

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РФ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ ИМПЕРАТОРА ПЕТРА I»



На правах рукописи

Антипова Анастасия Николаевна

**ВЛИЯНИЕ СИСТЕМЫ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ НА ПОКАЗАТЕЛИ
ПЛОДородия, УРОЖайНОСТЬ И КАЧЕСТВО СЕМЯН СОИ В
УСЛОВИЯХ ТУЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ**

Специальность 4.1.1 Общее земледелие и растениеводство

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени

кандидата сельскохозяйственных наук

Научный руководитель:
Коржов Сергей Иванович
доктор сельскохозяйственных наук,
доцент

Воронеж

2024

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
ГЛАВА 1 ВЛИЯНИЕ СИСТЕМ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ НА ЕЕ АГРОФИЗИЧЕСКИЕ И АГРОХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ И УРОЖАЙНОСТЬ СОИ (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ).....	11
1.1 Влияние различных систем обработки почвы на ее плодородие.....	11
1.2 Влияние совокупности абиотических, фитогенных и антропогенных факторов на развитие растений сои	23
1.3 Урожайность и качество зерна сои в зависимости от систем обработки почвы	36
ГЛАВА 2 ПОЧВЕННО-КЛИМАТИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ, СХЕМА ОПЫТА И МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	41
2.1 Почвенно-климатические условия места проведения исследований.....	41
2.2 Метеорологические условия в годы проведения исследований (2020-2022 гг.)	43
2.3 Схема опыта и методика исследований.....	49
ГЛАВА 3 ДЕЙСТВИЕ РАЗЛИЧНЫХ СИСТЕМ ОБРАБОТКИ НА АГРОФИЗИЧЕСКИЕ И АГРОХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПОЧВЫ.....	58
3.1 Плотность почвы.....	58
3.2 Влажность почвы	62
3.3 Содержание гумуса.....	68
3.4 Нитратный азот.....	73
3.5 Подвижный фосфор и обменный калий	79
3.6 Кислотность, сумма поглощенных оснований, степень насыщенности основаниями.....	94
ГЛАВА 4 ЗАСОРЕННОСТЬ ПОСЕВОВ СОИ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ СИСТЕМАХ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ	124
ГЛАВА 5 РАЗВИТИЕ РАСТЕНИЙ СОИ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ СИСТЕМАХ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ.....	137
5.1 Динамика прохождения фенологических фаз.....	137

5.2 Динамика высоты, площади листовой поверхности, высоты прикрепления нижнего боба и накопления воздушно-сухой массы растениями сои.....	144
5.3 Формирование растениями сои симбиотического аппарата	158
ГЛАВА 6 УРОЖАЙНОСТЬ СОИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СИСТЕМЫ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ.....	166
6.1 Структура урожая в зависимости от системы обработки почвы	166
6.2 Качество зерна сои при применении различных систем обработки почвы	171
6.3 Урожайность сои и ее зависимость от изучаемых показателей.....	175
ГЛАВА 7 ЭКОНОМИЧЕСКАЯ И БИОЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ СИСТЕМ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ СОИ	187
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	193
РЕКОМЕНДАЦИИ ПРОИЗВОДСТВУ.....	200
ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕЙ РАЗРАБОТКИ ТЕМЫ	201
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	202
ПРИЛОЖЕНИЕ	237

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. Соя стоит в одном ряду с наиболее значимыми сельскохозяйственными культурами. Зерно этой культуры используют в продовольствии, кормопроизводстве и даже в технических целях. В Российской Федерации в 2020 году площадь посевов сои составила 2858,3 тыс. га, при урожайности 1,59 т/га, в 2021 году 3068,0 тыс. га с урожайностью 1,59 т/га и в 2022 году 3506,5 тыс. га – 1,79 т/га.

Для Центрального региона соя не является основной культурой, но в то же время площади ее посевов с каждым годом растут. Увеличение посевных площадей и урожайности сои является одним из приоритетных направлений развития отрасли сельского хозяйства Тульской области. Площади посева этой культуры в этом регионе составили в 2020 году 36,2 тыс. га с урожайностью 1,96 т/га, в 2021 году 42,4 тыс. га – 1,50 т/га, в 2022 году 47,0 тыс. га – 1,92 т/га. Использование научно обоснованных систем обработки почвы является одним из способов, позволяющих добиться наибольшей реализации сортом его генетического потенциала.

Внедрение в производство в нечерноземной зоне на территории, которая относится к зоне неустойчивого увлажнения, систем обработки, способствующих сохранению и повышению плодородия почвы, увеличению урожайности и улучшению качества семян, необходимо теоретическое и практическое обоснование данных мероприятий в конкретных почвенно-климатических условиях. Таким образом, изучение закономерностей формирования агрофизических и агрохимических показателей плодородия чернозема выщелоченного при различных системах обработки почвы под сою является актуальным.

