1985; Арнт В. А., 1993] склоняются к тому, что использование гербицидов в системе безотвальной обработки является обязательным условием в борьбе с сорняками. По данным А. И. Пупонина и А. В. Захаренко [Пупонин А. И., 1999] наибольшего снижения засорённости почвы можно достичь в зернопаровом и плодосменном севообороте при сочетании отвальной и нулевой обработки. Другие авторы [Соболев С. С., 1960; Валеев Ф. З., 1979; Ванин Д. Е., 1983] считают, что борьбу с сорняками, особенно с многолетними, успешно можно вести путём прерывания плоскорезной обработки отвальной вспашкой. Таким образом, мнения учёных по этому вопросу достаточно противоречивы.

В наших исследованиях учёт засорённости проводился в посевах всех культур 9-польного зернопаротравянопропашного севооборота количественно-весовым методом. Средняя по севообороту засорённость малолетними сорняками была невысокой – 17,4-23,6 шт./м^2 (таблица 24).

Как следует из данных таблицы, изучаемые факторы не оказали существенного влияния на засорённость малолетними сорняками культур севооборота. Внесение органических и минеральных удобрений,

проведение комбинированной обработки почвы в севообороте обеспечивали формирование высокого урожая возделываемых культур, которые подавляли развитие малолетних сорняков. Анализ взаимодействия изучаемых технологических приёмов показал, что проведение комбинированной и безотвальной обработки почвы в зернопаротравянопропашном севообороте при внесении органических удобрений в пару в дозе 90 т/га и минеральных удобрений в среднегодовой дозе $N_{30}P_{30}K_{30}$ не увеличило засорённость однолетними сорняками – 22,2 шт./м^2 и 23,6 шт./м^2, соответственно, в сравнении с отвальной обработкой в тех же условиях (19,8 шт./м^2 при $НСР_{05}$ = 8,0 шт./м^2). Наиболее распространёнными однолетними сорняками в севообороте были *Stellaria media, Matricaria perforate, Chenopodium album, Capsella bursa-pastoris, Crepis testorum, Taraxacum officinale, Galium aparine.*

Таблица 24 – Засорённость малолетними сорняками посевов культур в зависимости от систем основной обработки почвы и внесения удобрений, шт./м^2 (среднее за ротацию севооборота)

Органическое удобрение (А)	Система обработки почвы (В)	Минеральные удобрения (С)			Среднее по фактору	
		$(NPK)_0$ (к)	$(NPK)_{30}$	Среднее	А	В
Без навоза (к)	Отвальная (к)	21,3	22,0	21,6	21,4	20,8
	Безотвальная	21,9	20,6	21,2		21,8
	Комбинированная	20,6	22,1	21,4		20,6
	Среднее	21,3	21,6	—		—
Навоз, 90 т/га	Отвальная (к)	20,4	19,8	20,1	20,8	
	Безотвальная	21,3	23,6	22,4		
	Комбинированная	17,4	22,2	19,8		
	Среднее	19,7	21,9	—		
Среднее по фактору С		20,5	21,7	—	—	

$НСР_{05}$	частных различий	главных эффектов
Фактор А	10,4	6,7
Фактор В	8,0	3,9
Фактор С	8,1	3,3

Засорённость по культурам севооборота была различной. Наиболее засорёнными малолетними сорняками оказались посевы озимой ржи (второе поле севооборота), яровой пшеницы с подсевом клевера, клевер I г. п., клевер II г. п. Озимая рожь достаточно хорошо сама борется с сорняками,

т. к. в начале весенней вегетации засорённость была 135–439 шт./м^2, к концу вегетации она составила 14,0–40,2 шт./м^2.

Заделка органических удобрений дисковой бороной по комбинированной и безотвальной обработкам способствовала повышению засорённости однолетними сорняками. Так, в начале вегетации озимой ржи (второе поле севооборота) засорённость составила 88,4–105,0 шт./м^2, а в конце – снизилась до 9,4–9,8 шт./м^2 в сравнении с отвальной заделкой навоза, где эти значения равнялись соответственно 178 шт./м^2 и 23,2 шт./м^2. Но на урожайность озимой ржи это не повлияло, т. к. все малолетние сорняки остались в нижнем ярусе.

Засорённость посевов культур севооборота в зависимости от изучаемых систем обработки почвы представлена на рисунке 4.

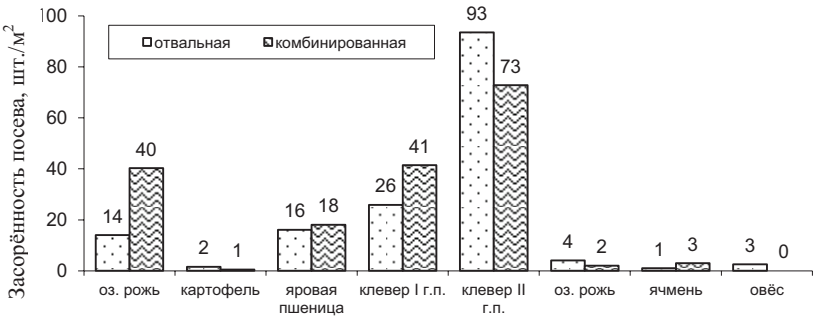

Рисунок 4 – Влияние отвальной и комбинированной систем обработки почвы на засорённость посевов культур севооборота малолетними сорняками (фон – навоз, 90 т/га и $N_{30}P_{30}K_{30}$), шт./м^2

Оптимально подобранное сочетание отвальной, безотвальной, поверхностной обработок в комбинированной системе обработки почвы под культуры зернопаротравянопропашного севооборота и высокая их продуктивность не увеличили засорённость малолетними сорняками (22,2 шт./м^2) в среднем за севооборот в сравнении с отвальной вспашкой (19,8 шт./м^2; $НСР_{05}$ = 8 шт./м^2). Выявлено снижение засорённости малолетними сорняками от 40,0 шт./м^2 в посевах озимой ржи (второе поле севооборота после

внесения навоза) до 0 шт./м^2 на последней культуре (овёс) в сравнении с отвальной вспашкой (соответственно 14 и 3,0 шт./м^2).

Кроме того, в посевах клевера, особенно II года пользования (шестое поле севооборота) количество сорняков увеличилось до 73 шт./м^2 по комбинированной обработке и до 93 шт./м^2 – по отвальной вспашке. Разделка дернины клеверов в обеих системах обработки почвы позволила снизить их количество в посевах последующей озимой ржи: засорённость посевов составила соответственно 2 и 4 шт./м^2. Самая минимальная засорённость малолетними сорняками отмечена на пропашной культуре картофеля (третье поле севооборота) – 1 шт./м^2 по комбинированной обработке и 2 шт./м^2 – по отвальной и на последней культуре севооборота (овёс) соответственно 0 шт./м^2 и 3 шт./м^2.

Аналогичным образом комбинированная и отвальная системы обработки почвы не отличались по влиянию на засорённость многолетними сорняками – 0,9 шт./м^2 в среднем за севооборот по обеим системам. Многолетние сорняки в опыте представлены: *Artemisia vulgaris, Artemisia absinthium, Sonchus arvensis, Plantago major.*

Установлено, что к концу второй ротации севооборота по всем изучаемым системам основной обработки почвы засорённость посевов и малолетними, и многолетними сорняками снизилась. Такое оказалось возможным при условии правильного чередования культур в зернопаротравянопропашном севообороте и проведения лущения жнивья при зяблевой обработке под все культуры.

Таким образом, использование закона плодосмена, своевременно и качественно проводимые технологические мероприятия, которые способствовали хорошему развитию культурных растений, обеспечили даже без применения гербицидов (кроме посадок картофеля) уменьшение количества сорняков в конце ротации севооборота до минимума.

3.4 Продуктивность 9-польного зернопаротравянопропашного севооборота при различных системах обработки почвы и внесения удобрений

3.4.1. Продуктивность севооборота

В условиях современного адаптивно-ландшафтного земледелия для поддержания эффективного плодородия почвы, улучшения агрофизических и биологических её свойств необходима научно обоснованная система обработки почвы в сочетании с правильным плодосменом и системой удобрений. В последние годы сложились различные мнения о системах основной обработки почвы. На изыскание возможностей минимализации обработки почвы, замены вспашки рыхлениями были проведены исследования в различных регионах, в м числе и в ближних к Удмуртской Республике – в Республике Татарстан [Павлов М. И., 1960; Кирдин В. Ф., 1984; Мареев В. Ф.,1986; Долотин И. И., 2001, 2005], в Верхнем Поволжье [Аверьянов Г. Д., 1984]. Тем не менее, эти исследования не привели к однозначным результатам, которые бы позволили полностью отказаться от отвальной вспашки.

По данным учёных НИИСХ Северо-Востока [Система ведения..., 2000], на суглинистых почвах в зернотравяных севооборотах преимущество имеет отвально-чизельная разноглубинная система обработки почвы. Такая система обеспечивает снижение засорённости посевов, уменьшение поражённости корневыми гнилями, повышение продуктивности при снижении энергетических затрат по сравнению с ежегодной вспашкой.

В Удмуртии вопросами основной обработки почвы занимались учёные Удмуртской Государственной сельскохозяйственной опытной станции (ГНУ УГНИИСХ) и Ижевской государственной сельскохозяйственной академии, которыми на дерново-подзолистых почвах доказана возможность частичной замены отвальной обработки плоскорезным рыхлением [Мерзлякова Т. П., 1986, 1989; Венчиков А. И., 1993; Владыкина Н. И.,

1997]. При этом было отмечено увеличение урожайности культур севооборота, снижение энергетических затрат и увеличение засорённости посевов. Н. А. Пегова пришла к выводу, что ежегодная безотвальная обработка эффективнее отвальной системы, при условии внесения соломы всех зерновых культур севооборота [Пегова Н. А., 1987]. Учёные Ижевской ГСХА [Холзаков В. М., 2002а] предложили использовать минимальную обработку дерново-подзолистых почв, которая была разработана в учебно-опытном хозяйстве ИжГСХА «Июльское» и рекомендована как «Июльская технология возделывания зерновых культур». Основные направления в минимализации обработки почвы представлены следующими операциями:

- замена отвальной и ежегодной глубокой обработки почвы безотвальными и поверхностными обработками;
- борьба с сорняками – гербицидами;
- применение комбинированных агрегатов, обеспечивающих одновременно внесение минеральных удобрений, обработку почвы, посев.

Эта технология возделывания зерновых культур позволяет значительно повысить их урожайность и экономическую эффективность их возделывания, сохранить и приумножить плодородие почвы.

В опытах Л. А. Ленточкиной и В. М. Холзакова урожайность картофеля по минимальной обработке почвы была выше – 28,2 т/га, чем по комбинированной – 26,8 и отвальной – 25,0 т/га [Ленточкина Л. А., 1995].

Большинство учёных, которые занимались вопросами основной обработки почвы, считают, что только комплексное применение удобрений и рациональной обработки почвы обеспечат в севообороте получение стабильных урожаев сельскохозяйственных культур и сохранение плодородия почвы [Марымов В. И., 1990; Голубев В. В., 1990; Гуренев М. Н., 1991; Борин А. А., 1994; Холзаков В. М., 2004].

Как считают Г. А. Саттаров и К. И. Карпович, чтобы система удобрений давала наибольшую отдачу, она должна быть тесно связана с составом культур в севообороте и обработкой почвы [Саттаров Г. А., 1998].

Проведённые нами комплексные исследования эффективности четырёх систем основной обработки почвы при различной насыщенности органическими и минеральными удобрениями после завершения второй ротации севооборота показали, что среднегодовая продуктивность культур изменялась от 3,13 до 3,90 т з. ед./га (таблица 25).

Таблица 25 – Продуктивность культур зернопаротравянопропашного севооборота в зависимости от систем основной обработки почвы, внесения органических и минеральных удобрений в среднем за ротацию, т з. ед./га

Органическое удобрение (А)	Система обработки почвы (В)	Минеральные удобрения (С)			Среднее по фактору	
		$(NPK)_0$ (к)	$(NPK)_{30}$	Среднее	А	В
Без навоза (к)	Отвальная (к)	3,13	3,37	3,25	3,28	3,42
	Отвально-чизельная	3,14	3,34	3,24		3,47
	Безотвальная	3,12	3,34	3,23		3,43
	Комбинированная	3,26	3,52	3,39		3,63
	Среднее	3,16	3,39	—		—
Навоз, 90 т/га	Отвальная (к)	3,52	3,65	3,58	3,70	
	Отвально-чизельная	3,63	3,75	3,69		
	Безотвальная	3,60	3,67	3,64		
	Комбинированная	3,84	3,90	3,87		
	Среднее	3,65	3,74	—		
Среднее по фактору С		3,40	3,57	—	—	

$НСР_{05}$	частных различий	главных эффектов
Фактор А	0,12–0,28	0,02–0,11
Фактор В	0,12–0,29	0,06–0,15
Фактор С	0,14–0,35	0,04–0,10

Внесение навоза один раз за ротацию севооборота в дозе 90 т/га (фактор А) позволило создать более благоприятные условия по всем изучаемым системам обработки почвы. Продуктивность культур севооборота с внесением навоза увеличилась на 0,42 т з. ед./га в сравнении с вариантом без органических удобрений (3,28 т з. ед./га; $НСР_{05}$ = 0,02–0,11 т з. ед./га) и доказана на шести культурах севооборота из восьми.

По комбинированной обработке почвы (фактор В) продуктивность культур была существенно выше на 0,21 т з. ед./га, чем по отвальной вспашке (3,42 т з. ед./га; $НСР_{05}$ = 0,06–0,15 т з. ед./га) и доказана на пяти культурах севооборота из восьми. Другие системы обработки почвы

обеспечили продуктивность культур севооборота на уровне контрольного варианта, т. е. ежегодной отвальной обработки почвы.

Прибавка от внесения минеральных удобрений была существенная, но ниже, чем от навоза. Это объясняется тем, что опыт заложен на дерново-подзолистой суглинистой почве с очень высоким содержанием в пахотном слое (0–22 см) подвижного фосфора (P_2O_5) – 301 мг/кг почвы и высоким содержанием обменного калия (K_2O) – 182 мг/кг почвы. Поэтому внесение минеральных удобрений в среднегодовой дозе $N_{30}P_{30}K_{30}$ не обеспечило высокое увеличение урожайности: средняя прибавка урожайности культур севооборота составила 0,17 т з. ед./га в сравнении с вариантом без минеральных удобрений (3,40 т з. ед./га; $НСР_{05}$ = 0,04–0,10 т з. ед./га). Эта закономерность подтверждается на шести культурах севооборота из восьми.

Анализ сочетаний изучаемых технологических приёмов показал, что при внесении навоза комбинированная обработка почвы обеспечила наибольшую прибавку урожайности культур – 0,29 т з. ед./га в сравнении с отвальной вспашкой (3,58 т з. ед./га). В варианте без органических удобрений прибавка по комбинированной обработке была в два раза ниже, составив 0,14 т з. ед./га в сравнении с отвальной обработкой – 3,25 т з. ед./га ($НСР_{05}$ = 0,12–0,29 т з. ед./га). Следовательно, эффективность комбинированной обработки почвы в севообороте повысилась при внесении органических удобрений.

На фоне органических удобрений прибавка от внесения минеральных удобрений составила всего 0,09 т з. ед./га в сравнении с контрольным вариантом – 3,65 т з. ед./га. По фону без органических удобрений прибавка от внесения минеральных удобрений была выше в 2,5 раза – 0,23 т з. ед./га в сравнении с контрольным вариантом – 3,16 т з. ед./га. То есть, при внесении органических удобрений эффективность минеральных удобрений снизилась. Наши данные подтверждают результаты исследований, полученные ранее в многолетнем опыте профессором А. С. Башковым [Агроэкологические..., 1999].

Было установлено, что по комбинированной системе обработки почвы с внесением навоза один раз за ротацию севооборота в дозе 90 т/га и минеральных удобрений в среднегодовой дозе $N_{30}P_{30}K_{30}$ получена наибольшая продуктивность культур севооборота – 3,90 т з. ед./га. В тех же условиях по ежегодной отвальной обработке средняя продуктивность культур севооборота была меньше на 0,25 т з. ед./га ($НСР_{05}$ = 0,12–0,29 т з. ед./га).

Таким образом, установлено, что в технологии выращивания культур зернопаротравянопропашного севооборота для получения стабильно высокой их продуктивности следует применять комбинированную систему обработки почвы с внесением органических (90 т/га) в паровом поле и минеральных удобрений ($N_{30}P_{30}K_{30}$) в среднем под каждую культуру севооборота.

3.4.2 Реакция культур севооборота на системы основной обработки почвы

В технологии возделывания любой сельскохозяйственной культуры важную роль играет рациональная обработка почвы. Общеизвестно, что это самая трудоёмкая операция: на её выполнение приходится 40 % энергетических и 25 % трудовых затрат. Приёмы обработки почвы должны изменяться в зависимости от климатических и почвенных условий, характера засорённости полей, особенностей возделываемой культуры, наличия вредителей и болезней и других свойственных зоне конкретных условий. Обработка почвы под разные культуры севооборота должна различаться в зависимости от их биологических особенностей – быть комбинированной и разноглубинной [Платунов А. А., 1994; Матюшин М. С., 1999; Войтович Н. В., 1999; Мингалев С. К., 2001; Макаров И. П., 2003; Матюк Н. С., 2003; Зезин Н. Н., 2004].

Ряд учёных отмечают следующие положительные стороны безотвальных обработок при оптимальном уровне питания и плодородия почвы: благоприятный азотный режим с преобладанием нитратного азота; улучшение фосфорно-калийного питания; урожайность, не уступающая от-

вальной вспашке [Судаков В. В., 1989; Хохлов Н. Ф., 1990; Немцев Н. С., 1993]. В тоже время А. И. Шабаев отмечает, что одна из причин снижения урожайности яровой пшеницы после плоскорезной обработки почвы – снижение мобилизации азота, ухудшение обеспеченности растений азотным питанием [Шабаев А. И., 2000]. Это подтверждает И. П. Таланов: в насыщенных зерновыми культурами севооборотах Республики Татарстан обработка почвы с оставлением на поверхности пожнивных остатков способствует росту засорённости, ухудшению условий питания растений, стимулирует распространение фитопатогенов [Таланов И. П., 2003а, 2003б].

Реакция культур в 9-польном зернопаротравянопропашном севообороте на изучаемые нами четыре системы обработки почвы представлена в таблице 26.

Таблица 26 – Реакция культур севооборота на различные системы основной обработки почвы, т з. ед./га

Чередование культур севооборота	Система обработки почвы				Среднее	$НСР_{05}$
	Отвальная (к)	Отвально-чизельная	Безотвальная	Комбинированная		
1. Пар чистый	—	—	—	—	—	—
2. Озимая рожь	5,21	5,32	5,18	5,54	5,31	0,10
3. Картофель	5,33	5,43	5,00	5,63	5,34	0,08
4. Яр. пшеница + клевер	2,80	2,98	3,09	3,08	2,99	0,11
5. Клевер I г. п.	1,77	1,80	1,88	2,06	1,89	0,06
6. Клевер II г. п.	2,08	2,11	2,26	2,09	2,14	0,10
7. Озимая рожь	3,12	3,18	3,34	3,26	3,22	0,15
8. Ячмень	4,44	4,23	4,14	4,49	4,32	0,12
9. Овёс	2,70	2,70	2,58	2,84	2,70	0,08
Среднее	3,42	3,47	3,43	3,63	3,49	—

Среди изученных систем основной обработки почвы наибольшую продуктивность культур 9-польного севооборота обеспечила комбинированная обработка 3,63 т з. ед./га, что на 0,21 т з. ед./га больше, чем по ежегодной отвальной вспашке ($НСР_{05}$ = 0,06–0,15 т з. ед./га) и её преимущество доказано на пяти культурах севооборота из восьми. Существенное увеличение продуктивности по комбинированной системе обработки почвы в сравнении с отвальной обеспечили озимая рожь (второе поле севооборота) –

0,33 т з. ед./га, картофель – 0,30 т з. ед./га, яровая пшеница с подсевом клевера – 0,28 т з. ед./га, клевер I г. п. – 0,29 т з. ед./га, овёс – 0,14 т з. ед./га. Клевер II г. п., озимая рожь (седьмое поле севооборота), ячмень обеспечили урожайность на уровне контрольного варианта.

При безотвальной системе обработки почвы в севообороте продуктивность культур составила в среднем 3,43 т з. ед./га, что оказалось на уровне контрольного варианта – 3,42 т з. ед./га. Существенную прибавку урожайности по этой системе обработки почвы в сравнении с отвальной обеспечили четыре культуры из восьми, идущие после картофеля, при возделывании которого почва интенсивно рыхлилась. Это была яровая пшеница с подсевом клевера – 0,29 т з. ед./га, клевер I г. п. – 0,11 т з. ед./га, клевер II г. п. – 0,18 т з. ед./га и озимая рожь, идущая по клеверу – 0,22 т з. ед./га. Урожайность картофеля, ячменя и овса была существенно ниже соответственно на 0,33, 0,30 и 0,12 т з. ед./га, чем по вспашке. Урожайность озимой ржи по пару получена на уровне контрольного варианта.

Продуктивность культур севооборота по отвально-чизельной системе обработки почвы составила 3,47 т з. ед./га – это было практически равно значению по ежегодной отвальной вспашке – 3,42 т з. ед./га. Только три культуры обеспечили существенную прибавку урожайности: озимая рожь по пару – 0,11 т з. ед./га, картофель – 0,10 т з. ед./га и яровая пшеница с подсевом клевера – 0,18 т з. ед./га. Урожайность ячменя была существенно ниже на 0,21 т з. ед./га, чем по вспашке 4,44 т з. ед./га. Реакция остальных культур севооборота по продуктивности на отвально-чизельную систему обработки почвы была близка к отвальной.

Таким образом, в технологии выращивания культур проведение комбинированной основной обработки почвы в 9-польном зернопаротравяно-пропашном севообороте оказалось эффективнее ежегодной отвальной вспашки. Ежегодная безотвальная и отвально-чизельная обработки почвы обеспечили урожайность культур в среднем за ротацию севооборота на уровне отвальной вспашки.

4. СРАВНИТЕЛЬНАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИЁМОВ ЗЯБЛЕВОЙ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ

Приёмы обработки почвы оказывают значительное влияние на её структуру, водный, воздушный, питательный режимы, а также на биогенность, особенно на эродированной дерново-подзолистой почве [Вараксина Е. Г., 2008; Черкасов Г. Н., 2014].

Все приёмы обработки почвы подразделяются на три большие группы: traditional tillage – традиционная обработка, reduced tillage (minimum tillage) – минимальная (сокращённая) обработка, direct sowing – прямой посев [Кожемякин Е., 2013].

В последнее время все более актуальным становится вопрос о снижении затрат и повышении рентабельности производства сельскохозяйственной продукции. При решении этой проблемы в первую очередь обращают внимание на такие затратные приёмы как обработка почвы [Черкасов Г. Н., 2014; Каипов Я. З., 2015]. Установлено, что вклад обработки почвы в формирование урожайности полевых культур равен примерно 10 %, а в структуре затрат на неё приходится до 40–50 % [Васько В. Т., 2004; Дорожко Г. Р., 2011]. Поэтому все возможные резервы снижения затрат, в первую очередь эффективные энергосберегающие системы обработки почвы, сразу существенно влияют на снижение себестоимости и повышение рентабельности производства.

Но ресурсосберегающие системы обработки почвы имеют и свои негативные стороны. Так, плоскорезная обработка почвы приводит к увеличению плотности пахотного слоя, вызывает дифференциацию его верхней и нижней частей по содержанию макроэлементов в пользу первого, способствует развитию корневой системы культуры в верхнем слое почвы (1–12 см), ухудшает минеральное питание растений, что негативно сказывается на сельскохозяйственных культурах, особенно в засушливых условиях [Азизов З. М., 2004; Шамсутдинов Р. И., 2004]. Поэтому в лесной и

лесостепной зонах почвозащитные малоэнергоёмкие способы основной обработки почвы (поверхностная или глубокая безотвальная) должны применяться в системе отвальных обработок, и их нецелесообразно использовать более одного года подряд из-за усиления поражаемости растений корневыми гнилями, роста засорённости посевов и снижения эффективного плодородия почвы [Курочкин К. И., 1987].

При ресурсосберегающих технологиях лимитирующими почвенными факторами для произрастающих растений, по мнению английских учёных [цит. по: Шептунов В. Н., 2008], является недостаточная оструктуренность почвы, низкое содержание органического вещества, уплотнение поверхностного слоя почвы и др. При этом указывается, что наиболее пригодны окультуренные песчаные и суглинистые почвы с содержанием гумуса соответственно 2 и 3 %. Кроме того, необходимо учитывать, что плотность почвы для яровой пшеницы должна быть не более 1,3–1,4 г/см^3 [Шевлягин А. И., 1968], иметь хорошее структурное состояние, характеризующееся содержанием агрономически ценных агрегатов почвы размером частиц от 0,25 до 10 мм на уровне 55–70 % [Ковриго В. П., 2000].

4.1. Влияние приёмов зяблевой обработки почвы на её агрофизические свойства

В Нечернозёмной зоне преобладают дерново-подзолистые почвы, характерной особенностью которых является их невысокая структурность и малая прочность структурных агрегатов, что отрицательно сказывается на водном, воздушном, тепловом и питательном режимах [Крашенинников Н. Н., 1963]. Это в полной мере относится и к дерново-подзолистым почвам на территории Удмуртской Республики [Ковриго В. П., 2004].

Для улучшения водно-физических, агрохимических и биологических свойств почвы А. А. Платунов рекомендует применение разноглубинной отвально-безотвальной обработки почвы, органических (в том числе сиде-

ральных) и минеральных удобрений, известкование, подбор культур в севообороте [Платунов А. А., 1997]. Сочетание отвальной вспашки с поверхностными обработками увеличивает водопрочность почвенных агрегатов, что объясняется медленным разложением органического вещества и его участием в структурообразовании почвы [Абрамов Н. В., 2012; Дмитриев Д. С., 2013].

Существуют различные данные о влиянии основной обработки почвы на плотность почвы. Так, А. П. Солодовниковым с соавторами установлено, что по осенней зяблевой вспашке чернозёма южного весной после посева плотность почвы в слое 0–30 см составила 1,17; после дискования – 1,20; по нулевой – 1,23 г/см^3 (НСР$_{05}$ = 0,02 г/см^3). После уборки плотность почвы в этом слое почвы составляла соответственно 1,27; 1,28 и 1,31 (НСР$_{05}$ = 0,02 г/см^3) [Солодовников А. П., 2015]. Другими авторами утверждается об отсутствии различий в плотности почвы после различных систем её зяблевой обработки [Зинченко М. К., 2011; Атласов М. Х., 2014; Кужинов М. Б., 2014; Каипов Я. З., 2015]. Однако при отвальной вспашке значительное удельное давление со стороны лемеха на дно борозды приводит к разрушению капиллярных каналов и образованию переуплотнённого слоя почвы на глубине 6–8 см ниже вспаханного слоя, плотность которого достигает 1,7–1,75 г/см^3. «Плужная подошва» полностью нарушает связь между верхними и нижними слоями почвы, а высокая её плотность исключает проникновение корневой системы возделываемых культур в подпахотный слой к запасам почвенной влаги и элементов питания [Калинин А. В., 2004].

Имеются неоднозначные данные о влиянии систем основной обработки почвы на её влажность в последующий вегетационный период. Так, П. А. Постников и Н. В. Перфильев сообщают, что ежегодная вспашка по сравнению с длительным применением мелких обработок обеспечила больший запас продуктивной влаги [Постников П. А., 2016; Перфильев Н. В., 2016], однако в течение вегетации различия между вариантами осенней обработки почвы сглаживались [Постников П. А., 2016б]. По другим

данным, различий по влажности почвы в зависимости от применяемых систем обработки почвы не выявлено [Лузянин Д. В., 2005; Зинченко М. К., 2011; Бызов И. С., 2015]. По данным М. Х. Атласова, наибольший запас продуктивной влаги в фазе всходов был по no-till, превысив значение показателя по отвальной вспашке и минимальной обработке почвы [Атласов М. Х., 2014]. Подобные результаты приводит R. Kocyigit [Kocyigit R., 2011]. Безотвальное рыхление, по данным А. А. Корчагина с соавторами и М. Ш. Тагирова с соавторами, повышает запас влаги в почве [Корчагин А. А., 2015; Тагиров М. Ш., 2015], как и поверхностная зяблевая обработка почвы [Абрамов Н. В., 2012; Черкасов Г. Н., 2014].

Имеется немало сведений, что прямой посев создаёт более благоприятные условия для роста и развития растений, улучшая структурно-агрегатный состав почвы за счёт увеличения доли агрономически ценной фракции на 2,5–8,3 %, повышения общей пористости на 1–3 %, чем при отвальной обработке [Miller J. J., 1998; Корчагин В. А., 2007; Буренок В. П., 2009; Пери Э., 2011; Коротких Н. А., 2013]. Кроме того выявлено, что при нулевой обработке в слое почвы 0–5 см снижается максимальная температура почвы с 27,9 до 24,7 ^{o}C, увеличивается средний геометрический диаметр почвенных агрегатов с 1,6 до 3,7 мм, в слое 10–20 см уменьшается объёмная плотность почвы [Costa F. S., 2003].

Имеется и другая группа результатов научных исследований, где говорится о негативных последствиях прямого посева, что через несколько лет его применения почвенный профиль дифференцируется, формируя рыхлый поверхностный слой мощностью 0–7 см и уплотнённые нижележащие слои с недостаточной аэрацией, с ухудшенными водными и тепловыми режимами. В таком почвенном профиле почвы плотность её возрастает, а пористость уменьшается, что неблагоприятно сказывается на росте корней, ухудшении питательного режима растений [Нестяк В. С., 2011; Шириев В. М., 2012]. Поэтому на уплотняющихся почвах условия накопления влаги ухудшаются, глубина промачивания уменьшается, влага кон-

центрируется в меньшем слое и быстрее испаряется. Поэтому при нулевой обработке запасы влаги оказываются меньше, особенно в условиях повышенного поверхностного стока, а при отсутствии достаточного количества мульчи нулевая обработка проигрывает глубокой [Кирюшин В. И., 2013].

Для исследования эффективности различных систем и приёмов зяблевой обработки малогумусной дерново-подзолистой почвы в технологии выращивания яровой пшеницы нами (Ленточкин А. М., Широбоков П. Е.) были проведены полевые опыты и получены следующие результаты.

4.1.1. Структурные агрегаты почвы

Любая механическая обработка почвы оказывает влияние на твёрдую фазу почвы, её сложение и структурные агрегаты. Сумма фракций почвы в пределах 10–0,25 мм является наиболее важной в обеспечении благоприятных свойств почвы и потому называется агрономически ценной. Если доля агрономически ценной фракции почвы составляет более 60 %, то это характеризует отличное агрегатное состояние, 60–40 % – хорошее, менее 40 % – неудовлетворительное [Агроэкологическая..., 2005].

В наших исследованиях проведена сравнительная оценка следующих приёмов зяблевой обработки почвы: отвальная вспашка ПЛН-5-35 на глубину до 20 см (контроль); безотвальная чизельная обработка ПЧ-2,5 на глубину до 30 см; мелкая обработка дисковым орудием БДТ-3,0 на глубину до 12 см; мелкая обработка противоэрозионным орудием со стрельчатыми лапами КПЭ-3,8 на глубину до 15 см; мелкая обработка многорядным дисковым орудием КМБД 3×4П на глубину до 10 см; мелкая обработка комбинированным орудием Комбимастер-4,2, имеющем дисковые рабочие органы и клиновидные лапы, на глубину до 15 см; без обработки (no-till).

Исследованные приёмы зяблевой обработки почвы после клевера лугового показали следующие результаты (таблица 27).

Таблица 27 – Влияние приёмов зяблевой обработки почвы на содержание агрономически ценной фракции в пахотном слое в конце вегетации яровой пшеницы, %

Приёмы обработки почвы	Год			2013–2015 гг.		2014–2015 гг.	
	2013	2014	2015	сред.	откл.	сред.	откл.
ПЛН-5-35 (к)	52,0	57,5	62,6	57,3	–	60,0	–
ПЧ-2,5	52,6	55,4	57,9	55,3	–2,0	56,6	–3,4
БДТ-3,0	52,0	56,1	59,7	55,9	–1,4	57,9	–2,1
КПЭ-3,8	62,2	58,6	60,6	60,5	3,2	59,6	–0,4
КМБД 3×4П	59,2	57,9	59,5	58,9	1,6	58,7	–1,3
Комбимастер-4,2	–	60,1	58,0	–	–	59,0	–1,0
Без обработки	59,8	62,5	55,7	59,3	2,0	59,1	–0,9
Среднее	56,3	58,3	59,2	57,9	–	58,7	–
$НСР_{05}$	4,6	4,3	$F_ф < F_{05}$	3,4		$F_ф < F_{05}$	

В острозасушливом 2013 г. после отвальной вспашки ПЛН-5-35 доля агрономически ценной фракции почвы составила 52,0 %, что характеризуется как хороший уровень (60–40 %). Существенно лучшее значение этого показателя было после обработки почвы КПЭ-3,8; КМБД 3×4П и в варианте «без обработки» – соответственно на 10,2; 7,2 и 7,8 %. Увеличение доли агрономически ценной фракции было связано со снижением доли глыбистой фракции. В благоприятном 2014 г. на контрольном варианте доля агрономически ценной фракции составила 57,5 %, а в варианте «без обработки» – существенно больше на 5,0 %. В более увлажнённом 2015 г. доля агрономически ценной фракции по зяблевой отвальной вспашке составила 62,6 %, что характеризует её как отличную. Все другие варианты зяблевой обработки почвы не имели существенных различий с отвальной вспашкой, как и в среднем за годы исследования.

Интегральным показателем структурного состояния почвы является коэффициент структурности, который рассчитывается как отношение массы агрономически ценной фракции (10–0,25 мм) к сумме глыбистой (более 10 мм) и пылевидной фракций (менее 0,25 мм). Если коэффициент структурности будет более 1,5, то агрегатное состояние почвы характеризуется как отличное, если 1,5–0,67 – хорошее, а при значении менее 0,67 – неудовлетворительное [Агроэкологическая…, 2005].

В наших исследованиях коэффициент структурности почвы характеризовался чаще как хороший (таблица 28).

Таблица 28 – Влияние приёмов зяблевой обработки почвы на её коэффициент структурности в пахотном слое в конце вегетации яровой пшеницы

Приёмы обработки почвы	Год			2013–2015 гг.		2014–2015 гг.	
	2013	2014	2015	сред.	откл.	сред.	откл.
ПЛН-5-35 (к)	1,18	1,39	1,80	1,46	–	1,59	–
ПЧ-2,5	1,13	1,27	1,77	1,39	–0,07	1,52	–0,07
БДТ-3,0	1,17	1,30	1,61	1,36	–0,10	1,45	–0,14
КПЭ-3,8	1,73	1,45	1,63	1,60	0,14	1,54	–0,05
КМБД 3×4П	1,50	1,42	1,58	1,50	0,04	1,50	–0,09
Комбимастер-4,2	–	1,54	1,50	–	–	1,52	–0,07
Без обработки	1,62	1,77	1,39	1,60	0,14	1,58	–0,01
Среднее	1,39	1,45	1,61	1,49	–	1,53	–
$НСР_{05}$	0,27	0,27	$F_ф < F_{05}$	$F_ф < F_{05}$		$F_ф < F_{05}$	

Так, в 2013 г. после отвальной зяблевой вспашки коэффициент структурности составлял 1,18. По сравнению с этим вариантом существенно лучшее значение этого показателя было после обработки почвы КПЭ-3,8; КМБД 3×4П и в варианте «без обработки» – соответственно на 0,55; 0,32 и 0,44 ($НСР_{05}$ = 0,27). В 2014 г. в варианте «без обработки» коэффициент структурности почвы был на 0,38 больше, чем по зяблевой отвальной вспашке (контроль – 1,39; $НСР_{05}$ = 0,27). В 2015 г. в большинстве вариантов зяблевой обработки почвы, за исключением варианта «без обработки» и КМБД 3×4П, коэффициент структурности был более 1,50, что характеризует её как имеющую отличное агрегатное состояние. Существенных различий между вариантами не выявлено.

Строгих закономерностей по коэффициенту структурности почвы за годы проведения исследований, когда предшественником яровой пшеницы являлся клевер луговой, не выявлено, но просматривается довольно хорошая тенденция при отсутствии механической обработки почвы. В два года из трёх получено существенное превышение этого показателя по сравнению с отвальной вспашкой, а в среднем за три года его величина составила 1,60, что характеризуется как отличное структурное состояние почвы.

4.1.2. Плотность почвы

Равновесная плотность дерново-подзолистой суглинистой почвы составляет 1,35–1,50 г/см^3 [Агроэкологическая..., 2005; Холзаков В. М., 2006]. При этом оптимальная плотность для зерновых культур составляет 1,1–1,3 г/см^3 [Шевлягин А. И., 1968; Васько В. Т., 2004; Агроэкологическая..., 2005; Холзаков В. М., 2006]. Дрейф, т. е. изменение плотности дерново-подзолистой почвы в течение вегетационного периода имеет значительную величину – 0,17 г/см^3 [Агроэкологическая..., 2005].

Наши исследования не выявили достоверного влияния приёмов зяблевой обработки почвы на плотность её пахотного слоя в конце вегетации яровой пшеницы ни в один из трёх лет исследования (таблица 29). В среднем плотность почвы составила в пределах 1,28–1,29 г/см^3, что характеризует верхний предел оптимального значения для зерновых культур.

Таблица 29 – Влияние приёмов зяблевой обработки почвы на её плотность в пахотном слое в конце вегетации яровой пшеницы, г/см^3

Приёмы обработки почвы	Год			2013–2015 гг.		2014–2015 гг.	
	2013	2014	2015	сред.	откл.	сред.	откл.
ПЛН-5-35 (к)	1,30	1,25	1,27	1,27	–	1,26	–
ПЧ-2,5	1,30	1,28	1,23	1,27	0,00	1,25	–0,01
БДТ-3,0	1,27	1,30	1,31	1,29	0,02	1,30	0,04
КПЭ-3,8	1,22	1,32	1,32	1,29	0,02	1,32	0,06
КМБД 3×4П	1,27	1,29	1,30	1,29	0,02	1,30	0,04
Комбимастер-4,2	–	1,27	1,31	–	–	1,29	0,03
Без обработки	1,31	1,28	1,28	1,29	0,02	1,28	0,02
Среднее	1,28	1,28	1,29	1,28	–	1,29	–
$НСР_{05}$	$F_ф < F_{05}$	$F_ф < F_{05}$	$F_ф < F_{05}$	$F_ф < F_{05}$		$F_ф < F_{05}$	

Исследование изменения плотности почвы в течение вегетационного периода 2015 г. показало, что уплотнение почвы происходило по слоям пахотного горизонта на небольшие величины – соответственно на 0,02 и на 0,03 г/см^3, и это было меньше, чем в научных публикациях для дерново-подзолистой почвы (0,17 г/см^3).

4.1.3. Пористость почвы

Общая пористость почвы представляет собой сумму капиллярной и некапиллярной пористости межагрегатных промежутков. Н. А. Качинский [цит. по: Агроэкологическая…, 2005] предложил оценивать пористость (порозность) пахотного слоя суглинистых и глинистых почв следующим образом: более 70 % – избыточно пористая, 65–55 % – отличная, 55–50 % – хорошая (характерна для окультуренных почв), 50–45 % – удовлетворительная (характерна для освоенных почв), 45–40 % – неудовлетворительная.

Расчёт общей пористости в наших исследованиях показал следующие результаты (таблица 30).

Таблица 30 – Влияние приёмов зяблевой обработки почвы на её пористость в пахотном слое в конце вегетации яровой пшеницы, %

Приёмы обработки почвы	Год			2013–2015 гг.		2014–2015 гг.	
	2013	2014	2015	сред.	откл.	сред.	откл.
ПЛН-5-35 (к)	46,6	52,1	52,0	50,3	–	52,1	–
ПЧ-2,5	50,2	51,0	53,8	51,7	1,4	52,4	+0,3
БДТ-3,0	51,2	50,1	50,7	50,7	0,4	50,4	–1,7
КПЭ-3,8	53,4	49,5	50,2	51,0	0,7	49,9	–2,2
КМБД 3×4П	51,4	50,6	50,8	50,9	0,6	50,7	–1,4
Комбимастер-4,2	–	51,2	50,5	–	–	50,9	–1,2
Без обработки	50,0	51,0	51,7	50,9	–0,6	51,4	–0,7
Среднее	50,5	50,8	51,4	50,9	–	51,1	–
$НСР_{05}$	$F_ф < F_{05}$	$F_ф < F_{05}$	$F_ф < F_{05}$	$F_ф < F_{05}$		1,7	

Во все проведённые годы исследования средняя пористость почвы была немногим более 50 % и характеризовалась как хорошая. Различий между приёмами зяблевой обработки почвы не было выявлено. Лишь в среднем за 2014–2015 гг. обработка почвы БДТ-3,0 и КПЭ-3,8 привели к существенному снижению пористости к концу вегетации яровой пшеницы соответственно на 1,7 и 2,2 % (отвальная вспашка ПЛН-5-35 – 52,1 %; $НСР_{05}$ = 1,7 %).

4.1.4. Влажность почвы

Среднее Предуралье характеризуется достаточным, но неустойчивым увлажнением. Все три года проведения полевых исследований, различающиеся по гидротермическим условиям, характеризовались различной динамикой влажности пахотного слоя почвы, где располагается основная масса корней яровой пшеницы. Наиболее сложные условия были в самом засушливом 2013 г. (рисунок 5).

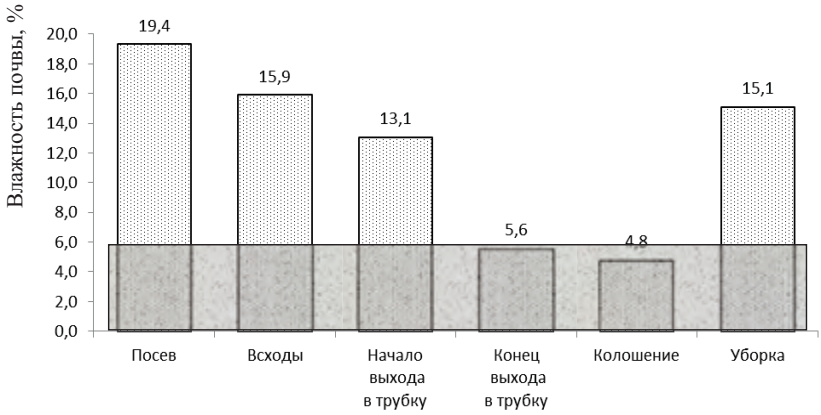

Рисунок 5 – Динамика влажности почвы в течение вегетационного периода 2013 г., % (тёмная заливка обозначает уровень влажности устойчивого завядания, равный 5,7 %)

Определение влажности в пахотном слое почвы показало, что её значение при посеве было достаточным для роста и развития растений, а затем в наиболее критические периоды формирования урожайности, начиная с развития зачаточного колоса в фазе выхода в трубку и до колошения, влага стала недоступной. После колошения на иссушённую почву дождь выпал практически один раз и то в виде сильного ливня (20 мм в сутки), тогда как благоприятными считаются осадки, когда в сутки их выпало не более 5 мм. В последующем дожди стали выпадать часто, но деятельные надземные и подземные части растений уже начали отмирать и эти осадки не могли положительно повлиять на формирование урожайности.

Проведённый анализ и статистическая обработка экспериментальных данных влажности почвы не выявили существенных различий между приёмами обработки почвы в большинстве периодов вегетации (таблица 31).

Таблица 31 – Влияние приёмов зяблевой обработки почвы на её влажность в пахотном слое в течение вегетации яровой пшеницы (2013 г.), %

Приём зяблевой обработки почвы	Посев	Всходы	Начало выхода в трубку	Конец выхода в трубку	Колошение	Уборка
1.ПЛН-5-35 (к)	19,7	15,9	12,8	5,5	5,0	14,9
2.ПЧ-2,5	19,9	16,6	12,6	5,8	4,9	15,9
3.БДТ-3,0	18,9	15,4	13,1	5,3	4,6	14,3
4.КПЭ-3,8	19,8	16,7	13,4	5,2	4,5	14,3
5.КМБД 3×4П	18,7	15,2	12,9	5,5	5,1	15,3
6.Без обработки	19,2	15,6	13,4	6,0	4,7	15,8
$НСР_{05}$	$F_ф < F_{05}$	$F_ф < F_{05}$	$F_ф < F_{05}$	0,5	$F_ф < F_{05}$	1,4

Только в период конца выхода яровой пшеницы в трубку в варианте «без обработки» выявлено существенное увеличение влажности почвы на 0,5 % (отвальная вспашка – 5,5 %; $НСР_{05}$ = 0,5 %).

В наиболее благоприятный вегетационный период 2014 г. также наблюдалась одна фаза, когда влажность пахотного горизонта почвы опускалась ниже доступного уровня (рисунок 6).

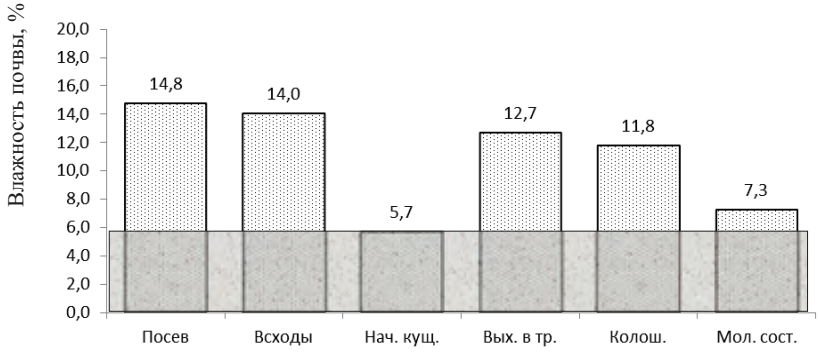

Рисунок 6 – Динамика влажности почвы в течение вегетационного периода 2014 г., % (тёмная заливка обозначает уровень влажности устойчивого завядания, равный 5,7 %)

Но падение влажности почвы в пахотном слое произошло в начальный период вегетации и было непродолжительное время. В остальное вре-

мя вегетационного периода увлажнение пахотного горизонта было достаточным, что обеспечило формирование хорошего уровня урожайности.

Приёмы зяблевой обработки почвы в большинстве случаев не оказали влияние на влажность почвы в пахотном слое (таблица 32).

Таблица 32 – Влияние приёмов зяблевой обработки почвы на её влажность в пахотном слое в течение вегетации яровой пшеницы (2014 г.), %

Приём зяблевой обработки почвы	Посев	Всходы	Начало кущения	Выход в трубку	Колошение	Молочное состояние
1.ПЛН-5-35 (к)	15,4	14,6	6,5	12,9	11,8	6,6
2.ПЧ-2,5	14,7	14,2	6,0	12,6	12,1	7,8
3.БДТ-3,0	14,3	14,3	5,8	12,5	11,4	6,9
4.КПЭ-3,8	14,4	14,3	5,9	13,1	11,5	7,6
5.КМБД 3×4П	14,0	13,7	5,2	12,5	11,7	6,8
6.Комбимастер-4,2	16,1	14,7	5,8	13,0	12,3	7,8
7.Без обработки	14,4	12,4	4,7	12,0	11,4	7,3
$НСР_{05}$	$F_ф < F_{05}$	1,2	$F_ф < F_{05}$	$F_ф < F_{05}$	$F_ф < F_{05}$	$F_ф < F_{05}$

Только в период всходов влажность пахотного слоя почвы в варианте «без обработки» была существенно ниже, чем после отвальной вспашки на 2,2 % (контроль – 14,6 %, $НСР_{05}$ = 1,2 %).

В 2015 г. была отмечена несколько иная динамика влажности почвы, чем в предыдущие годы (рисунок 7).

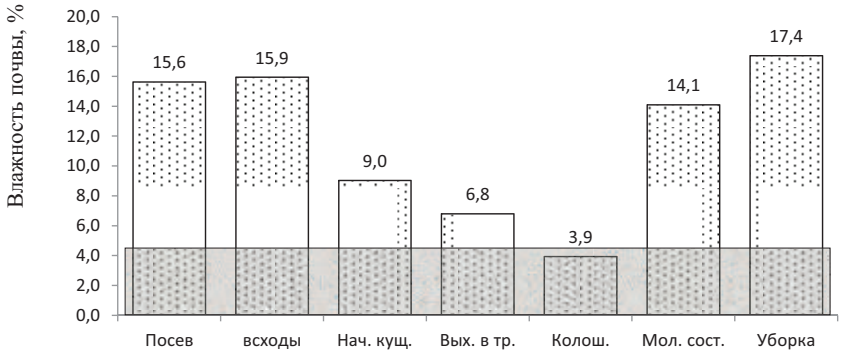

Рисунок 7 – Динамика влажности почвы в течение вегетационного периода 2015 г., % (тёмная заливка обозначает уровень влажности устойчивого завядания, равный 4,3 %)

В условиях, когда во время развития вегетативной части растений наблюдалась высокая среднесуточная температура и дефицит атмосфер-

ных осадков, а в период формирования и налива зерна, наоборот, избыточное количество осадков и пониженная среднесуточная температура воздуха, влажность пахотного слоя почвы снижалась, достигнув в фазе колошения недоступного уровня, а затем стала вновь увеличиваться.

Иначе в этих условиях проявили себя приёмы зяблевой обработки почвы (таблица 33).

Таблица 33 – Влияние приёмов зяблевой обработки почвы на её влажность в пахотном слое в течение вегетации яровой пшеницы (2015 г.), %

Приём зяблевой обработки почвы	Посев	Всходы	Начало кущения	Выход в трубку	Колошение	Молочное состояние	Уборка
1.ПЛН-5-35 (к)	14,6	15,2	8,4	5,9	3,7	14,5	17,7
2.ПЧ-2,5	16,3	15,4	10,3	7,7	3,7	13,8	17,3
3.БДТ-3,0	16,0	16,2	8,5	6,0	3,9	13,3	16,9
4.КПЭ-3,8	14,9	16,1	8,5	6,3	3,7	13,4	16,6
5.КМБД 3×4П	14,9	15,2	9,2	6,6	3,3	14,0	16,3
6.Комбимастер-4,2	14,5	15,0	8,2	6,5	4,1	13,7	17,6
7.Без обработки	18,2	18,5	9,9	8,6	5,3	15,9	19,1
$НСР_{05}$	2,1	2,0	$F_ф < F_{05}$	1,8	1,0	$F_ф < F_{05}$	$F_ф < F_{05}$

Так, в варианте «без обработки» в четыре периода развития пшеницы (посев, всходы, выход в трубку, колошение) влажность почвы в пахотном слое была существенно выше, чем по отвальной вспашке ПЛН-5-35. Кроме того, в фазе выхода в трубку чизельная обработка почвы ПЧ-2,5 также привела к существенному увеличению влажности почвы в пахотном горизонте.

4.2. Влияние приёмов зяблевой обработки почвы на засорённость посевов яровой пшеницы

В России в условиях ухудшения фитосанитарного состояния агроэкосистем потенциальные риски потерь урожая, связанные с распространением сорных растений при выращивании зерновых культур, составляют 0,26 т/га, на всей площади более 25 млн га – 6,64 млн т [Захаренко В. А., 2014]. Сложностью борьбы с сорными растениями является то, что запас

их семян в пахотном слое составляет до 390 млн шт./га [Ирмулатов Б. Р., 2012]. Реализуемые в настоящее время приёмы обработки почвы при выращивании сельскохозяйственных культур оказывают различное влияние как на вегетирующие сорные растения, так и на запас их семян в почве.

4.2.1 Зависимость засорённости посевов от особенностей вегетационного периода

Структура агрофитоценоза в значительной степени определяется выращиваемой культурой, применяемой технологией и особенностью условий вегетационного периода. В наших исследованиях структура агрофитоценоза, представленная растениями яровой пшеницы, клевера лугового и сорняками, значительно различалась в годы проведения исследований. Основными конкурирующими с яровой пшеницей за факторы жизни и формирования урожая организмами были малолетние и многолетние сорные растения, а также сохранившиеся растения клевера лугового (предшественник). Так, в фазе начала кущения яровой пшеницы в 2013 г., когда в мае среднемесячная температура воздуха была выше нормы на 1,1 ^{o}C и осадков выпало 52 % от нормы, наибольшую долю среди засорителей посевов яровой пшеницы были малолетние сорные растения (56–89 шт./м^2) (рисунок 8).

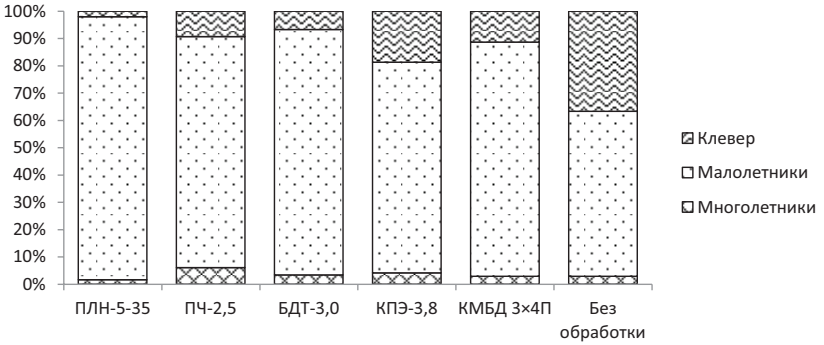

Рисунок 8 – Относительная доля засорителей посевов яровой пшеницы в начале её кущения, 2013 г., %

Многолетние сорняки, не зависимо от приёмов зяблевой обработки почвы, были представлены единичным количеством (1–6 шт./м^2), а густота растений отросшего клевера в значительной степени определялась приёмами зяблевой обработки почвы. Наименьшее количество растений клевера было после отвальной вспашки (2 шт./м^2), а наибольшее в варианте без зяблевой обработки почвы (34 шт./м^2), хотя в период после посева яровой пшеницы и до появления её всходов было проведено опрыскивание системным гербицидом сплошного действия Торнадо 500 (глифосат).

Среди сорных растений наибольшую долю составляли подмаренник цепкий, фиалка полевая, пастушья сумка (таблица 34).

Таблица 34 – Наиболее распространённые сорные растения в посеве яровой пшеницы в начале её кущения, 2013 г.

Наименование сорных растений		Доля в общем количестве, %
Марь белая	*Chenopodium album*	5
Пикульник обыкновенный	*Galeopsis tetrachit*	6
Подмаренник цепкий	*Galium aparine*	27
Горец вьюнковый	*Polygonum convolvulus*	9
Звездчатка средняя	*Stellaria media*	10
Дымянка лекарственная	*Fumaria officinalis*	1
Пастушья сумка	*Capsella bursa-pastoris*	16
Фиалка полевая	*Viola arvensis*	20
Дрёма белая	*Melandrium album*	2
Одуванчик лекарственный	*Taraxacum officinale*	4

В 2014 г. в фазе начала кущения яровой пшеницы, когда в мае среднемесячная температура воздуха была выше нормы на 3,6 ^{o}C и осадков выпало только 44 % от нормы, разнообразие сорных растений стало меньше, чем в предыдущем году, но также наибольшую долю среди засорителей посевов имели малолетние сорняки (11–76 шт./м^2). Отмечается закономерность: чем больше растений клевера в посевах яровой пшеницы, тем меньше малолетних сорных растений. Очевидно, это является результатом действия фитоценотических механизмов между группами растительного сообщества. Поскольку растения клевера являются первичными, присутствующими ещё с осени, то количество малолетних сорных растений развивается тем больше, чем меньше конкурирующего клевера (рисунок 9).

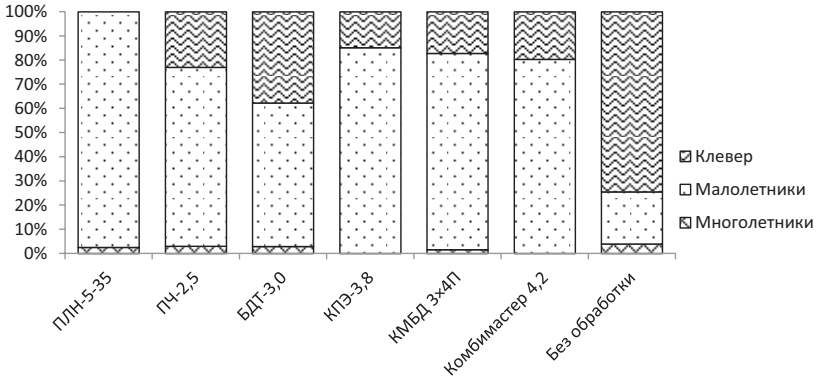

Рисунок 9 – Относительная доля засорителей посевов яровой пшеницы в начале её кущения, 2014 г., %

Многолетние сорные растения, не зависимо от приёмов зяблевой обработки почвы, в посеве яровой пшеницы были представлены единичным количеством (0–3 шт./м^2), а густота растений клевера ещё в большей степени определялась приёмами зяблевой обработки почвы. Так, наибольшее количество растений клевера было в варианте без зяблевой обработки почвы (38 шт./м^2) и после дискования БДТ-3,0 (26 шт./м^2), а после отвальной вспашки растения клевера отсутствовали. Среди сорных растений наибольшую долю составляли ежовник обыкновенный, горец вьюнковый, марь белая (таблица 35).

Таблица 35 – Наиболее распространённые сорные растения в посеве яровой пшеницы в начале её кущения, 2014 г.

Наименование сорных растений		Доля в общем количестве, %
Марь белая	*Chenopodium album*	17
Пикульник обыкновенный	*Galeopsis tetrachit*	9
Подмаренник цепкий	*Galium aparine*	13
Горец вьюнковый	*Polygonum convolvulus*	19
Ежовник обыкновенный	*Echinochloa crus galli*	41

В 2015 г. в фазе начала кущения яровой пшеницы, когда в мае среднемесячная температура воздуха была выше нормы на 3,0 ^{o}С и осадков выпало 85 % от нормы, было отмечено увеличение как разнообразия, так и густоты сорных растений, чем в предыдущие годы, но также наибольшую

долю среди засорителей посевов яровой пшеницы имели малолетние сорные растения (рисунок 10).

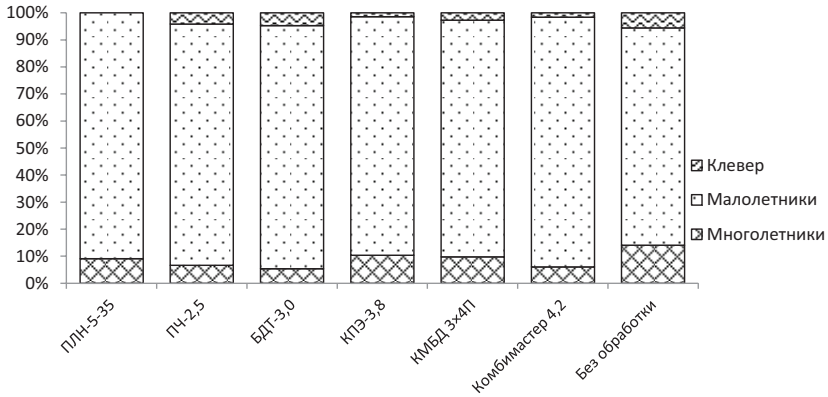

Рисунок 10 – Относительная доля количества засорителей посевов яровой пшеницы в начале её кущения, 2015 г., %

Густота многолетних сорных растений была выше, чем в предыдущие годы (12–28 шт./м^2) и не зависела от приёмов зяблевой обработки почвы. Густота растений клевера, наоборот, была меньше, чем в предыдущие годы. Наибольшее количество растений клевера было в вариантах без зяблевой обработки почвы и после дискования БДТ-3,0 (по 11 шт./м^2), а после отвальной вспашки растения клевера отсутствовали. Среди сорных растений наибольшую долю составляли марь белая, горец вьюнковый, просо куриное (таблица 36).

Таблица 36 – Наиболее распространённые сорные растения в посеве яровой пшеницы в начале её кущения, 2015 г.

Наименование сорных растений		Доля в общем количестве, %
Марь белая	*Chenopodium album*	30
Пикульник обыкновенный	*Galeopsis tetrachit*	5
Подмаренник цепкий	*Galium aparine*	13
Горец вьюнковый	*Polygonum convolvulus*	21
Ежовник обыкновенный	*Echinochloa crus galli*	15
Фиалка полевая	*Viola arvensis*	4
Осот полевой	*Sonchus arvense*	2
Одуванчик лекарственный	*Taraxacum officinale*	1
Пырей ползучий	*Agropyrum repens*	10

Из многолетних сорных растений наибольшую долю представляли растения пырея ползучего, сохранившегося после клевера лугового и отросшего в посевах яровой пшеницы.

Таким образом, засорённость в период кущения посевов яровой пшеницы, размещённой после клевера лугового, убранного на зелёный корм, в значительной мере определяется условиями вегетационного периода: чем лучше увлажнённость, тем выше засорённость. Среди приёмов зяблевой обработки почвы наибольшее влияние на снижение засорённости посевов яровой пшеницы клевером оказывает отвальная вспашка. На густоту малолетних и многолетних сорных растений в посевах яровой пшеницы в начале её кущения изучаемые приёмы механической обработки почвы закономерного влияния не оказали.

4.2.2 Эффективность приёмов зяблевой обработки почвы

В настоящее время в сельскохозяйственном производстве при выращивании сельскохозяйственных культур используются разнообразные системы и приёмы обработки почвы. На смену монопольному распространению отвальной зяблевой обработки почвы при выращивании зерновых культур пришли мелкие и глубокие противоэрозионные обработки, минимальная система с использованием орудий, оснащённых различными рабочими органами (стрельчатые, клиновидные, долотообразные, разнообразные рыхлящие, дисковые), комбинированные почвообрабатывающие агрегаты, система без механической обработки почвы (no-till). Каждая из систем и приём обработки почвы оказывает отличающееся воздействие на почву, характеризуется различной энергетической затратностью, имеет различный эффект в ограничении численности сорных растений. Поэтому в наших исследованиях изучаемые приёмы зяблевой обработки почвы были оценены по характеру развития сорных растений в начале и конце вегетации яровой пшеницы.

Проведение статистической обработки полученных данных количественно-весового учёта засорителей показало следующее влияние приёмов зяблевой обработки почвы на засорённость клевером посевов яровой пшеницы к фазе её кущения (таблица 37).

Таблица 37 – Влияние приёмов зяблевой обработки почвы на засорение клевером посевов яровой пшеницы в фазе её кущения

Вариант	2013–2015 гг.			2014–2015 гг.		
	Среднее	Отклонение		Среднее	Отклонение	
		шт./м^2	%		шт./м^2	%
ПЛН-5-35 (к)	0,5	–	–	0,2	–	–
ПЧ-2,5	13,5	+13,0*	2600	15,1	+14,9*	7450
БДТ-3,0	13,4	+12,9*	2580	17,3	+17,1*	8550
КПЭ-3,8	9,5	+9,0*	1800	6,9	+6,7*	3350
КМБД 3×4П	9,4	+8,9*	1780	8,1	+7,9*	3950
Комбимастер 4,2	–	–	–	8,4	+8,2*	4100
Без обработки	27,7	+27,2*	5440	22,4	+22,2*	11100
* Обратно преобразованные данные. Различия достоверны на 5 % уровне значимости.						

В 2013–2015 гг. исследования отвальная зяблевая вспашка оказалась самой эффективной в уничтожении ранее произрастающих растений клевера к фазе кущения растений яровой пшеницы, где встречались единичные растения. Менее эффективными из изучаемых орудий оказалась обработка тяжёлой дисковой бороной БДТ-3,0 и чизельным плугом ПЧ-2,5. В варианте «без обработки», который предназначен для системы no-till, была наибольшая густота растений клевера: в среднем за три года эта величина превышала показатель отвальной вспашки в 54 раза, а другие приёмы обработки почвы – в 18–26 раз. Аналогичная закономерность была и в среднем за 2014–2015 гг. После применения гербицида Магнум (метсульфурон-метил), действующего на однолетние и многолетние двудольные сорняки, к уборке яровой пшеницы все имеющиеся растения клевера погибли.

Учёт густоты малолетних сорных растений в фазе кущения яровой пшеницы показал, что их густота в значительной степени определяется особенностями вегетационного периода, которые приводят к изменению численности малолетних сорняков в несколько раз (таблица 38).

Таблица 38 – Влияние приёмов зяблевой обработки почвы на засорение малолетними сорняками посевов яровой пшеницы в фазе её кущения

Вариант	2013–2015 гг.			2014–2015 гг.		
	Среднее	Отклонение		Среднее	Отклонение	
		шт./м^2	%		шт./м^2	%
ПЛН-5-35 (к)	114	–	–	121	–	–
ПЧ-2,5	121	+7	6,1	122	+1	0,8
БДТ-3,0	114	0	0	100	–21	17,4
КПЭ-3,8	114	0	0	115	–6	5,0
КМБД 3×4П	122	+8	7,0	110	–11	9,1
Комбимастер 4,2	–	–	–	104	–17	14,0
Без обработки	76	–38	33,3	57*	–64*	52,9
НСР$_{05}$	–	30	–	–	–	–
* Обратно преобразованные данные. Различия достоверны на 5 % уровне значимости.						

В среднем за годы исследования в фазе начала кущения яровой пшеницы густота малолетних сорных растений в варианте «без обработки» была существенно меньше, чем по отвальной вспашке. Мы полаем, что это является следствием закона «обратной связи». Дело в том, что в этом варианте было наибольшее количество растений клевера, который в совокупности с растениями пшеницы и оказал фитоценотическое ингибирующее влияние на появление и развитие малолетних сорных растений.

После применения гербицидов в начале вегетации яровой пшеницы преобладающее большинство малолетних сорных растений бывают уничтожены, но затем при благоприятных условиях до конца вегетационного периода они снова появляются, как это было в наших исследованиях (таблица 39).

Таблица 39 – Влияние приёмов зяблевой обработки почвы на засорение малолетними сорняками посевов яровой пшеницы перед её уборкой

Вариант	2013–2015 гг.			2014–2015 гг.		
	Среднее	Отклонение		Среднее	Отклонение	
		шт./м^2	%		шт./м^2	%
ПЛН-5-35 (к)	39	–	–	67	–	–
ПЧ-2,5	30	–9	23,1	57	–10	14,9
БДТ-3,0	31	–8	20,5	57	–10	14,9
КПЭ-3,8	34	–5	12,8	62	–5	7,5
КМБД 3×4П	40	+1	2,6	75	+8	11,9
Комбимастер 4,2	–	–	–	66	–1	1,5
Без обработки	30	+9	23,1	54	–13	19,4
НСР$_{05}$	–	$F_ф < F_{05}$	–	–	$F_ф < F_{05}$	–

Однако приёмы обработки почвы не оказали закономерного влияния на густоту малолетних сорных растений к периоду уборки яровой пшеницы.

Многолетние сорные растения в посевах яровой пшеницы были распределены неравномерно, очагово. Приёмы зяблевой обработки почвы не оказали существенного влияния на этот тип засорённости посевов ни в период кущения яровой пшеницы, ни перед уборкой (таблицы 40–41).

Таблица 40 – Влияние приёмов зяблевой обработки почвы на засорение многолетними сорняками посевов яровой пшеницы в фазе её кущения
(обратно преобразованные данные)

Вариант	2013–2015 гг.			2014–2015 гг.		
	Среднее	Отклонение		Среднее	Отклонение	
		шт./м^2	%		шт./м^2	%
ПЛН-5-35 (к)	5,7	–	–	8,8	–	–
ПЧ-2,5	6,5	+0,8	14,0	7,4	–1,4	15,9
БДТ-3,0	5,4	–0,3	5,3	5,8	–3,0	34,1
КПЭ-3,8	6,0	+0,3	5,3	8,1	–0,7	8,0
КМБД 3×4П	7,4	+1,7	29,8	7,4	–1,4	15,9
Комбимастер 4,2	–	–	–	6,6	–2,2	25,0
Без обработки	8,7	+3,0	52,6	11,3	+2,5	28,4
НСР$_{05}$	–	$F_ф < F_{05}$	–	–	$F_ф < F_{05}$	–

Таблица 41 – Влияние приёмов зяблевой обработки почвы на засорение многолетними сорняками посевов яровой пшеницы перед её уборкой
(обратно преобразованные данные)

Вариант	2013–2015 гг.			2014–2015 гг.		
	Среднее	Отклонение		Среднее	Отклонение	
		шт./м^2	%		шт./м^2	%
ПЛН-5-35 (к)	2,7	–	–	4,5	–	–
ПЧ-2,5	2,8	+0,1	3,7	3,7	–0,3	6,7
БДТ-3,0	5,5	+2,8	103,7	9,6	+5,6	124,4
КПЭ-3,8	3,4	+0,7	25,9	6,1	+2,1	46,7
КМБД 3×4П	4,4	+1,7	63,0	7,9	+3,9	86,7
Комбимастер 4,2	–	–	–	3,7	–0,3	6,7
Без обработки	5,7	+3,0	111,1	8,8	+4,8	106,7
НСР$_{05}$	–	$F_ф < F_{05}$	–	–	$F_ф < F_{05}$	–

В большинстве случаев не было выявлено закономерного влияния приёмов зяблевой обработки почвы на общую засорённость посевов яровой пшеницы, но в фазе кущения в варианте «без обработки» густота сорных растений была меньше, чем по отвальной вспашке ПЛН-5-35 (таблица 42), что связано с меньшей густотой малолетних сорных растений.

Таблица 42 – Влияние приёмов зяблевой обработки почвы на общую засорённость посевов яровой пшеницы в фазе её кущения (обратно преобразованные данные)

Вариант	2013–2015 гг.			2014–2015 гг.		
	Среднее	Отклонение		Среднее	Отклонение	
		шт./м^2	%		шт./м^2	%
ПЛН-5-35 (к)	113	–	–	132	–	–
ПЧ-2,5	120	+7	6,2	132	0	0
БДТ-3,0	121	+8	7,1	108	–24	18,2
КПЭ-3,8	123	+10	8,8	129	–3	2,3
КМБД 3×4П	137	+24	21,2	122	–10	7,6
Комбимастер 4,2	–	–	–	113	–19	14,4
Без обработки	107	-6	5,3	77	–55*	41,7
НСР$_{05}$	–	$F_ф < F_{05}$	–	–	–	–
*Различия достоверны на 5 % уровне значимости.						

К периоду уборки общая густота сорных растений по вариантам зяблевой обработки почвы существенных различий не имела (таблица 43).

Таблица 43 – Влияние приёмов зяблевой обработки почвы на общую засорённость посевов яровой пшеницы перед её уборкой (обратно преобразованные данные)

Вариант	2013–2015 гг.			2014–2015 гг.		
	Среднее	Отклонение		Среднее	Отклонение	
		шт./м^2	%		шт./м^2	%
ПЛН-5-35 (к)	43,5	–	–	75	–	–
ПЧ-2,5	35,5	–8,0	18,4	65	–10	13,3
БДТ-3,0	41,5	–2,0	4,6	77	+2	2,7
КПЭ-3,8	39,9	–3,6	8,3	75	0	0
КМБД 3×4П	49,3	+5,8	13,3	95	+20	26,7
Комбимастер 4,2	–	–	–	75	0	0
Без обработки	42,1	–1,4	3,2	73	–2	2,7
НСР$_{05}$	–	$F_ф < F_{05}$	–	–	$F_ф < F_{05}$	–

Поскольку в острозасушливом 2013 г. масса сорных растений к периоду уборки яровой пшеницы была незначительной, то их весовой учёт не проводили и здесь приведены средние данные за 2014 и 2015 гг. (таблица 44). Статистическая обработка показала, что приёмы зяблевой обработки почвы не оказали существенного влияния ни на зелёную, ни на воздушно-сухую массу сорных растений в посевах яровой пшеницы к периоду её уборки.

Таблица 44 – Влияние приёмов зяблевой обработки почвы на зелёную и воздушно-сухую массу сорняков в посевах яровой пшеницы перед её уборкой (среднее за 2014–2015 гг.)

Вариант	Зелёная масса			Воздушно-сухая масса		
	Среднее	Отклонение		Среднее	Отклонение	
		г/м^2	%		г/м^2	%
ПЛН-5-35 (к)	67,4	–	–	18,8	–	–
ПЧ-2,5	36,7	–30,7	45,5	10,8	–8,0	42,6
БДТ-3,0	52,5	–14,9	22,1	16,3	–2,6	13,8
КПЭ-3,8	42,2	–25,2	37,4	12,7	–6,1	32,4
КМБД 3×4П	62,8	–4,6	6,8	17,9	–0,9	4,8
Комбимастер 4,2	30,6	–36,8	54,6	9,1	–9,7	51,6
Без обработки	44,1	–23,3	34,6	15,8	–3,0	16,0
$НСР_{05}$	–	$F_ф < F_{05}$	–	–	$F_ф < F_{05}$	–

Таким образом, можно отметить, что среди засорителей посевов яровой пшеницы наибольшую долю составляют малолетние сорные растения. Осеннее дискование клеверища БДТ-7,0, предшествующее другим приёмам зяблевой обработки почвы, приводит к существенному снижению густоты клевера в посевах яровой пшеницы в фазе её кущения на 45 % (контроль – 16,5 шт./м^2); на другие группы сорных растений и их массу, как к кущению, так и к уборке, этот технологический приём существенного влияния не оказал.

Среди изучаемых приёмов зяблевой обработки почвы наиболее эффективным для очищения посевов яровой пшеницы от клевера была отвальная вспашка ПЛН-5-35, где к фазе кущения яровой пшеницы этого засорителя осталось в среднем 0,2–0,5 шт./м^2. Все остальные приёмы зяблевой обработки почвы уступали в эффективности в десятки раз. Среди других групп сорных растений в посевах яровой пшеницы выявлена существенно меньшая густота малолетних сорных растений в фазе кущения культуры в варианте «без обработки», что является следствием большей густоты клевера и отсутствием перемешивания и рыхления почвы, что не стимулирует прорастание семян сорных растений из запаса их в почве. На другие группы сорных растений и их массу, как к кущению, так и к уборке, приёмы зяблевой обработки почвы существенного влияния не оказали.

4.3. Влияние приёмов и систем обработки почвы на урожайность яровой пшеницы, её структуру и экономическую эффективность

4.3.1. Урожайность зерна

Урожайность является основной целью технологии выращивания сельскохозяйственных культур. Трёхлетние исследования приёмов зяблевой обработки почвы после клевера лугового в технологии выращивания яровой пшеницы с использованием сеялки Tume 4, позволяющей осуществлять как прямой посев, так и по подготовленной к посеву почве, показали следующие результаты (таблица 45).

Таблица 45 – Влияние приёмов зяблевой обработки пласта клевера на урожайность яровой пшеницы, т/га (среднее за 2013–2015 гг.)

Приёмы основной обработки почвы	Предварительная обработка почвы		Среднее	Отклонение
	Без дискования (к)	БДТ-7,0		
ПЛН-5-35 (к)	2,47	2,51	2,49	–
ПЧ-2,5	2,26	2,49	2,37	–0,12
БДТ-3,0	2,12	2,26	2,19	–0,30
КПЭ-3,8	2,25	2,37	2,31	–0,18
КМБД 3×4П	2,26	2,45	2,35	–0,14
Без обработки	1,78	2,06	1,92	–0,57
Среднее	2,19	2,35	–	–
Отклонение	–	+0,17	–	–
$НСР_{05}$:	Предварительная обработка		Основная обработка	
частных различий	$F_ф < F_{05}$		0,29	
главных эффектов	$F_ф < F_{05}$		0,15	

Из изучаемых агротехнических приёмов, как показала статистическая обработка урожайных данных, действенными оказались приёмы основной зяблевой обработки почвы. Было выявлено, что предварительное дискование клеверища (рисунок 11) не оказало существенного влияния на урожайность яровой пшеницы.

Рисунок 11 – Дискование клеверища БДТ-7,0

В среднем за три разнообразных по условиям вегетации года наибольшую урожайность зерна яровой пшеницы обеспечила отвальная вспашка плугом ПЛН-5-35 на глубину 18–20 см – 2,49 т/га. Существенно меньшую урожайность дало использование БДТ-3,0 и КПЭ-3,8 соответственно на 0,30 и 0,18 т/га, а также вариант «без обработки» на 0,57 т/га ($НСР_{05}$ = 0,15 т/га). Существенное снижение урожайности в варианте «без обработки» было отмечено также как в сочетании с предварительным дискованием дернины клевера и без него. Приёмы обработки почвы орудиями ПЧ-2,5 и КМБД 3×4П показали статистически одинаковую с ПЛН-5-35 урожайность.

В 2014–2015 гг. в схему опыта был дополнительно включён вариант с обработкой почвы дискокультиватором Комбимастер 4,2, основными рабочими органами которого являются два ряда тяжёлых дисков и три ряда клиновидных культиваторных лап (рисунок 12).

Рисунок 12 – Зяблевая обработка комбинированным орудием Комбимастер 4,2

И за эти, более благоприятные годы были получены сходные результаты (таблица 46).

Таблица 46 – Влияние приёмов зяблевой обработки пласта клевера на урожайность яровой пшеницы, т/га (среднее за 2014–2015 гг.)

Приёмы основной обработки почвы	Предварительная обработка почвы		Среднее	Отклонение
	Без дискования (к)	БДТ-7,0		
ПЛН-5-35 (к)	3,20	3,23	3,21	–
ПЧ-2,5	2,89	3,14	3,01	–0,20
БДТ-3,0	2,74	2,94	2,84	–0,37
КПЭ-3,8	2,98	3,15	3,06	–0,15
КМБД 3×4П	2,96	3,18	3,06	–0,15
Комбимастер 4,2	3,15	3,45	3,30	0,09
Без обработки	2,34	2,69	2,51	–0,70
Среднее	2,89	3,09	–	–
Отклонение	–	+0,20	–	–
$НСР_{05}$:	Предварительная обработка		Основная обработка	
частных различий	$F_ф < F_{05}$		0,41	
главных эффектов	$F_ф < F_{05}$		0,20	

Наибольшую урожайность также дала отвальная вспашки ПЛН-5-35 – 3,21 т/га. Существенно меньшую урожайность получили в варианте «без обработки», при использовании БДТ-3,0 и при глубокой безотвальной вспашке ПЧ-2,5 соответственно на 0,70; 0,37 и 0,20 т/га ($НСР_{05}$ = 0,20 т/га). Существенное снижение урожайности в варианте «без обработки» было отмечено также как в сочетании с предварительным дискованием дернины клевера и без него. Другие приёмы зяблевой обработки почвы орудиями КПЭ-3,8; КМБД 3×4П и Комбимастер 4,2 показали урожайность, статистически одинаковую с отвальной вспашкой.

4.3.2. Структура урожайности

Структура урожайности складывается из нескольких показателей, первым из которых является густота всходов (таблица 47).

Таблица 47 – Влияние приёмов зяблевой обработки пласта клевера на густоту всходов яровой пшеницы, шт./м^2 (среднее за 2013–2015 гг.)

Приёмы основной обработки почвы	Предварительная обработка почвы		Среднее	Отклонение
	Без дискования (к)	БДТ-7,0		
ПЛН-5-35 (к)	346	330	338	–
ПЧ-2,5	336	355	345	+7
БДТ-3,0	343	343	343	+5
КПЭ-3,8	346	342	343	+5
КМБД 3×4П	338	339	338	0
Без обработки	323	337	330	–8
Среднее	338	341	–	–
Отклонение	–	+2	–	–
$НСР_{05}$:	Предварительная обработка		Основная обработка	
частных различий	$F_ф < F_{05}$		$F_ф < F_{05}$	
главных эффектов	$F_ф < F_{05}$		$F_ф < F_{05}$	

Средняя густота всходов яровой пшеницы составила 339 шт./м^2, а полевая всхожесть 57 %. Невысокая полевая всхожесть явилась следствием высокой температуры и низкой влагообеспеченности в посевном слое в период появления всходов. Изучаемые технологические приёмы не оказали существенное влияние на густоту всходов.

Мы проверили оценку соблюдения заданной глубины посева сеялкой Tume 4, предназначенная как для прямого посева, так и по подготовленной почве (таблица 48).

Таблица 48 – Влияние приёмов зяблевой обработки пласта клевера на глубину посева семян яровой пшеницы сеялкой Tume 4, см

Приёмы обработки почвы	Среднее	Отклонение
ПЛН-5-35 (к)	3,5	–
ПЧ-2,5	3,7	+0,2
БДТ-3,0	3,1	–0,4
КПЭ-3,8	3,3	–0,2
КМБД 3×4П	3,2	–0,3
Без обработки	3,1	–0,4
$НСР_{05}$	$F_ф < F_{05}$	

Было выявлено, что глубина посева по различным приёмам обработки почвы существенно не отличалась.

Аналогичные результаты по густоте всходов, как в 2013–2015 гг., были получены и в среднем за 2014–2015 гг. (таблица 49).

Таблица 49 – Влияние приёмов зяблевой обработки пласта клевера на густоту всходов яровой пшеницы, шт./м^2 (среднее за 2014–2015 гг.)

Приёмы основной обработки почвы	Предварительная обработка почвы		Среднее	Отклонение
	Без дискования (к)	БДТ-7,0		
ПЛН-5-35 (к)	342	321	331	–
ПЧ-2,5	334	346	339	+8
БДТ-3,0	334	331	332	+1
КПЭ-3,8	324	329	326	–5
КМБД 3×4П	327	322	324	–7
Комбимастер 4,2	323	329	326	–5
Без обработки	300	319	309	–22
Среднее	326	329	–	–
Отклонение	–	+3	–	–
$НСР_{05}$:	Предварительная обработка		Основная обработка	
частных различий	$F_ф < F_{05}$		$F_ф < F_{05}$	
главных эффектов	$F_ф < F_{05}$		$F_ф < F_{05}$	

И в эти годы также ни один из изучаемых технологических приёмов не оказал существенное влияние на густоту всходов.

На густоту продуктивных растений перед уборкой большая часть приёмов обработки почвы оказали существенное влияние (таблица 50).

Таблица 50 – Влияние приёмов зяблевой обработки пласта клевера на густоту продуктивных растений яровой пшеницы, шт./м^2 (среднее за 2013–2015 гг.)

Приёмы основной обработки почвы	Предварительная обработка почвы		Среднее	Отклонение
	Без дискования (к)	БДТ-7,0		
ПЛН-5-35 (к)	313	322	317	–
ПЧ-2,5	341	347	344	+27
БДТ-3,0	316	325	321	+4
КПЭ-3,8	326	355	340	+23
КМБД 3×4П	316	346	330	+13
Без обработки	339	348	343	+26
Среднее	325	340	–	–
Отклонение	–	+15	–	–
НСР$_{05}$:	Предварительная обработка		Основная обработка	
частных различий	51		38	
главных эффектов	15		19	

В среднем за три года проведение предварительного дискования клеверища увеличило густоту продуктивных растений на 15 шт./м^2 (контроль – 325 шт./м^2; НСР$_{05}$ = 15 шт./м^2). Из приёмов обработки почвы повысили густоту продуктивных растений по сравнению со вспашкой (317 шт./м^2) следующие приёмы: ПЧ-2,5 – на 27 шт./м^2, КПЭ-3,8 – на 23 шт./м^2, «без обработки» – на 26 шт./м^2 (НСР$_{05}$ = 19 шт./м^2).

Несущественным оказалось действие всех изучаемых технологических приёмов на густоту продуктивных растений в среднем за более благоприятные 2014–2015 гг. (таблица 51).

Таблица 51 – Влияние приёмов зяблевой обработки пласта клевера на густоту продуктивных растений яровой пшеницы, шт./м^2 (среднее за 2014–2015 гг.)

Приёмы основной обработки почвы	Предварительная обработка почвы		Среднее	Отклонение
	Без дискования (к)	БДТ-7,0		
ПЛН-5-35 (к)	343	350	346	–
ПЧ-2,5	370	359	364	+18
БДТ-3,0	345	348	346	0
КПЭ-3,8	357	382	369	+23
КМБД 3×4П	349	363	356	+10
Комбимастер 4,2	379	365	372	+26
Без обработки	354	358	356	+10
Среднее	356	361	–	–
Отклонение	–	+5	–	–
НСР$_{05}$:	Предварительная обработка		Основная обработка	
частных различий	$F_ф < F_{05}$		$F_ф < F_{05}$	
главных эффектов	$F_ф < F_{05}$		$F_ф < F_{05}$	

Сорта яровой пшеницы, возделываемые в Среднем Предуралье имеют непродолжительный вегетационный период и являются слабокустящимися. Потому густота продуктивного стеблестоя не на много превышала значения густоты продуктивных растений и практически сохранились те же закономерности влияния изучаемых технологических приёмов, что и на густоту продуктивных растений (таблица 52).

Таблица 52 – Влияние приёмов зяблевой обработки пласта клевера на густоту продуктивного стеблестоя яровой пшеницы, шт./м^2 (среднее за 2013–2015 гг.)

Приёмы основной обработки почвы	Предварительная обработка почвы		Среднее	Отклонение
	Без дискования (к)	БДТ-7,0		
ПЛН-5-35 (к)	320	334	327	–
ПЧ-2,5	350	356	353	+26
БДТ-3,0	326	333	329	+2
КПЭ-3,8	335	365	350	+23
КМБД 3×4П	323	353	337	+10
Без обработки	349	359	354	+27
Среднее	333	350	–	–
Отклонение	–	+16	–	–
НСР$_{05}$:	Предварительная обработка		Основная обработка	
частных различий	53		39	
главных эффектов	15		19	

В среднем за три года проведение предварительного дискования клеверища увеличило густоту продуктивных растений на 16 шт./м^2 (контроль – 333 шт./м^2; НСР$_{05}$ = 15 шт./м^2). Из приёмов обработки почвы повысили густоту продуктивного стеблестоя по сравнению со вспашкой (327 шт./м^2) применение следующих орудий: ПЧ-2,5 – на 26 шт./м^2, КПЭ-3,8 – на 23 шт./м^2, «без обработки» – на 27 шт./м^2 (НСР$_{05}$ = 19 шт./м^2).

В среднем за 2014–2015 гг. предварительное дискование и приёмы основной обработки почвы не оказали существенное влияние на густоту продуктивного стеблестоя (таблица 53).

Таблица 53 – Влияние приёмов зяблевой обработки пласта клевера на густоту продуктивного стеблестоя яровой пшеницы, шт./м^2 (среднее за 2014–2015 гг.)

Приёмы основной обработки почвы	Предварительная обработка почвы		Среднее	Отклонение
	Без дискования (к)	БДТ-7,0		
ПЛН-5-35 (к)	354	365	359	–
ПЧ-2,5	380	370	375	+16
БДТ-3,0	358	359	358	–1
КПЭ-3,8	369	396	382	+23
КМБД 3×4П	358	374	366	+7
Комбимастер 4,2	392	378	384	+25
Без обработки	368	374	371	+12
Среднее	368	374	–	–
Отклонение	–	+6	–	–
НСР$_{05}$:	Предварительная обработка		Основная обработка	
частных различий	$F_ф < F_{05}$		$F_ф < F_{05}$	
главных эффектов	$F_ф < F_{05}$		$F_ф < F_{05}$	

Иное влияние изучаемые технологические приёмы оказали на показатели продуктивности колоса. Проведённая статистическая обработка показала, что в среднем за три года наибольшее формирование количества зёрен в колосе яровой пшеницы обеспечила отвальная вспашка – 17,3 шт. (таблица 54).

Таблица 54 – Влияние приёмов зяблевой обработки пласта клевера на озернённость колоса яровой пшеницы, шт. (среднее за 2013–2015 гг.)

Приёмы основной обработки почвы	Предварительная обработка почвы		Среднее	Отклонение
	Без дискования (к)	БДТ-7,0		
ПЛН-5-35 (к)	16,7	17,8	17,3	–
ПЧ-2,5	16,4	16,3	16,3	–1,0
БДТ-3,0	15,4	15,9	15,6	–1,7
КПЭ-3,8	14,8	16,0	15,4	–1,9
КМБД 3×4П	15,0	16,5	15,7	–1,6
Без обработки	14,0	15,7	14,8	–2,5
Среднее	15,4	16,3	–	–
Отклонение	–	+1,0	–	–
НСР$_{05}$:	Предварительная обработка		Основная обработка	
частных различий	$F_ф < F_{05}$		2,2	
главных эффектов	$F_ф < F_{05}$		1,1	

Все изучаемые приёмы основной обработки почвы, кроме ПЧ-2,5, привели к существенному снижению количества зёрен в колосе яровой пшеницы на 1,6–2,5 шт. (НСР$_{05}$ = 1,1 шт.).

В среднем за 2014–2015 гг. были получены подобные результаты (таблица 55).

Таблица 55 – Влияние приёмов зяблевой обработки пласта клевера на озернённость колоса яровой пшеницы, шт. (среднее за 2014–2015 гг.)

Приёмы основной обработки почвы	Предварительная обработка почвы		Среднее	Отклонение
	Без дискования (к)	БДТ-7,0		
ПЛН-5-35 (к)	19,3	19,6	19,4	–
ПЧ-2,5	18,5	17,6	18,0	–1,4
БДТ-3,0	17,2	17,8	17,5	–1,9
КПЭ-3,8	17,3	18,2	17,7	–1,7
КМБД 3×4П	16,8	18,4	17,6	–1,8
Комбимастер 4,2	18,6	19,3	18,9	–0,5
Без обработки	17,0	18,7	17,8	–1,6
Среднее	17,8	18,5	–	–
Отклонение	–	+0,7	–	–
$НСР_{05}$:	Предварительная обработка		Основная обработка	
частных различий	$F_ф < F_{05}$		2,3	
главных эффектов	$F_ф < F_{05}$		1,2	

Наибольшее количество зёрен в колосе было получено при обработке почвы ПЛН-5-35 и Комбимастер 4,2 – соответственно 19,4 и 18,8 шт. Другие приёмы обработки почвы существенно уступили отвальной вспашке на 1,4–1,9 шт. ($НСР_{05}$ = 1,2 шт.).

Другой показатель продуктивности колоса – масса 1000 зёрен также в среднем за три года был наибольшим (33,6 г) после обработки почвы ПЛН-5-35 (таблица 56).

Таблица 56 – Влияние приёмов зяблевой обработки пласта клевера на массу 1000 зёрен яровой пшеницы, г (среднее за 2013–2015 гг.)

Приёмы основной обработки почвы	Предварительная обработка почвы		Среднее	Отклонение
	Без дискования (к)	БДТ-7,0		
ПЛН-5-35 (к)	33,3	34,0	33,6	–
ПЧ-2,5	33,2	34,2	33,7	+0,1
БДТ-3,0	33,1	32,6	32,8	–0,8
КПЭ-3,8	33,3	33,4	33,3	–0,3
КМБД 3×4П	33,1	33,1	33,1	–0,5
Без обработки	32,1	33,1	32,6	–1,0
Среднее	33,0	33,4	–	–
Отклонение	–	+0,4	–	–
$НСР_{05}$:	Предварительная обработка		Основная обработка	
частных различий	$F_ф < F_{05}$		1,5	
главных эффектов	$F_ф < F_{05}$		0,8	

Отвальной вспашке уступили по влиянию на крупность зерна обработка БДТ-3,0 и «без обработки», существенно снизив массу 1000 зёрен соответственно на 0,8 и 1,0 г ($НСР_{05}$ = 0,8 г). Другие приёмы обработки почвы не оказали существенного влияния на данный показатель.

В среднем за 2014–2015 гг. изучаемые технологические приёмы не оказали существенного влияния на массу 1000 зёрен (таблица 57).

Таблица 57 – Влияние приёмов зяблевой обработки пласта клевера на массу 1000 зёрен яровой пшеницы, г (среднее за 2014–2015 гг.)

Приёмы основной обработки почвы	Предварительная обработка почвы		Среднее	Отклонение
	Без дискования (к)	БДТ-7,0		
ПЛН-5-35 (к)	36,9	37,5	37,2	–
ПЧ-2,5	36,6	37,7	37,1	–0,1
БДТ-3,0	36,6	36,5	36,6	–0,6
КПЭ-3,8	36,7	37,1	36,9	–0,3
КМБД 3×4П	36,5	36,9	36,7	–0,5
Комбимастер 4,2	36,7	37,6	37,1	–0,1
Без обработки	36,0	36,6	36,3	–0,9
Среднее	36,5	37,1	–	–
Отклонение	–	+0,6	–	–
$НСР_{05}$:	Предварительная обработка		Основная обработка	
частных различий	$F_ф < F_{05}$		$F_ф < F_{05}$	
главных эффектов	$F_ф < F_{05}$		$F_ф < F_{05}$	

Все изучаемые технологические приёмы в среднем за три года оказали существенное влияние на продуктивность колоса, которая определяется как количеством зёрен, так и их тяжеловесностью (таблица 58).

Таблица 58 – Влияние приёмов зяблевой обработки пласта клевера на продуктивность колоса яровой пшеницы, г (среднее за 2013–2015 гг.)

Приёмы основной обработки почвы	Предварительная обработка почвы		Среднее	Отклонение
	Без дискования (к)	БДТ-7,0		
ПЛН-5-35 (к)	0,58	0,62	0,60	–
ПЧ-2,5	0,56	0,57	0,56	–0,04
БДТ-3,0	0,53	0,53	0,53	–0,07
КПЭ-3,8	0,51	0,55	0,53	–0,07
КМБД 3×4П	0,51	0,56	0,53	–0,07
Без обработки	0,47	0,54	0,51	–0,09
Среднее	0,52	0,56	–	–
Отклонение	–	+0,04	–	–
$НСР_{05}$:	Предварительная обработка		Основная обработка	
частных различий	0,03		0,08	
главных эффектов	0,01		0,04	

Предварительное дискование клеверища БДТ-7,0 способствовало повышению продуктивности колоса на 0,04 г (контроль – 0,52 г; $НСР_{05}$ = 0,01 г).

Наибольшая продуктивность колоса получена при использовании отвальной вспашки ПЛН-5-35, которая составила 0,60 г. Все остальные приёмы основной обработки почвы существенно уступили отвальной вспашке на 0,04–0,09 г ($НСР_{05}$ = 0,04 г).

В среднем за 2014–2015 гг. предварительное дискование клеверища БДТ-7,0 не оказало существенного влияния на продуктивность колоса яровой пшеницы (таблица 59).

Таблица 59 – Влияние приёмов зяблевой обработки пласта клевера на продуктивность колоса яровой пшеницы, г (среднее за 2014–2015 гг.)

Приёмы основной обработки почвы	Предварительная обработка почвы		Среднее	Отклонение
	Без дискования (к)	БДТ-7,0		
ПЛН-5-35 (к)	0,72	0,74	0,72	–
ПЧ-2,5	0,68	0,66	0,67	–0,05
БДТ-3,0	0,63	0,65	0,64	–0,08
КПЭ-3,8	0,64	0,68	0,66	–0,06
КМБД 3×4П	0,62	0,68	0,65	–0,07
Комбимастер 4,2	0,68	0,73	0,70	–0,02
Без обработки	0,61	0,69	0,65	–0,07
Среднее	0,65	0,69	–	–
Отклонение	–	+0,03	–	–
$НСР_{05}$:	Предварительная обработка		Основная обработка	
частных различий	$F_ф < F_{05}$		0,10	
главных эффектов	$F_ф < F_{05}$		0,05	

Среди приёмов основной обработки почвы отвальная вспашка ПЛН-5-35 и обработка Комбимастер 4,2 обеспечили наибольшее значение продуктивности колоса – соответственно 0,72 и 0,70 г. Остальные приёмы обработки почвы вызвали существенное снижение продуктивности колоса по сравнению с отвальной вспашкой на 0,05–0,08 г ($НСР_{05}$ = 0,05 г).

Таким образом, среди приёмов зяблевой обработки пласта клевера лугового отвальная вспашка ПЛН-5-35 стабильно по годам обеспечивает высокие значения урожайности зерна яровой пшеницы, в среднем составившее 2,49 т/га, которому существенно уступили: «без обработки» – на 0,57 т/га, БДТ-3,0 – на 0,30 т/га, КПЭ-3,8 – на 0,18 т/га ($НСР_{05}$ = 0,15 т/га);

глубокая чизельная обработка ПЧ-2,5 и дискатор КМБД 3×4П обеспечили формирование урожайности, близкой отвальной вспашке. Не уступает отвальной вспашке и обработка почвы орудием Комбимастер 4,2. Расчётами установлено, что урожайность имеет сильную положительную корреляционную зависимость (r) от показателей продуктивности колоса: масса 1000 зёрен – 0,73, количество зёрен в колосе – 0,75, продуктивность колоса – 0,76; с густотой продуктивного стеблестоя проявилась слабая положительная корреляционная зависимость – 0,24.

4.3.3. Эффективность систем обработки почвы

Система обработки почвы – это совокупность способов и приёмов обработок почвы, выполняемых в определённой взаимосвязанной последовательности, обусловленных биологией возделываемых культур, их местом в севообороте и зональными почвенно-климатическими особенностями. В нашем случае мы предлагаем изучаемые приёмы обработки почвы отнести к следующим системам: **отвальная** – вспашка отвальным плугом ПЛН-5-35 в сочетании с предварительным дискованием БДТ-7,0; **противоэрозионная глубокая** – обработка ПЧ-2,5; **минимальная**, предполагающая уменьшение глубины обработки и снижение энергетических затрат, – обработка орудиями БДТ-3,0, КПЭ-3,8, КМБД 3×4П, Комбимастер 4,2, которые сочетались с предварительным дискованием БДТ-7,0; **нулевая** (no-till) – исключающая механическую обработку почвы, но требующая применения гербицида сплошного действия (Торнадо 500).

Сочетания изучаемых нами приёмов зяблевой обработки почвы в технологии выращивания яровой пшеницы, размещаемой после клевера лугового, были отнесены к разным системам, эффективность которых, а также система No-till, определены в сравнении с традиционной Нечернозёмной зоны отвальной системой зяблевой обработки почвы, состоящей из предварительного дискования и последующей отвальной вспашки (таблица 60).

Таблица 60 – Влияние систем зяблевой обработки почвы на урожайность яровой пшеницы, т/га

Системы обработки почвы		2013–2015 гг.			2014–2015 гг.		
		сред-нее	отклонение		сред-нее	отклонение	
			т/га	%		т/га	%
Отвальная (БДТ-7 + ПЛН-5-35)		2,41	–	–	3,06	–	–
Противоэрозионная глубокая (ПЧ-2,5)		2,20	–0,21	–8,7	2,87	–0,19	–6,2
Мини-мальная	БДТ-7 + БДТ-3	2,10	–0,31	–12,9	2,72	–0,34	–11,1
	БДТ-7 + КПЭ-3,8	2,24	–0,17	–7,1	3,31	+0,25	+8,2
	БДТ-7 + КМБД 3×4П	2,43	+0,02	+0,8	3,19	+0,13	+4,2
	БДТ-7 + Комбимастер 4,2	–	–	–	3,50	+0,44	+14,4
No-till (без обработки + Торнадо 500)		2,00	–0,41	–17,0	2,65	–0,41	–13,4

Было выявлено, что отвальная система обработки дернины клевера лугового в среднем за три года, включающего острозасушливый 2013 г., обеспечила формирование наибольшей урожайности зерна яровой пшеницы 2,41 т/га. Близкий уровень урожайности был получен в варианте минимальной системы обработки почвы, состоящий из сочетания дискования БДТ-7,0 и обработки четырёхрядным дисковым орудием КМБД 3×4П. В остальных случаях обработки почвы урожайность яровой пшеницы была на 7–13 % ниже, чем по отвальной системе. Самая низкая урожайность получена по системе No-till, уступив отвальной системе на 17 %.

Данные эффективности различных систем обработки почвы в формировании урожайности яровой пшеницы в более благоприятные 2014–2015 гг. были несколько иными. Во-первых, уровень урожайности был выше, чем в среднем за 2013–2015 гг. Во-вторых, традиционная система обработки дернины клевера лугового обеспечила формирование хорошего уровня урожайности яровой пшеницы 3,06 т/га. В-третьих, превышение над отвальной системой обеспечили системы минимальной обработки почвы с использованием следующих орудий: дискокультиватор Комбимастер 4,2 – на 14 %, культиватор противоэрозионный со стрельчатыми лапами КПЭ-3,8 – на 8 % и четырёхрядное дисковое орудие КМБД 3×4П – на 4 %. В-четвёртых, уступили отвальной системе глубокая противоэрозионная обработка ПЧ-2,5 на 6 %, а система No-till – на 13 %.

4.3.4. Экономическая эффективность

Расчёт экономической эффективности показал, что традиционная отвальная обработка пласта многолетних трав (дискование + вспашка), принимаемая за контроль, при уровне урожайности 3,06 т/га потребовала инвестиций на сумму 10644 руб./га, что привело к формированию производственной себестоимости 1 т зерна в размере 3478 руб.

Сравнительная оценка четырёх вариантов минимальной системы обработки почвы показала, что все они менее затратны, чем традиционная обработка, но наилучшим среди них оказалось применение сочетания дискования БДТ-7,0 и обработки дискокультиватором Комбимастер 4,2, что позволяет сократить производственные затраты на 21,9 %, обеспечивает снижение себестоимости 1 т зерна на 29,5 %.

Противоэрозионная глубокая система обработки оказалась самой затратной из всех рассмотренных вариантов, что обусловлено высокой энерго- и трудоёмкостью этой технологии и, как следствие, была получена достаточно высокая производственная себестоимость 1 т зерна – 3719 руб., что выше уровня контрольного варианта на 6,9 %.

Нулевая система обработки почвы (No-till) также оказалась достаточно затратной: экономия затрат трудовых, материальных и энергетических ресурсов при прямом посеве перекрываются дополнительными затратами на обработку глифосат-содержащим гербицидом Торнадо 500. К тому же этот вариант показал самый низкий уровень урожайности – 2,65 т/га, что обусловило самую большую производственную себестоимость 1 т – 3895 руб., превышающую уровень контрольного варианта на 11,9 %.

Таким образом, наибольший экономический интерес и возможности расширенного воспроизводства у зернопроизводящих хозяйств в технологии выращивания яровой пшеницы после клевера лугового представляет минимальная система обработки почвы, предполагающая сочетание диско-

вания и обработки дискокультиватором Комбимастер 4,2. Этот вариант обеспечил максимальную экономию производственных затрат, наибольшее увеличение урожайности и стоимости валовой продукции. Как следствие, были получены самый высокий уровень рентабельности и коэффициент эффективности. Все другие системы минимальной обработки почвы тоже оказались существенно лучше традиционного варианта отвальной вспашки с предварительным дискованием клеверища.

5. РЕАКЦИЯ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ НА ПРИЁМЫ ПРЕДПОСЕВНОЙ И ПОСЛЕПОСЕВНОЙ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ

Предпосевная обработка почвы предназначена для создания условий качественного посева, стимулирования роста и развития корневой системы культурных растений, обеспечения доступ к ним питательных веществ и максимального сохранения влаги. Обработка должна сохранять оптимальную структуру почвы и её плодородие, предохранять от эрозионных процессов. Она не должна быть чрезмерно энергозатратной, занимать как можно меньше времени и не быть очень дорогой [Обработка почвы…, 2004].

Установлено, что при высокой затратности обработки почвы её долевое участие в повышении урожайности сельскохозяйственных культур составляет 0,6–15,2 % и особенно ощутимо в засушливые вегетационные периоды [Ревякин Е. Л., 1981; Кулаковская Т. Н., 1982; Пупонин А. И., 1984; Манжосов В. П., 1990].

5.1. Предпосевная обработка почвы

Основной задачей предпосевной обработки почвы является разрыхление почвы, создание мелкокомковатой её структуры, выравнивание и оптимальное уплотнение верхнего слоя почвы [Кузнецов Ю. И., 1987; Дроздов В. Н., 1988].

Важнейшим звеном эффективной системы обработки почвы под яровую пшеницу является раннее весеннее боронование зяби. С целью сохранения в почве влаги рекомендуется проведение боронования в сжатые сроки, в течение 2–3 дней тяжёлыми зубовыми боронами в 1–2 следа [Яровая мягкая пшеница…, 1999; Технология возделывания…, 2001; Обработка почвы…, 2004]. Разрыхлённый верхний слой почвы на глубину 4–5 см не только уменьшает испарение влаги, но и способствует быстрому прогрева-

нию почвы, уничтожает проростки сорняков, улучшает аэрацию почвы, тем самым ускоряя сроки посева, что очень важно для повышения урожайности ранних яровых культур, в том числе и пшеницы [Кольцов А. С., 1970; Ресурсосберегающие…, 2005; Макаров В. И., 2008]. Запаздывание с этим агроприёмом влечёт большие потери почвенной влаги: не заборонованная зябь теряет за сутки влагу от 15 до 60 т/га [Яровая мягкая пшеница..., 1999].

Яровая пшеница в Нечернозёмной зоне требует ранних сроков посева, поэтому В. Х. Яковлев и др. считают возможным заменить предпосевную культивацию предпосевным боронованием или ограничиться ранневесенним боронованием, что обеспечивает прибавку урожайности зерновых (яровой пшеницы в том числе) 0,3–0,4 т/га [Яковлев В. Х., 2004]. После пропашных культур, на чистых от сорняков полях, на слабозаплывающих почвах сразу после боронования можно приступать к посеву [Яровая мягкая пшеница..., 1999], так же как на почвах лёгкого гранулометрического состава [Макарова В. М., 1995].

На засорённых полях, в пониженных местах, при влажной осени и при обильном снежном покрове почвы иногда настолько уплотняются с поверхности, что одним боронованием не удаётся их достаточно разрыхлить. В этом случае целесообразно применять традиционную предпосевную культивацию [Иванов П. К., 1971; Макарова В. М., 1995].

В годы, когда во время предпосевной культивации и посева стоит сухая погода и почва с поверхности подсыхает, положительные результаты даёт прикатывание почвы кольчато-шпоровыми катками до или после посева [Дорофеев В. Ф., 1983]. По мнению Г. Г. Данилова, прикатывание уменьшает скважность почвы и ослабляет её «вентиляцию», снижает поверхностное испарение влаги. Положительная роль уплотнения заключается не в лучшем сохранении влаги в корнеобитаемом слое почвы, а в перераспределении количества влаги в почвенном профиле, в увеличении её запасов в посевном слое почвы [Данилов Г. Г., 1982].

Предпосевное прикатывание способствует улучшению прогревания пахотного слоя почвы на 2–3 ºС [Шевлягин А. И., 1968], обеспечивая появление более ранних и дружных всходов. Прикатывание способствует также созданию однородного, равномерно уплотнённого верхнего слоя почвы, что позволяет более равномерно заделать семена, снабдить их влагой, повысить полевую всхожесть и увеличить урожайность зерна [Крашенинников Н. Н., 1963; Куклина А. И., 1976]. При посеве в предварительно прикатанную почву на заданной глубине располагается до 80–90 % семян [Неттевич Э. Д.,1976; Беляков И. И., 1985] и даже до 98,5 % [Крашенинников Н. Н.,1963].

Благодаря прикатыванию всходы пшеницы появляются на 1–2 дня раньше и густота всходов возрастает даже до 10–11 % [Олексеенко Ю. Ф., 1991], что обеспечивает увеличение урожайности на 1,5–2,0 ц/га [Пруцков М. Ф., 1982; Агротехнические…, 2001]. Пшеница на прикатанных полях созревала дружнее, меньше было подгона [Неттевич Э. Д., 1976]. Кроме того после прикатывания обеспечивается меньшая восприимчивость пшеницы к возбудителям корневых гнилей и к повреждению растений шведской мухой, что улучшает развитие вторичной корневой системы на 14,9–20,5 % и повышает урожайность зерна на 17,7–23,4 % [Чулкина В. А., 2000].

В то же время, во влажную погоду, а также на почвах тяжёлого гранулометрического состава, подверженных переувлажнению, прикатывание не рекомендуется, поскольку в этом случае образуется корка, препятствующая росту и развитию растений, и ухудшается воздушный режим [Неттевич Э. Д., 1976; Данилов Г. Г., 1982].

5.1.1. Урожайность

В результате наших трёхлетних исследований (2003–2005 гг.) было выявлено, что в технологии выращивания яровой пшеницы Иргина замена традиционной культивации КПС-4 совместно с боронами БЗТС-1,0 на

энергосберегающее и высокопроизводительное боронование сцепкой зубовых борон БЗТС-1,0 в два следа не привела к снижению урожайности зерна яровой пшеницы Иргина, напротив, даже несколько повышала её (таблица 61).

Таблица 61 – Реакция яровой пшеницы на приёмы предпосевной обработки почвы (среднее за три года)

Приём предпосевной обработки почвы	Средняя урожайность, т/га	Отклонение	
		т/га	%
КПС-4 + БЗТС-1,0 (фон)	1,77	–	–
БЗТС-1,0 в два следа	1,92	+0,15	+8
$НСР_{05}$	–	0,12	–
Фон + 3ККШ-6А до посева	1,95	+0,18	+10
$НСР_{05}$	–	0,12	–

В среднем за три года предпосевное обработка почвы тяжёлыми боронами в два следа обеспечило прибавку урожайности 0,15 т/га ($НСР_{05}$ – 0,12 т/га), или 8 %. Прибавка урожайности обусловлена увеличением массы зерна колоса в этом варианте на 0,08 г (контроль – 0,63 г). При этом густота продуктивного стеблестоя значительно не различалась, составив по предпосевному боронованию 402 шт./м^2 (контроль – 405 шт./м^2).

В среднем за годы исследований прикатывание кольчато-шпоровыми катками обеспечило достоверную прибавку урожайности 0,18 т/га ($НСР_{05}$ – 0,12 т/га), или 10 %, что связано с увеличением массы зерна колоса на 0,06 г (контроль – 0,63 г) при густоте продуктивного стеблестоя 389 шт./м^2 (контроль – 405 шт./м^2).

5.1.2. Агрофизические свойства почвы

Начало весенне-полевых работ определяется физической спелостью почвы. Одним из основных критериев данного состояния является влажность почвы (таблица 62).

Таблица 62 – Влияние приёмов предпосевной обработки почвы на её влажность после посева (среднее за три года)

Приём предпосевной обработки почвы	Влажность почвы по слоям, %	
	0–10 см	10–20 см
КПС-4 + БЗТС-1,0 (фон)	17,4	19,0
БЗТС-1,0 в два следа	16,7	18,0
$НСР_{05}$	$F_{05} < F_T$	$F_{05} < F_T$
Фон + 3ККШ-6А до посева	17,4	18,0
$НСР_{05}$	$F_ф < F_{05}$	$F_ф < F_{05}$

В среднем за три года при замене предпосевной культивации почвы боронованием, как и прикатывание до посева обеспечивают её влажность в обоих слоях на уровне контроля.

Сельскохозяйственные растения могут давать высокие и стабильные урожаи только в условиях оптимальной плотности пахотного слоя почвы. Известно, что оптимальная плотность почвы для зерновых культур находится в пределах 1,10–1,30 г/см^3. Проведя многочисленные исследования в Нечернозёмной зоне Российской Федерации, И. С. Кочетов сделал вывод, что при плотности почвы ниже 1,1 и выше 1,3 г/см^3 ухудшаются водно-воздушный, тепловой и питательный режимы, а также условия жизнедеятельности почвенной микрофлоры [Кочетов И. С., 1990].

В наших исследованиях определение плотности почвы в фазе выхода в трубку яровой пшеницы дали следующие результаты (таблица 63).

Таблица 63 – Влияние приёмов предпосевной обработки почвы на её плотность и пористость в фазе выхода в трубку яровой пшеницы (среднее за три года)

Приём предпосевной обработки почвы	Плотность почвы по слоям, г/см^3		Пористость почвы по слоям, %	
	0–10 см	10–20 см	0–10 см	10–20 см
КПС-4 + БЗТС-1,0 (фон)	1,14	1,37	57,1	48,4
БЗТС-1,0 в два следа	1,27	1,41	52,1	46,8
$НСР_{05}$	0,07	$F_{05} < F_T$	2,1	$F_{05} < F_T$
Фон + 3ККШ-6А до посева	1,29	1,40	52,7	47,0
$НСР_{05}$	0,08	$F_ф < F_{05}$	2,7	$F_ф < F_{05}$

Проведённые исследования показали, что предпосевное боронование способствует уплотнению верхнего слоя почвы 0–10 см на 0,13 г/см^3 (контроль – 1,14 г/см^3; $НСР_{05}$ – 0,08 г/см^3), но плотность при этом остаётся бла-

гоприятной для возделывания яровой пшеницы. Плотность нижней части пахотного слоя 10–20 см оказалась одинаковой по обоим приёмам предпосевной обработки почвы.

Для более полной характеристики сложения почвы на основании её плотности была рассчитана общая пористость. Пористость почвы, согласно шкале Н. А. Качинского, по предпосевной культивации соответствовала оценке «отлично» 55–65 %, а на фоне предпосевного боронования – «хорошо» (50–55 %). В слое 10–20 см пористость почвы по приёмам предпосевной обработки почвы не различалась и соответствовала неудовлетворительной оценке – менее 50 %.

Аналогичные результаты получены при проведении допосевного прикатывания. Дополнительный приём предпосевной подготовки почвы уплотнил слой почвы 0–10 см на 0,15 г/см^3 (контроль – 1,14 г/см^3; НСР$_{05}$ – 0,08 г/см^3) и снизил пористость на – 4,4 % (контроль – 57,1 %; НСР$_{05}$ – 2,7 %) и не оказал достоверного влияния на её плотность и пористость в слое 10–20 см.

Приёмы предпосевной обработки почвы способствовали изменению сложения обрабатываемого слоя. Важной характеристикой благоприятного сложения почвы является её структурность (таблица 64).

Таблица 64 – Влияние приёмов предпосевной обработки почвы на её структуру в период уборки яровой пшеницы (среднее за три года)

Приём предпосевной обработки почвы	Содержание, %		Коэффициент структурности
	глыбистой фракции	агрономически ценной фракции	
КПС-4 + БЗТС-1,0 (фон)	38,7	52,4	1,18
БЗТС-1,0 в два следа	29,5	58,8	1,50
НСР$_{05}$	4,5	4,1	0,29
Фон + 3ККШ-6А до посева	31,3	60,2	1,55
НСР$_{05}$	$F_ф < F_{05}$	4,3	0,24

Агрономическую ценность представляет мелкокомковатые и зернистые структурные агрегаты почвы размером 0,25–10 мм. Использование предпосевного боронования способствовало увеличению этой фракции на

6,4 % (контроль – 52,4 %; $НСР_{05}$ – 4,1 %) при снижении глыбистости на 9,2 % (контроль – 38,7 %; $НСР_{05}$ – 4,5 %), что привело к достоверному повышению коэффициента структурности до 1,50 (контроль – 1,18; $НСР_{05}$ – 0,29).

Прикатывание до посева кольчато-шпоровыми катками также значительно улучшало структуру почвы. Допосевное прикатывание повышало коэффициент структурности до 1,55 (контроль – 1,18; $НСР_{05}$ – 0,24) за счёт существенного увеличения агрегатов почвы размером 0,25–10 мм на 7,8 % (контроль – 52,4 %; $НСР_{05}$ – 4,3 %).

5.1.3. Засорённость посевов

Сорные растения затрудняют обработку почвы, уход за посевами, уборку урожая, очистку и хранение зерна, способствуют развитию болезней и вредителей, увеличивают затраты труда, потребность в орудиях и машинах. В результате значительно возрастает себестоимость продукции [Татаринова Н. Я., 1980].

Проведённые нами исследования выявили, что видовой состав сорняков в посевах яровой пшеницы был разнообразен, в опыте встречались все группы малолетних и некоторые из многолетних сорняков. Наиболее распространёнными были следующие сорняки: яровые ранние – пикульник красивый (*Goleopsis spesiosa*) и марь белая (*Chenopodium album*); яровые поздние – куриное просо (*Echinochloa crusgalli*); зимующие – трёхрёберник непахучий (*Matricaria perforata*).

Обследование посевов яровой пшеницы и учёт вегетирующих сорняками было проведено в начале фазы её кущения количественным методом, а в фазу колошения засорённость определяли количественно-весовым методом. Характер засорённости, выявленный в фазу кущения, был аналогичен засорённости в фазу колошения яровой пшеницы (таблица 65).

Таблица 65 – Влияние приёмов предпосевной обработки почвы на засорённость посевов яровой пшеницы в фазу её колошения, шт./м^2 (среднее за три года)

Приём предпосевной обработки почвы	Количество сорняков		Общее количество сорняков
	малолетних	многолетних	
КПС-4 + БЗТС-1,0 (фон)	123	13	136
БЗТС-1,0 в два следа	67	9	76
$НСР_{05}$	21	$F_{05} < F_T$	23
Фон + 3ККШ-6А до посева	115	5	120
$НСР_{05}$	$F_ф < F_{05}$	$F_ф < F_{05}$	$F_ф < F_{05}$

Общая засорённость посевов яровой пшеницы при традиционной предпосевной обработке почвы была в 1,8 раза выше, чем по предпосевному боронованию. Причём от предпосевной обработки почвы зависело только количество малолетних сорняков, а количество многолетних сорняков не изменялось. Допосевное прикатывание обеспечило засорённость посевов яровой пшеницы на уровне контрольного варианта.

Масса сорных растений в фазу колошения не зависела от предпосевной обработки почвы, тогда как дополнительная предпосевная обработка – прикатывание – достоверно снизило общую массу сорняков по сравнению с контрольным вариантом в 2,9 раза (таблица 66).

Таблица 66 – Влияние приёмов предпосевной обработки почвы на воздушно-сухую массу сорняков в посевах яровой пшеницы в фазе её колошения, г/м^2
(среднее за три года)

Приём предпосевной обработки почвы	Воздушно-сухая масса сорняков		
	Малолетних	Многолетних	Общего количества сорняков
КПС-4 + БЗТС-1,0 (фон)	17,3	65,7	83,0
БЗТС-1,0 в два следа	28,3	32,7	61,0
$НСР_{05}$	$F_{05} < F_T$	$F_{05} < F_T$	$F_{05} < F_T$
Фон + 3ККШ-6А до посева	23,6	5,3	28,9
$НСР_{05}$	$F_ф < F_{05}$	$F_ф < F_{05}$	43,0

Таким образом, предпосевная обработка тяжёлыми боронами (БЗТС–1,0) в два следа достоверно снижает количество малолетних сорняков, а прикатывание до посева кольчато-шпоровыми катками (3ККШ-6А) существенно уменьшает общую массу сорных растений в посевах яровой пшеницы.

5.2. Послепосевная обработка почвы

Получение высокой урожайности сельскохозяйственных культур во многом зависит от правильного ухода после посева в течение вегетационного периода [Данилов Г. Г., 1982; Шевелуха В. С., 1992]. Это особенно актуально для такой требовательной культуры, как яровая пшеница [Яровая мягкая пшеница…, 1999].

Приёмы ухода за посевами яровой пшеницы несложны, однако несвоевременное их проведение может нанести значительный урон урожаю [Дорофеев В. Ф., 1983]. Послепосевные технологические приёмы преследуют следующие цели: усиление контакта высеянных семян с почвой, поддержание поверхности почвы в рыхлом состоянии, уничтожение всходов сорняков, борьба с болезнями и вредителями [Макарова В. М., 1995; Kratzsch G., 1996; Golisch G., 1998].

Прикатывание после посева (при сухой погоде) кольчато-шпоровыми катками, не только уплотняет почву, но и рыхлит поверхностный её слой. Данный приём обеспечивает также лучший контакт семян с почвой, создаёт условия для ускоренного набухания высеянных зерновок, способствует появлению более полных и дружных всходов [Яровая мягкая пшеница…, 1999]. Так, по данным В. С. Хайдуковой полевая всхожесть при прикатывании посевов пшеницы увеличилась на 5–7 %, обеспечив повышение урожайности на 0,1–0,2 т/га [Хайдукова В. С., 1986].

Структура почвы, подготовленной к посеву, может быть разрушена после прошедшего дождя. Образовавшуюся при этом почвенную корку разрушают боронованием, которое рекомендуется проводить после посева, когда зерновки уже набухли и начали прорастать, но проростки пшеницы не достигли длины семени. Этот приём обеспечивает разрыхление верхнего слоя почвы, улучшая аэрацию и влагоёмкость почвы, что способствует быстрому её прогреванию и появлению всходов пшеницы [Ресурсосберегающие…, 2005; Кружков Н. К., 2008]. Кроме того, при бороновании уни-

чтожаются проростки сорных растений, находящиеся в состоянии хрупких «белых нитей», гибель которых достигает 40–90 % [Белов Г. Д., 1981; Фисюнов А. В., 1984]. Также боронование после посева разравнивает гребни, образовавшиеся при проходе сошников сеялки, способствует сохранению влаги в почве и доступу воздуха к семенам.

Боронование после появления всходов преследует те же цели, что и довсходовое боронование. Считается, что благодаря боронованию по всходам усиливается кущение зерновых культур. С одной стороны, боронование уничтожает 8–10 % культурных растений, а с другой – уничтожает 10–12 % сорняков, стимулируя более интенсивное кущение, улучшается воздушный режим [Pert Y., 1980].

5.2.1. Урожайность

Яровая пшеница весьма требовательна к условиям произрастания в течение всего вегетационного периода. Поэтому для удовлетворения её биологических потребностей во время роста и развития необходимо организовать тщательный уход в послепосевной период. Основными приёмами послепосевной обработки почвы в технологии выращивания зерновых культур является прикатывание посевов и боронование почвы до и после появления всходов. Нами проведённые шестилетние (2000–2005 гг.) исследования (Ленточкин А. М., Ленточкина Л. А.) эффективности прикатывания кольчато-шпоровыми катками 3ККШ-6А дали следующие результаты (таблица 67).

Таблица 67 – Влияние прикатывания дерново-подзолистой среднесуглинистой почвы на урожайность зерна яровой пшеницы (среднее за шесть лет)

Срок прикатывания	Урожайность, т/га	Отклонение	
		т/га	%
Без прикатывания	2,22	–	–
До посева	2,42	+0,20	9,0
После посева	2,40	+0,18	8,1
$НСР_{05}$	–	0,10–0,24	–

Выявлено, что послепосевное прикатывание обеспечило достоверное увеличение урожайности в четыре года из шести, в среднем составив прибавку 0,18 т/га, или 8,1 %. При этом допосевное прикатывание показало существенную прибавку урожайности в пять лет из шести, составив в среднем 0,20 т/га, или 9,0 %. Между сроками прикатывания существенные различия по урожайности были в два года из шести, т. е. чаще всего различий в эффективности сроков применения данного технологического приёма не было.

Яровая пшеница, по сравнению с другими яровыми зерновыми культурами, имеет более нежные всходы, требующие особого отношения при выполнении приёмов ухода за посевами. Наши трёхлетние исследования (2000–2002 гг.) эффективности послепосевного использования лёгких (БП-0,6А) и средних (БЗСС-1,0) зубовых борон на яровой пшенице показали следующие результаты (таблица 68).

Таблица 68 – Влияние довсходового и послевсходового боронования дерново-подзолистой среднесуглинистой слабосмытой почвы на урожайность зерна яровой пшеницы (среднее за три года)

Тип борон и срок боронования	Урожайность, т/га	Отклонение	
		т/га	%
Без боронования	2,67	–	–
БП-0,6А до всходов	2,86	+0,19	+7
БП-0,6А в фазе 2–3 листьев культуры	2,47	–0,20	–7
БЗСС-1,0 до всходов	2,82	+0,15	+6
БЗСС-1,0 в фазе 2–3 листьев культуры	2,48	–0,19	–7
$НСР_{05}$	–	0,10–0,13	–

Было выявлено, что довсходовое боронование, когда семена пшеницы только «наклюнулись» и начали прорастать, можно эффективно проводить зубовыми боронами как лёгкими посевными (БП-0,6А), так и средними (БЗСС-1,0), что даёт практически одинаковое существенное увеличение урожайности зерна яровой пшеницы соответственно на 0,19 и 0,15 т/га, или на 7 и 6 %. Однако боронование в фазе 2–3 листьев яровой пшеницы как лёгкими, так и средними зубовыми боронами существенно снизило урожайность соответственно на 0,20 и 0,19 т/га, или на 7 %.

5.2.2. Агрофизические свойства почвы и засорённость посевов

В наших исследованиях определение в фазе выхода в трубку яровой пшеницы плотности почвы в слое 0–10 см показало, что в среднем за три года её значение составило 1,14–1,27 г/см^3 и это является благоприятным для яровых культур (таблица 69).

Таблица 69 – Влияние приёмов послепосевной обработки почвы на её плотность и пористость в фазе выхода в трубку яровой пшеницы (среднее за три года)

Приём послепосевной обработки почвы	Плотность почвы по слоям, г/см^3		Пористость почвы по слоям, %	
	0–10 см	10–20 см	0–10 см	10–20 см
Без обработки	1,14	1,37	57,1	48,4
3ККШ-6А после посева	1,20	1,37	54,7	48,2
БП-0,6 до всходов	1,27	1,40	52,5	47,1
НСР$_{05}$	0,08	$F_ф < F_{05}$	2,7	$F_ф < F_{05}$

Послепосевное прикатывание не оказало достоверного влияния на плотность и пористость почвы в слое 0–10 см. Довсходовое использование лёгких борон способствовало достоверному уплотнению почвы на 0,13 г/см^3 (контроль – 1,14 г/см^3; НСР$_{05}$ – 0,08 г/см^3) и снижению пористости на – 4,6 % (контроль – 57,1 %; НСР$_{05}$ – 2,7 %). Приёмы послепосевной обработки почвы не оказали достоверного влияния на её плотность и пористость в слое 10–20 см.

Послепосевная как довсходовая обработка почвы лёгкими посевными боронами, так и прикатывание почвы не оказали существенного влияния на её глыбистую фракцию и коэффициент структурности (таблица 70).

Таблица 70 – Влияние приёмов послепосевной обработки почвы на её структуру в период уборки яровой пшеницы (среднее за три года)

Приём послепосевной обработки почвы	Содержание, %		Коэффициент структурности
	глыбистой фракции	агрономически ценной фракции	
Без обработки	38,7	52,4	1,18
3ККШ-6А после посева	34,3	56,5	1,32
БП-0,6 до всходов	32,2	56,8	1,34
НСР$_{05}$	$F_ф < F_{05}$	4,3	0,24

Довсходовое боронование достоверно увеличило содержание агрономически ценных агрегатов почвы размером 0,25–10 мм на 4,4 % (контроль – 52,4 %; $НСР_{05}$ = 4,3 %).

Сорняки являются основными конкурентами культурных растений за факторы жизни, такие как свет, вода, питательные вещества. Отрицательное влияние негативных факторов может быть устранено специально проводимыми приёмами обработки почвы (таблица 71).

Таблица 71 – Влияние приёмов послепосевной обработки почвы на засорённость посевов яровой пшеницы в фазе её колошения (среднее за три года)

Приём послепосевной обработки почвы	Количество сорняков, шт./м^2		Общее количество сорняков, шт./м^2	Общая воздушно-сухая масса сорняков, г/м^2
	малолетних	многолетних		
Без обработки	123	13	136	83,0
3ККШ-6А после посева	114	7	121	55,9
БП-0,6 до всходов	126	4	130	47,3
$НСР_{05}$	$F_ф < F_{05}$	$F_ф < F_{05}$	$F_ф < F_{05}$	43,0

Однако в наших исследованиях как послепосевное прикатывание почвы, так и довсходовое боронование посевов не вызвали достоверного изменения количества сорняков и их массы в посевах яровой пшеницы в фазе её колошения.

Таким образом, как предпосевное, так и послепосевное прикатывание почвы обеспечивает повышение урожайности яровой пшеницы, как и послепосевное довсходовое боронование почвы. В то же время боронование по всходам яровой пшеницы приводит к существенному снижению её урожайности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Приёмы и системы обработки почвы в технологии выращивания сельскохозяйственных культур при решении задач оптимизации абиотических и биотических факторов являются многовариантными, позволяющими решать одну и ту же задачу разными орудиями, с разными рабочими органами. Выбор их определяется многими факторами, в том числе специфичностью условий почвенно-климатической зоны, предшественником, возделываемой культурой, гранулометрическим составом почвы, степенью и типом засорённости полей. Применяемые почвообрабатывающие орудия имеют различную производительность, различные производственные и временные затраты, различные противоэрозионные свойства.

На дерново-подзолистой среднесуглинистой почве в зернопаротравянопропашных севооборотах, размещаемых на ровных полях и склонах до 3° следует в технологии выращивания сельскохозяйственных культур применять ресурсосберегающую комбинированную систему обработки почвы, основанную на сочетании разноглубинных отвальных, безотвальных и поверхностных обработок. Такая комбинированная система обработки почвы в сочетании с внесением органических и умеренных доз минеральных удобрений обеспечивает продуктивность 9-польного севооборота, выраженную в зерновых единицах, на уровне 3,0–4,0 т/га.

Традиционная зяблевая обработка почвы отвальным плугом ПЛН-5-35 в технологии выращивания яровой пшеницы после клевера лугового, убранного на зелёный корм, стабильно по годам обеспечивает довольно высокие значения урожайности зерна, в среднем составившие 2,49 т/га. Но этот технологический приём имеет низкую производительность, высокую затратность и эрозионную опасность. Статистически одинаковую урожайность показало применение высокопроизводительного комбинированного орудия Комбимастер 4,2, имеющего основные рабочие органы в виде дисков и клиновидных лап. Технология no-till, предусматривающая примене-

ние дорогостоящего системного глифосат-содержащего гербицида сплошного действия без механической обработки почвы, оказалась малоэффективной и высокозатратной.

Прикатывание почвы кольчато-шпоровыми катками 3ККШ-6А в технологии выращивания яровой пшеницы имеет одинаковую эффективность как до, так и после посева, обеспечив среднее увеличение урожайности на 8–9 %. Однако необходимость применения данного приёма необходимо строго увязывать с состоянием почвы, её влажностью.

Послепосевное довсходовое боронование, когда семена пшеницы только «наклюнулись» и начали прорастать, можно эффективно проводить боронование зубовыми боронами как лёгкими посевными (БП-0,6А), так и средними (БЗСС-1,0), что даёт практически одинаковое существенное увеличение урожайности зерна яровой пшеницы на 6–7 %. Сложностью данного технологического приёма является то, что временной диапазон его проведения очень мал, всего несколько суток: раннее проведение данного приёма приведёт к иссушению почвы, замедлению набухания семян и к снижению полевой всхожести, а позднее – травмирует проростки и тоже вызовет снижение полевой всхожести.

Боронование нежных растений яровой пшеницы фазе 2–3 листьев как лёгкими, так и средними зубовыми боронами приводит к их гибели и существенно снижает урожайность на 7 %.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Абрамов Н. В. Урожайность яровой пшеницы в зависимости от основной обработки почвы и уровня минерального питания / Н. В. Абрамов, С. А. Семизоров // Аграрный вестник Урала. – 2012. – № 6. – С. 4–7.
2. Аверьянов Г. Д. Влияние обработки почвы на урожайность зерновых культур в Верхнем Поволжье / Г. Д. Аверьянов, М. С. Матюшин, А. И. Шаряпов // Минимальная обработка почвы. – Москва, 1984. – С. 204–211.
3. Агроклиматические ресурсы Пермской области. – Ленинград : Гидрометеоиздат, 1979. – 156 с.
4. Агроклиматические ресурсы Удмуртской АССР. – Ленинград : Гидрометеоиздат, 1974. – 115 с.
5. Агротехнические рекомендации по возделыванию сельскохозяйственных культур в хозяйствах // Сельские узоры. – Уфа, 2001. – 32 с.
6. Агроэкологическая оценка земель, проектирование адаптивно-ландшафтных систем земледелия и агротехнологий. Методическое руководство. – Москва : ФГНУ «Росинформагротех», 2005. – 784 с.
7. Агроэкологические основы воспроизводства плодородия почв. – Ижевск : Удмуртия, 1999. – 176 с.
8. Азизов З. М. Урожайность зерновых при разных приёмах и системах основной обработки почвы / З. М. Азизов // Зерновое хозяйство. – 2004. – № 6. – С. 23–24.
9. Арнт В. А. Возможности замены вспашки на плоскорезную обработку / В. А. Арнт // Земледелие. – № 2. – 1993. – С. 11–13.
10. Арнт В. А. Обработка почвы в интенсивном земледелии Среднего Урала : монография / В. А. Арнт. – Екатеринбург : Изд-во Уральской ГСХА, 1998. – 192 с.
11. Атласов М. Х. Влияние основной обработки почвы на урожайность гороха посевного / М. Х. Атласов, Р. Р. Гайфуллин // Роль филиала кафедры на производстве в инновационном развитии сельскохозяйственного предприятия : материалы международной научно-практической конференции, посвящённой 30-летию кафедры растениеводства ФГБОУ ВПО Ижевская ГСХА в СХПК – Колхоз имени Мичурина Вавожского района Удмуртской Республики, 25-27 июля 2014 г. – Ижевск : ФГБОУ ВПО Ижевская ГСХА, 2014. – С. 181–183.
12. Ахметсагиров К. С. Безотвальная обработка почвы / К. С. Ахметсагиров, Г. Д. Аверьянов. – Казань : Татарское книжное изд., 1981. – 14 с.
13. Башков А. С. Агрохимические основы повышения эффективности систем удобрений полевых культур на дерново-подзолистых почвах Среднего Предуралья : дисс. в виде науч. докл. … д-ра с.-х. наук / Пермская ГСХА. – Пермь, 2000. – 66 с.
14. Башков А. С. Повышение эффективности удобрений на дерново-подзолистых почвах Среднего Предуралья : монография / А. С. Башков. – Ижевск : ФГБОУ ВПО Ижевская ГСХА, 2013. – 328 с.
15. Беденчук Н. Ф. Минимализация основной обработки почвы в степи Украины / Н. Ф. Беденчук // Земледелие. – 1984. – № 3. – С. 28–31.
16. Белов Г. Д. Влияние обработки почвы на засорённость полевых культур / Г. Д. Белов, Г. В. Симченков, Л.Д. Барташевич // Агротехнический метод защиты полевых культур. – Москва : ВАСХНИИЛ, 1981. – С.111–114.
17. Беляков И. И. Технология выращивания ячменя / И. И. Беляков. – Москва : Агропромиздат, 1985. – 119 с.
18. Бениддовский А. А. Почвоуглубление освоенных подзолистых почв на двучленных отложениях / А. А. Бениддовский, А. Д. Кашаноский, В. С. Кащенко // Состав, свойства и плодородие почв. – Москва : Агропромиздат, 1990. – С. 34–43.

19. Берестецкий О. А. Биологические факторы повышения плодородия почв / О. А. Берестецкий // Земледелие. – 1986. – № 3. – С. 29–38.
20. Бондарев А. Г. Воздушные свойства и воздушный режим почв / А. Г. Бондарев //Агрофизические методы исследования почв. – Москва : Наука, 1966. – С. 122–142.
21. Борин А. А. Какая обработка почвы лучше? / А. А. Борин, И. Г. Мельцаев // Земледелие. – 1994. – № 4. – С. 32.
22. Буренок В. П. Прямой посев при нулевой обработке / В. П. Буренок, Л. А. Язева, Т. П. Кукшенева // Достижения науки и техники АПК. – 2009. – № 9. – С. 25–27.
23. Бызов И. С. Ресурсосберегающие обработки почвы в зернотравяном севообороте / И. С. Бызов [и др.] // Земледелие. – 2015. – № 1. – С. 15–17.
24. Вадюнина А. Ф. Методы исследования физических свойств почв / А. Ф. Вадюнина, З. А. Корчагина. – Москва : Агропромиздат, 1986. – 416 с.
25. Важнейшие абиотические факторы и адаптация к ним организмов // Общая экология [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://ours-nature.ru/b/book/5/page/3-glava-3-vazhneyshie-abioticheskie-faktori-i-ada... (дата обращения: 05.09.2012).
26. Валеев Ф. З. Влияние плоскорезной системы обработки почвы на изменение видовой структуры сорняков в посевах / Ф. З. Валеев // Пути интенсификации земледелия : сб. науч. тр. Тат. НИИСХ. – Казань, 1979. – Вып. 8. – С. 30–33.
27. Вальков В. Ф. Почвенная экология сельскохозяйственных растений / В. Ф. Вальков. – Москва : Агропромиздат, 1986. – 208 с.
28. Ванин Д. Е. Теоретические основы почвозащитного земледелия / Д. Е. Ванин // Плодородие почв и пути его повышения : Сб. науч. тр. – Москва : Колос. – 1983. – С. 30-36.
29. Вараксина Е. Г. Эрозия и воспроизводство плодородия эродированных почв Удмуртии : монография / Е. Г. Вараксина, И. И. Вараксин, Т. И. Захарова ; под общей ред. А. И. Венчикова. – Ижевск : ФГОУ ВПО Ижевская ГСХА, 2008. – 432 с.
30. Васько В. Т. Теоретические основы растениеводства / В. Т. Васько. – Санкт-Петербург : «ПРОФИ-ИНФОРМ», 2004. – 200 с.
31. Венчиков А. И. Производственная проверка системы безотвальной обработки почвы / А. И. Венчиков // Рациональное использование земельных ресурсов России : Тезисы докл. науч.-произв. конф. – Киров. – 1993. – С. 103–104.
32. Владыкина Н. И. О сохранении плодородия дерново-подзолистых почв в Удмуртии / Н. И. Владыкина, Р. В. Юшкова // Актуальные проблемы аграрного сектора : Сб. тр. науч.-произв. конф. – Ижевск. – 1997. – С. 27–29.
33. Войтович Н. В. Как спасти плодородие почв Нечерноземья? / Н. В. Войтович, В. Ф. Кирдин, Н. А. Полев // Земледелие. – 1999. – № 5. – С. 20–21.
34. Гатаулина Г. Г. Практикум по растениеводству / Г. Г. Гатаулина, М. Г. Объедков. – Москва : КолосС, 2005. – 304 с.
35. Голубев В. В. Минимальная обработка почвы в системе полевого севооборота в Приуралье / В. В. Голубев // Ресурсосберегающие системы обработки почвы. – Москва : Агропромиздат. – 1990. – С. 115–123.
36. Гриценко В. В. Агротехника яровой пшеницы в Нечернозёмной полосе / В. В. Гриценко. – Москва : Сельхозгиз, 1955. – 80 с.
37. Гуренев М. Н. Научные основы разработки системы земледелия в Предуралье / М. Н. Гуренев // Интенсификация земледелия в Предуралье. – Сб. науч. тр. – Пермь. – 1991. – С. 4–15.
38. Данилов Г. Г. Влияние минимальной обработки почвы на элементы плодородия и продуктивность севооборота / Г. Г. Данилов // Вопросы интенсификации земледелия Нечерноземья : сб. науч. тр. – Саранск, 1978. – С. 39–44.
39. Данилов Г. Г. Система обработки почвы / Г. Г Данилов. – Москва : Россельхозиздат, 1982. – 300 с.

40. Дерюгин И. П. Агрохимические основы применения удобрений и повышение плодородия почв Удмуртской АССР / И. П. Дерюгин, А. И. Безносов, А. С. Башков. – Устинов : Удмуртия, 1987. – 164 с.
41. Дмитриев Д. С. Агрофизические свойства почвы и урожайность полевых культур под действием минимальной обработки / Д. С. Дмитриев // Инновационные направления развития АПК и повышение конкурентоспособности предприятий, отраслей и комплексов – вклад молодых учёных : сборник научных трудов по материалам XVI международной научно-практической конференции. – Ярославль : ФГБОУ ВПО «Ярославская ГСХА», 2013. – С. 64–68.
42. Долотин И. И. Дифференцированный подход к системам обработки почвы при адаптивно-ландшафтном земледелии / И. И. Долотин, Р. А. Хабиев // Пути мобилизации биологических ресурсов повышения продуктивности пашни, энергосбережения и производства конкурентоспособной сельскохозяйственной продукции. – Матер. Всерос. науч.-практ. конференции. – Казань. – 2005. – С. 199–206.
43. Долотин И. И. Проблемы системы обработки почвы в Татарстане / И. И. Долотин. – Казань : Изд-во «Матбугат йорты», 2001. – 165 с.
44. Дорожко Г. Р. Прямой посев полевых культур – одно из направлений биологизированного земледелия / Г. Р. Дорожко [и др.] // Вестник АПК Ставрополья. – 2011. – № 2(2). – С. 7–11.
45. Дорофеев В. Ф. Пшеница в Нечерноземье / В. Ф. Дорофеев, К. М. Саранин, А. И. Степанов. – Ленинград : Колос, Ленингр. отд., 1983. – 192 с.
46. Дроздов В. Н. Комбинированные почвообрабатывающие посевные машины / В. Н. Дроздов, А. Н. Сердечный. – Москва : Агропромиздат, 1988. – 112 с.
47. Евминов В. Н. Системы земледелия и их совершенствование в условиях лесостепи и полесья Украины / В. Н. Евминов // Актуальные проблемы земледелия. – Москва : Колос, 1984. – С. 135–140.
48. Егоров В. В. Органическое вещество почвы и её плодородие / В. В. Егоров // Вестник с.-х. науки. – 1978. – № 5. – С. 15–20.
49. Жученко А. А. Адаптивное растениеводство (эколого-генетические основы) / А. А. Жученко : монография. – Кишинёв : Штиинца, 1990. – 432 с.
50. Жученко А. А. Адаптивный потенциал культурных растений (эколого-генетические основы) : монография / А. А. Жученко. – Кишинёв : Штиинца, 1988. – 767 с.
51. Зайцева А. П. Влияние длительного применения плоскорезной обработки на плодородие почв / А. П. Зайцева, И. П. Охинько // Эффективность почвозащитной системы земледелия в степных районах СССР. ; сб. науч. работ ВНИИЗХ. – Целиноград. – 1976. – С. 28–49.
52. Захаренко В. А. Фитосанитарные риски в зерновом производстве / В. А. Захаренко, А. С. Васютин // Защита и карантин растений. – 2014. – №. 7. – С. 3–7.
53. Звягинцев Д. Г. Аппликационный метод определения биологической активности почвы / Д. Г. Звягинцев // Методы почвенной микробиологии и биохимии. – Москва : Изд-во Московского университета. – 1980. – С. 142.
54. Здравков И. П. Эффективность систем основной обработки почвы в севообороте в борьбе с сорной растительностью полей / И. П. Здравков // Пути повышения плодородия и обработка почвы в севообороте. – Сб. науч. тр. – 1985. – С. 77–87.
55. Зезин Н. Н. Дифференцированная система основной обработки почвы под ячмень на Среднем Урале / Н. Н. Зезин, М. И. Лукиных // Современные аспекты селекции, семеноводства, технологии, переработки ячменя и овса : сб. тр. межд. науч. – практ. конф. – Киров. – 2004. – С. 220–225.
56. Зинченко М. К. Приёмы основной обработки и биологическая активность серой лесной почвы / М. К. Зинченко [и др.] // Земледелие. – 2011. – № 8. – С. 25–27.

57. Иванов П. К. О системе обработки почв в Поволжье / П. К. Иванов // Ветровая эрозия и плодородие почв : сб. науч. тр. ВАСХНИЛ. – Москва : Колос. – 1976. – С. 156–168.
58. Иванов П. К. Яровая пшеница / П. К. Иванов. – 3-е изд., перераб. и доп. – Москва : Колос, 1971. – 328 с.
59. Иванов П. К. Яровая пшеница / П. К. Иванов. – изд. 2-е, перераб. и доп. – Москва : Сельхозгиз, 1954. – 383 с.
60. Извеков А. С. Ветровая эрозия почв и борьба с ней в Европейской части СССР / А. С. Извеков [и др.] // Эрозия почв и борьба с ней. – Сб. трудов. – Москва : Колос. – 1980. – С. 48–96.
61. Ирмулатов Б. Р. Влияние технологии защиты на засорённость и урожайность яровой пшеницы / Б. Р. Ирмулатов // Аграрная наука – сельскому хозяйству : сборник статей : в 3 кн. / VII Международная научно-практическая конференция (2–3 февраля 2012 г.). – Барнаул : Изд-во АГАУ, 2012. – Кн. 2. – С. 338–340.
62. Исмагилов Р. Р. Основные резервы увеличения производства высококачественного продовольственного зерна пшеницы / Р. Р. Исмагилов, В. Х. Азнаев // Качество зерна и приёмы его повышения : матер. республ. науч.-практ. конф. – Уфа, 1997. – С. 22–30.
63. Каипов Я. З. Эффективность комбинированной обработки почвы в условиях степи восточных предгорий Южного Урала / Я. З. Каипов, З. Р. Султангазин, М. М. Абдуллин // Земледелие. – 2015. – № 2. – С. 22–24.
64. Калинин А. В. Система обработки почвы в энергосберегающих технологиях / А. Б. Калинин, Ю. Н. Сидыганов // Аграрная наука. – 2004. – № 1. – С. 17–18.
65. Кашинская В. К. Микробиологическая активность почвы в зависимости от длительного применения способов её обработки / В. К. Кашинская, И. П. Охинько // Некоторые вопросы агротехники полевых культур в Северном Казахстане : сб. науч. тр. – Целиноград, 1983. – С. 110–113.
66. Каюмов М. К. Программирование урожаев сельскохозяйственных культур / М. К. Каюмов. – Москва : Агропромиздат, 1989. – 320 с.
67. Керефов К. Н. Биологические основы растениеводства / К. Н. Керефов. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Высшая школа, 1982. – 408 с.
68. Кирдин В. Ф. Об основной обработке чернозёмов в Татарии / В. Ф. Кирдин // Земледелие. – 1984. – № 10. – С. 17–20.
69. Киреев А. К. Обработка богарных почв / А. К. Киреев // Научные основы богарного земледелия : сб. науч. тр. – Алма-Ата, 1981. – С. 56–71.
70. Кирюшин В. И. Зональные системы земледелия Сибири и перспективы их совершенствования / В. И. Кирюшин // Актуальные проблемы земледелия. – Москва : Колос. – 1984. – С. 156–164.
71. Кирюшин В. И. Почвенно-экологические проблемы освоения целинных земель / В. И. Кирюшин // 50 лет освоения целинных и залежных земель: итоги и перспективы. – Матер. межд. науч.-практ. конф. (10-12 марта 2004 г., г. Оренбург). – Москва : ФГНУ «Росинформагротех». – 2004. – С. 93–104.
72. Кирюшин В. И. Проблема минимализации обработки почвы: перспективы развития и задачи исследований / В. И. Кирюшин // Земледелие. – 2013. – № 7. – С. 3–6.
73. Кирюшин В. И. Экологические основы земледелия / В. И. Кирюшин. – Москва : Колос, 1996. – 367 с.
74. Клиндюк А. М. Яровая пшеница в Северном Зауралье / А. М. Клиндюк, Ю. П. Логинов. – Тюмень, 2002. – 90 с.
75. Ковалёв В. М. Теоретические основы оптимизации формирования урожая / В. М. Ковалёв. – Москва : Изд-во МСХА, 1997. – 284 с.
76. Ковриго В. П. Почвоведение с основами геологии / В. П. Ковриго, И. С. Кауричев, Л. М. Бурлакова. – Москва : Колос, 2000. – 416 с.

77. Ковриго В. П. Почвы Удмуртской Республики / В. П. Ковриго. – Ижевск : РИО Ижевская ГСХА, 2004. – 490 с.
78. Ковырялов Ю. П. Интенсивные технологии производства пшеницы / Ю. П. Ковырялов. – Москва : Агропромиздат, 1986. – 126 с.
79. Кожемякин Е. No-till – философия землепользования XXI века / Е. Кожемякин // Аграрная тема. – 2013. – № 9 (50). – С. 44–47.
80. Кольцов А. С. Система предпосевной обработки почвы под яровые культуры / А. С. Кольцов, М. Т. Митянин // Значение севооборотов, рациональной обработки почвы и борьбы с сорняками в окультуривании дерново-подзолистых почв Предуралья : Тр. Пермского СХИ. – Пермь, 1970. – Т. 72. – С. 37–48.
81. Коновалов Ю. Б. Формирование продуктивности колоса яровой пшеницы и ячменя / Ю. Б. Коновалов. – Москва : Колос, 1981. – 176 с.
82. Коровин В. Глобализация решения проблемы продовольственной безопасности России / В. Коровин, Д. Казеннов // Международ. с.-х. журнал. – 2001. – № 3. – С. 44–55.
83. Коротких Н. А. Влагообеспеченность яровой пшеницы при технологии no-till в лесостепи Приобья / Н. А. Коротких, Н. Г. Власенко, С. П. Костючик // Земледелие. – 2013. – № 3. – С. 21–23.
84. Корчагин А. А. Влияние систем обработки на водный режим серой лесной почвы / А. А. Корчагин [и др.] // Земледелие. – 2015. – № 8. – С. 22–25.
85. Корчагин В. А. Накопление и расходование почвенной влаги при плоскорезной обработке / В. А. Корчагин // Обработка почвы в степном Заволжье : сб. науч. тр. – Куйбышев, 1980. – С. 57–64.
86. Корчагин В. А. Прямой посев яровой мягкой пшеницы в степных районах Среднего Поволжья / В. А. Корчагин О. И. Горянин, В. Г. Новиков // Достижения науки и техники АПК. – 2007. – № 8 . – 17–19.
87. Кочетов И. С. Энергосберегающая обработка почвы в Нечерноземье / И. С. Кочетов. – Москва : Росагропроиздат, 1990. – 160 с.
88. Кошкин Е. И. Частная физиология полевых культур / Е. И. Кошкин [и др.] ; под ред. Е. И. Кошкина. – Москва : КолосС, 2005. – 344 с.
89. Крашенинников Н. Н. Прикатывание почвы и урожай / Н. Н. Крашенинников. – Москва : Сельхозиздат, 1963. – 120 с.
90. Кружков Н. К. Защита посевов зерновых бобовых культур от сорняков / Н. К. Кружков, А. П. Исаев // Земледелие. – 2008. – № 1. – С. 43–44.
91. Круть В. М. Минимальная обработка почвы и засорённость посевов / В. М. Круть, В. А. Кротинов, А. И. Горбатенко // Земледелие. – 1984. – № 6. – С. 16–18.
92. Кужинов М. Б. Почвозащитный эффект нулевых технологий в зоне обыкновенных черноземов Костанайской области / М. Б. Кужинов // Роль целины и перспективы развития земледелия и растениеводства Казахстана : сборник материалов международной научно-практической конференции, посвящённой 60-летию освоения целинных и залежных земель, 1 августа 2014 г., Шортанды. – Астана, 2014. – С. 87–92.
93. Кузина В. П. Особенности пищевого режима почвы при плоскорезной обработке на обыкновенных чернозёмах степного Заволжья / В. П. Кузина, В. А. Корчагин // Плоскорезная обработка и борьба с засухой : сб. трудов. – Куйбышев, 1976. – С. 45–56.
94. Кузнецов М. Ф. Микроэлементы в почвах Удмуртии / М. Ф. Кузнецов. – Ижевск : Изд-во Удмуртского ун-та, 1994. – 287 с.
95. Кузнецов Ю. И. Предпосевная обработка почвы / Ю. И. Кузнецов, В. Н. Дроздов, Г. С. Майстренко. – Москва : Россельхозиздат, 1987. – 104 с.
96. Куклина А. И. Влияние севооборота, удобрении и сроков прикатывания почвы на урожайность ячменя / А. И. Куклина // Повышение урожайности сельскохозяйственных культур : Тр. Ижевского СХИ. – Ижевск, 1976. – Вып. 27. – С. 56–60.

97. Кулаковская Т. Н. Обеспечение устойчивости и эффективности земледелия в условиях Западного региона / Т. Н. Кулаковская // Пути увеличения производства зерна, кормов, повышение эффективности и устойчивости земледелия : ВАСХНИЛ ; под. ред. акад. П. П. Вавилова. – Москва : Колос, 1982. – С. 55–56.
98. Кумаков В. А. Биологические основы возделывания яровой пшеницы по интенсивной технологии / В. А. Кумаков. – Москва : Росагропромиздат, 1988. – 104 с.
99. Кумаков В. А. Физиология яровой пшеницы / В. А. Кумаков. – Москва : Колос, 1980. – 207 с.
100. Куперман Ф. М. Морфофизиология растений. Морфофизиологический анализ этапов органогенеза различных жизненных форм покрытосеменных растений. – 3-е изд., доп. – Москва : Высш. школа, 1977. – 288 с.
101. Курочкин К. И. Новое в обработке почвы (почвозащитный аспект) / К. И. Курочкин. – Москва : Знание, 1987. – 64 с.
102. Леман В. М. Курс светокультуры растений / В. М. Леман. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Высш. шк., 1976. – 271 с.
103. Ленточкина Л. А. Влияние норм удобрений на содержание нитратов в почве и урожайность клубней картофеля / Л. А. Ленточкина, В. М. Холзаков : Матер. юбил. науч.-практ. конф., посвящ. 50-летию ин-та. – Ч. 1. – Ижевск. – 1995. – С. 41–43.
104. Лоскутов И. Г. Особенность развития корневой системы яровой пшеницы в условиях Нечерноземья / И. Г. Лоскутов // Вестник с.-х. науки. – 1990. – № 4. – С. 111–115.
105. Лузянин Д. В. Совершенствование технологии возделывания яровой пшеницы на Среднем Урале / Д. В. Лузянин, С. К. Мингалев, О. М. Казанцева // Аграрный вестник Урала. – 2005. – № 4 (28). – С. 38–40.
106. Лыков А. М. Влияние обработки на гумусовый баланс дерново-подзолистой почвы в интенсивном земледелии / А. М. Лыков, В. В. Гриценко, С. М. Вьюгин // Известия ТСХА. – 1978. – Вып. 4. – С. 3–11.
107. Лыков А. М. К методике расчётного определения гумусового баланса почв в интенсивном земледелии / А. М. Лыков // Известия ТСХА. – 1979. – Вып. 6. – С. 14–19.
108. Лыков А. М. Органическое вещество почвы и плодородие дерново-подзолистых почв в условиях интенсивного земледелия : автореф. дис. … д-ра с.-х. наук / Московская СХА им К.А. Тимирязева. – М. – 1976. – 32 с.
109. Макаров В. И. Влияние обработки почвы на агрофизические свойства дерново-подзолистой почвы / В. И. Макаров, Ф. И. Грязина, В. Г. Кириллов // Земледелие. – 2008. – № 2. – С. 14–15.
110. Макаров И. П. Дифференциация пахотного слоя по плодородию и способы обработки дерново-подзолистых почв / И. П. Макаров, А. А. Платунов, Г. Е. Козлов // Земледелие. – 1985. – № 7. – С. 9–12.
111. Макаров И. П. Обработка серых лесных почв в Татарии / И. П. Макаров, Г. Д. Аверьянов, М. С. Матюшин // Земледелие. – 1984. – № 1. – С. 13–16.
112. Макаров И. П. Результаты исследований по разработке ресурсосберегающих технологий обработки почвы / И. П. Макаров, А. В. Захаренко, А. Я. Рассадин // Земледелие на рубеже XX1 века. – Сб. докл. междунар. научн. конф. – Москва, 2003. – С. 268–271.
113. Макаров И. П. Эффективность минимализации обработки дерново-подзолистых почв Кировской области / И. П. Макаров, П. Ф. Кошкин // Вопросы обработки почвы : науч. тр. ВАСХНИЛ. – Москва : Колос, 1979. – С. 24–31.
114. Макарова В. М. Структура урожайности зерновых культур и её регулирование / В. М. Макарова. – Пермь, 1995. – 144 с.
115. Макарова В. М. Яровая пшеница / В. М. Макарова // Резервы зернового поля. – Пермь : Кн. изд-во, 1972. – С. 95–121.

116. Мальцев Б. П. Научные основы минимальной обработки дерново-подзолистых почв под зерновые культуры / Б. П. Мальцев, И. А. Шенина // Высокая культура земледелия – основа роста производства зерна, кормов и других продуктов : материалы науч.-произв. конф. – Киров, 1977. – С. 84–88.
117. Манжосов В. П. Обработка дерново-подзолистой среднесуглинистой почвы как фактор оптимизации её плодородия в интенсивном земледелии Центрального района Нечернозёмной зоны РСФСР : автореф. дис. … канд. с.-х. наук / В. П. Манжосов. – Москва, 1990. – 23 с.
118. Мареев В. Ф. Минимализация обработки серой лесной почвы под яровую пшеницу в условиях Предкамья : автореф. дисс. ... канд. с.-х. наук. – Пермь. – 1986. – 16 с.
119. Марымов В. И. Ресурсосберегающая обработка светло-каштановых почв Нижнего Поволжья в полевых севооборотах зерновой специализации / В. И. Марымов, А. Н. Сухов, А. И. Коротич // Ресурсосберегающая система обработки почвы. – Москва : Агропромиздат. – 1990. – С. 59–65.
120. Матюк Н. С. Принципы моделирования ресурсосберегающей обработки почвы в современных системах земледелия / Н. С. Матюк, А. Я. Рассадин, А. М. Чигаев // Земледелие на рубеже XXI века : сб. докл. межд. научн. конф. – Москва, 2003. – С. 287–290.
121. Матюшин М. С. Ярусная обработка почвы в севообороте эффективнее / М. С. Матюшин // Земледелие. – 1999. – № 6. – С. 18.
122. Мерзлякова Т. П. Влияние длительного применения минимальной обработки дерново-подзолистых почв в севообороте на плодородие и урожайность / Т. П. Мерзлякова // Сельскохозяйственная наука Урала – производству : сб. тезисов докладов науч. конф. – Свердловск, 1986. – С. 9–10.
123. Мерзлякова Т. П. Влияние минимальной обработки почвы на урожайность культур в севообороте / Т. П. Мерзлякова // Внедрение научно обоснованных зональных систем земледелия в свете требований Октябрьского (1984) Пленума ЦК КПСС : сб. тезисов докладов науч.- техн. конф. – Челябинск, 1985. – С. 13–14.
124. Мерзлякова Т. П. Почвозащитная технология возделывания полевых культур в севооборотах / Т. П. Мерзлякова // Пути сохранения и повышения плодородия почв в условиях интенсивного земледелия Нечернозёмной зоны Урала : Труды Уральского НИИСХ. – Т. 53. – 1989. – С. 115–117.
125. Мингалев С. К. Влияние ресурсосберегающей обработки на свойства почвы и урожай сельскохозяйственных культур / С. К. Мингалев // Всеросс. научно-практич. конфер., посвящённая памяти уральских учёных : сб. науч. тр. – Екатеринбург, 2001. – Т. 1. – С. 83–90.
126. Мингалев С. К. Эффективность минимализации обработки оподзоленного чернозёма в Свердловской области / С. К. Мингалев // Методы окультуривания почв в Предуралье : межвуз. сб. науч. тр. Пермского СХИ. – Пермь, 1988. – С. 86–90.
127. Минеев В. Г. Агрохимия, биология и экология почвы / В. Г. Минеев, Е. Х. Ремпе. – Москва : Росагропромиздат, 1990. – 206 с.
128. Мишустин Е. Н. Микроорганизмы и продуктивность земледелия / Е. Н. Мишустин. – Москва : Наука, 1972. – 344 с.
129. Монов А. И. Сельское хозяйство Нечернозёмной зоны РСФСР / А. И. Монов, И. Г. Аверин, В. П. Погожев ; под ред. Л. Я. Флорентьева. – Москва : Колос, 1978. – 272 с.
130. Мосин В. Н. Эффективность различных систем обработки дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почвы в полевых севооборотах Центрального Предуралья / В. Н. Мосин // Интенсификация земледелия в Предуралье : сб. науч. тр. – Пермь, 1991. – С.16–26.

131. Мосин В. Н. Эффективность различных систем основной обработки почвы в полевых севооборотах Предуралья / В. Н. Мосин // Методы окультуривания почв в Предуралье. – Киров, 1988. – С. 16–26.
132. Мухортов Я. Н. Итоги исследований по изучению глубины и способов обработки выщелоченного чернозёма / Я. Н. Мухортов // Совершенствование обработки почвы и приёмов борьбы с сорняками в севооборотах ЦЧЗ : сб. науч. тр. – Воронеж, 1984. – С. 5–18.
133. Нарциссов В. П. Итоги исследований по вопросам обработки почвы, проведённых кафедрой общего земледелия Горьковского сельскохозяйственного института / В. П. Нарциссов // Обработка почвы : сб. науч. тр. – Горький, 1980. – Т. 142. – С. 3–15.
134. Наумов С. А. Влияние различных систем обработки серой лесной почвы на её свойства и урожайность культур в плодосменном севообороте / С. А. Наумов, Е. И. Иваницкая // Новое в обработке почвы Нечерноземья : сб. науч. тр. – Горький, 1982. – 150 с.
135. Наумов С. А. Эффективность минимальной обработки почвы в севообороте в условиях центрального района Нечернозёмной зоны РСФСР / С. А. Наумов // Минимализация обработки почвы. – Москва, 1984. – С. 14–20.
136. Немцев Н. С. Агрохимическая эффективность почвозащитной системы земледелия / Н. С. Немцев // Вопросы совершенствования сельскохозяйственного производства : сб. науч. тр., Пензенский НИИСХ. – Пенза, 1993. – Ч. 1. – С. 149–158.
137. Нестяк В. С. Обработка почвы при прямом посеве / В. С. Нестяк, К. Т. Мамбеталин // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2011. – № 12 (86). – С. 99–103.
138. Неттевич Э. Д. Культура поля и селекция / Э. Д. Неттевич // Зерновое поле Нечерноземья. – Москва : Московский рабочий, 1986. – С. 22–39.
139. Неттевич Э. Д. Урожай и качество зерна яровой пшеницы, выращенной в условиях Центрального региона России / Э. Д. Неттевич // Доклады РАСХН. – 1997. – № 4. – С. 3–4.
140. Неттевич Э. Д. Яровая пшеница в Нечерноземной зоне / Э. Д. Неттевич. – Москва : Россельхозиздат, 1976. – 220 с.
141. Ничипорович А. А. Физиология фотосинтеза и продуктивность растений / А. А. Ничипорович // Физиология фотосинтеза. – Москва : Наука, 1982. – С. 7–33.
142. Носатовский А. И. К вопросу о черезззёрнице пшеницы / А. И. Носатовский // Изучение культурных растений : тр. Всесоюз. съезда по генетике, селекции, семеноводству и племенному животноводству (Ленинград, 10-16 января 1929 г.). – Ленинград, 1929. – Т. 3. – С. 396.
143. Носатовский А. И. Пшеница. Биология / А. И. Носатовский. – 2-е изд., доп. – Москва : Изд-во «Колос», 1965. – 568 с.
144. Носатовский А. И. Пшеница. Биология / А. И. Носатовский. – Москва : Сельхозгиз, 1950. – 407 с.
145. Обработка почвы (энергосберегающие технологии и технологические средства) : Рекомендации. – Москва : ФГНУ «Росинформагротех», 2004. – 104 с.
146. Олексеенко Ю. Ф. Прикатывание почв повышает урожай / Ю. Ф. Олексеенко // Земледелие. – 1991. – № 6. – С. 59–60.
147. Павлов М. И. Итоги изучения методов обработки почвы по Т. С. Мальцеву на Татарской республиканской сельскохозяйственной опытной станции и в колхозах республики / М. И. Павлов // Сб. науч. тр. КФАН СССР, сер. биол. – 1960. – Вып. 5. – С. 44-68.
148. Панников В. Д. Повышение плодородия почв и продуктивности земледелия / В. Д. Панников // Актуальные проблемы земледелия. – Москва : Колос, 1984. – С. 11–20.

149. Пегова Н. А. К вопросу об усовершенствовании плоскорезной обработки почвы / Н. А. Пегова // Актуальные проблемы агропромышленного сектора : сб. тр. науч.-практ. конфер. – Ижевск. – 1987. – С. 72–73.
150. Перекальский Ф. М. Яровая пшеница / Ф. М. Перекальский. – Москва : Сельхозгиз, 1961. – 280 с.
151. Пери Э. No-till в США: производство озимой пшеницы на Тихоокеанском Северо-Западе / Э. Пери // Ресурсосберегающее земледелие. – 2011. – № 3(11). – С. 14–16.
152. Перфильев Н. В. Параметры темно-серой лесной почвы при длительном применении различных систем основной обработки / Н. В. Перфильев, О. А. Вьюшина // Земледелие. – 2016. – № 2. – С. 23–25.
153. Пестряков В. К. Окультуривание дерново-подзолистых почв (в северо-западной зоне). – Ленинград : Колос, 1984. – С. 11–20.
154. Пискунов А. С. Азот почвы и эффективность азотных удобрений на зерновых культурах в Предуралье / А. С. Пискунов. – Пермь, 1994. – 164 с.
155. Платунов А. А. Научные и практические основы комплексного окультуривания дерново-подзолистых супесчаных почв в условиях Северо-Востока Российской Федерации : автореф. дисс. … д-ра с.-х. наук / А. А. Платунов. – Москва, 1997. – 43 с.
156. Платунов А. А. Основные приёмы окультуривания дерново-подзолистых почв в Волго-Вятской зоне / А. А. Платунов // Агрономическая наука – достижения и перспективы : сб. докл. науч.-практ. конф., посвященной 50-летию агрофака Кировского сельскохозяйственного института. – Киров. – 1994. – С. 97–98.
157. Платунов А. А. Результаты длительных исследований различных приёмов окультуривания супесчаных дерново-подзолистых почв в условиях Северо-Востока Европейской части России / А. А. Платунов // Земледелие на рубеже XXI века : сб. докл. межд. науч. конф. – Москва : Издво МСХА, 2003. – С. 321–325.
158. Платунов А. А. Эффективность плоскорезной обработки эродированных дерново-подзолистых почв / А. А. Платунов, Г. Е. Козлов, П. Ф. Кошкин // Плодородие и рациональное использование пахотных почв : сб. науч. трудов. – Киров, 1986. – С. 9–18.
159. Постников П. А. Режим влажности под зерновыми культурами в зависимости от способов основной обработки почвы / П. А. Постников [и др.] // Научные достижения и инновационные подходы к решению проблем растениеводства и животноводства на Урале : сборник научных трудов ФГБНУ «Уральский НИИСХ», посвящённой 60-летию института. Т. 63. – Екатеринбург : Уральское изд-во, 2016. – С. 256-264.
160. Почвоведение / под ред. И. С. Кауричева. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Колос, 1975. – 496 с.
161. Природно-сельскохозяйственное районирование земельного фонда СССР. – Москва : Агропромиздат, 1986. – 72 с.
162. Прокошев В. Н. Полевые культуры Предуралья / В. Н. Прокошев. – Пермь : Кн. изд-во, 1968. – 365 с.
163. Пруцков М. В. Повышение урожайности зерновых культур / М. В. Пруцков. – Москва, 1982. – 205 с.
164. Пупонин А. И. Научные основы снижения засорённости почвы / А. И. Пупонин, А. В. Захаренко // Земледелие. – 1999. – № 3. – С. 29–30.
165. Пупонин А. И. Обработка почвы в интенсивном земледелии Нечернозёмной зоны / А. И. Пупонин. – Москва : Колос, 1984. – 184 с.
166. Пыхтин И. Г. Совершенствование технологии возделывания яровых культур / И. Г. Пыхтин, И. В. Дудкин, В. Е. Поветкин // Земледелие. – 2000. – № 1. – С. 20–21.
167. Ревякин Е. Л. Развитие машин для минимальной и нулевой обработки почв / Е. Л. Ревякин. – Москва : ВАСХНИИЛ, 1981. – 54 с.

168. Ресурсосберегающие интенсивные технологии производства зерна и молока в реализации программы социально-экономического развития Удмуртской Республики. – Ижевск, 2005. – 101 с.
169. Робочев И. С. Минимальная обработка почвы и борьба с её переуплотнением / И. С. Робочев [и др.]. – Москва : Знание, 1972. – 128 с.
170. Рюбензам Э. Земледелие / Э. Рюбензам, К. Рауэ. ; пер. с нем. А. М. Лыкова. – Москва : Колос, 1969. – 520 с.
171. Салова Т. М. Выбор системы обработки почвы в зерновом севообороте / Т. М. Салова, Ю. С. Адомяко, М. И. Перевалов // Приёмы повышения урожайности и качества продукции полевых культур в Нечернозёмной зоне : сб. науч. тр. – 1984. – С. 19–25.
172. Саранин К. И. Проблемы обработки почвы в Нечернозёмной зоне / К. И. Саранин // Пути увеличения производства зерна, кормов, повышения эффективности и устойчивости земледелия. – Москва : ВАСХНИЛ, 1982. – С. 151–159.
173. Саттаров Г. А. Совершенствование систем на ландшафтной основе / Г. А. Саттаров, К. И. Карпович // Земледелие. – 1998. – № 2. – С. 5–6.
174. Сдобников С. С. Новое в теории и практике обработки почвы / С. С. Сдобников // Земледелие. – 2000. – № 2. – С. 4–7.
175. Сдобников С. С. О системе обработки почвы в Нечернозёмной зоне / С. С. Сдобников // Земледелие. – 1985. – № 7. – С. 25–27.
176. Сдобников С. С. Плодородие почв и урожайность / С. С. Сдобников. – Москва, 1984. – 40 с.
177. Сдобников С. С. Пути повышения урожайности сельскохозяйственных культур и внедрение систем земледелия в центральном экономическом районе / С. С. Сдобников // Пути повышения почвенного плодородия и внедрение систем земледелия в Нечернозёмной зоне : сб. науч. тр. – Ленинград, 1983. – С. 72–80.
178. Сдобников С. С. Увеличение производства зерна в Нечернозёмной зоне / С. С. Сдобников. – Москва : Россельхозиздат, 1979. – 48 с.
179. Система ведения агропромышленного производства Кировской области. – Киров, 2000. – 367 с.
180. Скрябина О. А. Физические свойства эродированных почв Пермской области / О. А. Скрябина // Научные основы повышения плодородия почвы : межвузовский сборник научн. тр. – Пермь, 1982. – С. 8–19.
181. Смирнов Б. А. О совершенствовании систем основной обработки почвы / Б. А. Смирнов // Земледелие на рубеже XXI века : сб. докл. межд. научн. конф. – Москва : МСХА, 2003. – С. 292–295.
182. Соболев С. С. Развитие эрозионных процессов на территории Европейской части СССР и борьба с ними / С. С. Соболев. – Москва : Изд. АН СССР. – 1960. – Т. 2. – 248 с.
183. Солодовников А. П. Динамика плотности чернозёма южного при минимализации основной обработки / А. П. Солодовников [и др.] // Земледелие. – 2015. – № 1. – С. 5–7.
184. Справочник агронома Нечернозёмной зоны ; под ред. Г. В. Гуляева. – 3-е изд., доп. и перераб. – Москва : Агропромиздат, 1990. – 575 с.
185. Степанов В. Н. О минимальных температурах для прорастания семян и появления всходов полевых культур / В. Н. Степанов // Советская агрономия. – 1948. – № 1. – С. 56–63.
186. Степанов В. Н. Растения и среда / В. Н. Степанов. – Москва : Изд-во «Знание», 1964. – 48 с.
187. Судаков В. В. Влияние удобрений при различных способах обработки почвы на динамику питательных элементов и урожайность культур / В. В. Судаков, В. В. Еремсон, Г. И. Захарова // Энергосберегающие почвозащитные технологии обработки почвы в Приморском крае. – Москва : Агропромиздат, 1989. – С. 20–28.

188. Сурмач Г. П. Водная эрозия и борьба с ней / Г. П. Сурмач. – Ленинград : Гидрометеоиздат, 1976. – 254 с.
189. Тагиров М. Ш. Влияние способов основной обработки на водно-физические показатели почвы и продуктивность яровой пшеницы / М. Ш. Тагиров, Р. С. Шакиров, И. Г. Гилаев // Земледелие. – 2015. – № 8. – С. 20–21.
190. Таланов И. П. Оптимизация приёмов формирования высокопродуктивных ценозов яровой пшеницы / И. П. Таланов. – Казань. – 2003а. – 174 с.
191. Таланов И. П. Теоретическое обоснование и приёмы формирования высокопродуктивных ценозов яровой пшеницы в лесостепи Поволжья : автореф. дисс. ... д-ра с.-х. наук / Казанская ГСХА. – Казань, 2003б. – 39 с.
192. Татаринова Н. Я. Борьба с сорняками в Нечерноземной зоне / Н. Я. Татаринова [и др.] – Москва : Россельхозиздат, 1980. – 192 с.
193. Технологии возделывания яровых зерновых культур в Центральном районе Нечернозёмной зоны Российской Федерации. – Москва : ФГНУ «Росинформагротех». – 2001. – 56 с.
194. Тихвинский С. Ф. Полевые культуры на северо-востоке Европейской части России / С. Ф. Тихвинский [и др.]. – Киров, 2007. – 352 с.
195. Утеулина Р. Г. Минимализация обработки почвы в Уральской области / Р. Г. Утеулина, Е. А. Аринкин // Земледелие. – 1984. – № 2. – С. 24–25.
196. Фисюнов А. В. Борьба с сорняками в современном земледелии / А. В. Фисюнов // Земледелие. – 1984. – № 2. – С. 51–54.
197. Формирование урожая основных сельскохозяйственных культур / Пер. с чеш. З. К. Благовещенской. – Москва : Колос, 1984. – 367 с.
198. Хабибрахманов Х. Х. Некоторые результаты изучения длительной безотвальной обработки почвы в Татарии / Х. Х. Хабибрахманов, И. И. Долотин // Минимализация обработки почвы. – Москва : Колос. – 1984. – С. 212–222.
199. Хайдукова В. С. Полевая всхожесть семян пшеницы и ячменя и пути её повышения в условиях Предуралья : автореф. дис. … канд. с.-х. наук / В. С. Хайдукова – Пермь, 1986. – 19 с.
200. Холзаков В. М. Повышение продуктивности дерново-подзолистых почв в Среднем Предуралье : автореф. дисс. … д-ра с.-х. наук / Тюменская ГСХА. – Тюмень. – 2004. – 32 с.
201. Холзаков В. М. Повышение продуктивности дерново-подзолистых почв в Нечернозёмной зоне / В. М. Холзаков : монография. – Ижевск : ФГОУ ВПО Ижевская ГСХА, 2006. – 436 с.
202. Холзаков В. М. Реализация адаптивно-ландшафтного земледелия в учебно-опытном хозяйстве «Июльское» / В. М. Холзаков // Научные основы системы ведения сельского хозяйства в Удмуртской Республике. Книга 3. Адаптивно-ландшафтная система земледелия. – Ижевск : Ижевская ГСХА, 2002а. – С. 62–66.
203. Холзаков В. М. Система обработки почвы / В. М. Холзаков, А. И. Венчиков // Научные основы системы ведения сельского хозяйства в Удмуртской Республике. Книга 3. Адаптивно-ландшафтная система земледелия. – Ижевск : Ижевская ГСХА, 2002б. – С. 155–171.
204. Холмов В. Г. Роль минимальной обработки почвы и комплексной химизации при выращивании зерновых культур // Интенсификация земледелия в Западной Сибири. – Сб. науч. тр. – Новосибирск. – 1985. – С. 8–16.
205. Хохлов Н. Ф. Повышение продуктивности зерновых культур в зависимости от глубины основной обработки дерново-подзолистой почвы и внесения минеральных удобрений / Н. Ф. Хохлов // Доклады ВАСХНИЛ. – 1990. – № 9. – С. 40–43.
206. Хромченко Н. Я. Почвенный воздух дерново-подзолистых и дерново-карбонатных почв / Н. Я. Хромченко, В. П. Ковриго // Вопросы почвоведения и применения удобрений в Удмуртской АССР. – Ижевск, 1974. – Вып. 23. – С. 61–70.

207. Чепелев В. П. Селекция зерновых и зернобобовых культур на Среднем Урале / В. П. Чепелев // Всероссийская научно-практическая конфер., посвящённая памяти Уральских учёных: д-ра биол. наук Н. А. Иванова, д-ров с.-х. наук В. Ф. Трушина и С. А. Чазова : сб. науч. тр. – Екатеринбург, 2001. – Т. 2. – С. 253–261.
208. Черкасов Г. Н. Возможность применения нулевых и поверхностных способов основной обработки почвы в различных регионах / Г. Н. Черкасов, И. Г. Пыхтин, А. В. Гостев // Земледелие. – 2014. – № 5. – С. 13–16.
209. Чернышев В. А. Приёмы глубокого рыхления подзолистых почв в условиях Северо-Западной зоны : науч. тр. / В. А. Чернышев / СЗНИИСХ. – Ленинград, 1963. – Вып. 5. – С. 203–233.
210. Чуданов И. А. Научные основы плоскорезной обработки почвы / И. А. Чуданов // Плоскорезная обработка почвы и борьба с засухой : сб. статей. – Куйбышев, 1976. – С. 4-16.
211. Чуданов И. А. Плоскорезная обработка почвы в Заволжье / И. А. Чуданов // Обработка почвы в степном Заволжье : сб. тр. Куйбышевского НИИСХ. – Куйбышев, 1980. – С. 3–12.
212. Чулкина В. А. Агротехнический метод защиты растений / В. А. Чулкина [и др.] ; под ред. А. Н. Каштанова. – Москва : ИВЦ «МАРКЕТИНГ» ; Новосибирск : ООО «Издательство ЮКЭА», 2000. – 336 с.
213. Шабаев А. И. Особенности обработки почвы в различных зонах и агроландшафтах Поволжья / А. И. Шабаев // Земледелие. – 2000. – № 5. – С. 13–15.
214. Шамсутдинов Р. И. Продуктивность зерновых культур и качество зерна при бессменных способах основной обработки серых лесных почв в условиях Предкамья : автореф. дисс. … канд. с.-х. наук. – Немчиновка, 2004. – 22 с.
215. Шевелуха В. С. Рост растений и его регуляция в онтогенезе / В. С. Шевелуха. – Москва : Колос, 1992. – 594 с.
216. Шевлягин А. И. Реакция сельскохозяйственных культур на различную плотность сложения почвы // Теоретические вопросы обработки почв: Докл. на Всесоюз. научно-технич. совещании (27 июня – 1 июля 1966 г.). – Ленинград : Гидрометеоиздат, 1968. – С. 32–39.
217. Шептухов В. Н. Минимализация обработки и прямой посев в технологии возделывания культур / В. Н. Шептухов. – Москва : ООО «Столичная типография», 2008. – 208 с.
218. Шириев В. М. Особенности внедрения технологии земледелия no-till в Республике Башкортостан / В. М. Шириев, Х. М. Сафин // Совершенствование системы земледелия Южного Урала. – Челябинск, 2012. – С. 11–16.
219. Эффективное применение удобрений в Нечернозёмной зоне / сост. В. Д. Панников. – Москва : Россельхозиздат, 1983. – 278 с.
220. Яковлев В. Х. Ранние посевы в Сибири / В. Х. Яковлев, Д. А. Кель, А. И. Сухонос // Земледелие. – 2004. – № 5. – С. 27–28.
221. Яровая мягкая пшеница в Кировской области. – Киров, 1999. – 57 с.
222. Яровая пшеница / А. И. Бараев [и др.]; Под общ. ред. А. И. Бараева. – Москва : Колос, 1978. – 429 с.
223. Яровая пшеница в Восточной Сибири (биология, экология, селекция и семеноводство, технология возделывания) ; под ред. Н. Г. Ведрова. – Красноярск, 1998. – 312 с.
224. Costa F. S. Propriedades fisicas de um latossolo bruno afetadas pelos sistemas plantio direto e preparo convencional / F. S. Costa, J. A. Albuquerque, C. Bayer, S. M. V. Fontoura, C. Wobeto // Rev. brasil. Cienc. Solo. 2003. Vol. 27. № 3. P. 527–535.
225. Golisch G. Tritkele, Winterroggen, Wintergerste, Weisen / G. Golisch. – 9 Auft. Bodenuntersuchngsinstitut, 1998. – 405 p.
226. Igonin M. I. New approach in agricultural techniques. What land owners and farmers need to know about improvement in soil fertility / M. I. Igonin // Problems of ecological-

ly safe technologies of agricultural product production, processing and store : materials of the international scientific practical conference. – Volume 1. – Sergiev Posad. – 1995. – C. 26–31.
227. Kocyigit R. CO_2 evolution during spring wheat growth under no-till and conventional tillage systems in the North American Great Plains regions / R. Kocyigit, C. W. Rice // Bulgarian Journal of Agricultural Science. 2011. № 17 (4). P. 512–520.
228. Kratzsch G. DLG – Feltrage 96 – Vergleich europaischer Winterweizenanbauverfaren. Arbeitsunterlagen der DLG / G. Kratzsch. DLG. – Verlag, 1996. – P. 7–15.
229. Miller J. J. Comparison of porosity in a Chernozemic clay loam soil under long-term conventional tillage and no-till / J. J. Miller, E. G. Kokko, G. C. Kozub // Canadian Journal of Soil Science, 1998. 78(4). P. 619–629.
230. Pert Y. Ekologicke a agrotechnike factory odhozovuni obilnin / Y. Pert. – Uroda, ovlionyjici, 1980. – № 28. – P. 271–272.