Степень разработанности темы исследования. Зависимость от способа обработки агрофизических и агрохимических свойств почвы под зерновыми культурами исследовали: в Воронежской области в 2011-2022 гг. А. В. Дедов и А. В. Шевченко [55], в 2021 г. К. Е. Стекольников [142]; в

условиях Самарской области под соей и другими зерновыми культурами в 2018 г. Д. А. Кузнецов [94], в 2020 г. Т. С. Зубкова [69]; в условиях Курской области в 2020-2022 гг. Д. В. Дубовик, Е. В. Дубовик, А. Н. Морозов, А. В. Шумаков [62]; в условиях Кировской области под зерновыми культурами в 2020-2021 гг. Е. Н. Носкова, Л. М. Козлова, Ф. А. Попов, Е. В. Светлакова [114]; в центральной зоне Краснодарского края под зерновыми культурами в 2013-2016 гг., в 2016-2018 гг., С. Н. Осауленко [116, 117].

Агрохимические свойства почвы в зависимости от используемых агроприемов изучали: в условиях Воронежской области под зерновыми культурами в 2008-2015 гг. Т. А. Трофимова, С. И. Коржов, А. П. Пичугин, Г. В. Котов [146], в 2017 г. А. М. Стручкова, Д. Н. Пищулин, Д. Ю. Артемьева, Д. И. Бережнов, К. Е. Стекольников [7, 8, 143], под соей В. А. Федотов, С. В. Гончаров, О. В. Столяров, Т. Г. Ващенко, Н. С. Шевченко [155]; в условиях Белгородской области в различных севооборотах в 2012-2015 гг. С. И. Тютюнов [150], в 1964-2018 гг. П. А. Чекмарёв и С. В. Лукин [164].

Особенности роста и развития сои в зависимости от различных условий выращивания исследовали: в условиях Воронежской области в 2010-2011 гг. С. В. Кадыров [73], в 2019-2021 гг. Г. Г. Голева [40]; в условиях лесостепи Тюменской области в 2017 г. Е. А. Краснова [88]; в условиях Ростовской области в 2019-2020 гг. Р. Е. Юркова, Л. М. Докучаева [182]; в условиях Нечерноземной зоны России (Московская область) в 2002-2017 гг. Н. П. Попова, М. Е. Бельшкіна [124], в 2018 г. М. Е. Бельшкіна, Т. П. Кобозева [16]; в условиях Краснодарского края в 2018 г., 2019 г. О. Г. Шабалдас [1, 172-174].

Проведенные исследования показывают, что обработка почвы играет важную роль в технологии возделывания сельскохозяйственных культур и требует дифференцированного подхода к своей оптимизации. Однако видно, что среди работ последнего десятилетия нет трудов, посвященных изучению влияния систем обработки почвы на показатели плодородия при возделывании сои в условиях Тульской области.

Цель и задачи исследования. Цель диссертационного исследования заключается в определении закономерностей формирования агрофизических и агрохимических показателей плодородия чернозема выщелоченного при различных системах обработки почвы под сою в условиях Тульской области.

Для достижения заявленной цели были поставлены следующие задачи:

- установить закономерности формирования агрофизических и агрохимических показателей плодородия чернозема выщелоченного под соей при различных системах обработки почвы;
- выявить зависимость между применением различных систем обработки почвы и структурой сорного агрофитоценоза в посевах сои;
- изучить влияние различных систем обработки почвы на развитие растений сои и формирование элементов структуры урожая этой культуры;
- выявить влияние систем обработки почвы на структуру урожая и урожайность сои;
- определить энергетическую и экономическую эффективность различных систем обработки почвы при возделывании сои.

Научная новизна диссертационного исследования заключается в выявлении закономерностей формирования агрофизических и агрохимических показателей плодородия чернозема выщелоченного под соей. Показано, что при глубокой обработке почвы складываются оптимальные параметры плотности и питательного режима.

Минимизация системы обработки почвы способствовала увеличению ее плотности в пахотном слое 0...30 см при применении безотвального рыхления на 0,02 г/см³, на фоне дискования – на 0,10 г/см³.

Количество нитратов в слое 0...30 см по отвальной системе обработке почвы составило 15,98 мг/кг, что соответственно больше на 7,24 и 11,46% безотвального рыхления и дисковой обработки.

Содержание P₂O₅ в метровом слое почвы и при применении системы со вспашкой (48,16 мг/кг) и на системе с дискованием (49,66 мг/кг) оказалось низким, а высоким – на фоне системы с безотвальным рыхлением (51,45

мг/кг). Количество K_2O в слое 0...100 см при применении систем с отвальной обработкой и безотвальным рыхлением было соответственно больше дискования на 7,23 и 10,00 %.

Актуальная, обменная и гидролитическая кислотность показали разностороннюю направленность. В целом их значения были благоприятными для роста и развития сои.

За годы исследований сумма обменных оснований в слое 0...30 и 0...100 см составила 23,78-29,71 мг-экв/100 г почвы. Наибольшее содержание было отмечено при дисковой системе обработки почвы.

Теоретическая и практическая значимость работы. Установлена связь между формированием агрофизических и агрохимических показателей плодородия чернозема выщелоченного при различных системах обработки почвы и урожайностью сои.

В среднем за годы исследований наибольшая урожайность (2,16 т/га) зафиксирована при отвальной обработке почвы. На безотвальном рыхлении и дисковании сбор зерна был в среднем меньше соответственно на 0,09 т/га и 0,29 т/га.

Наибольшее число семян на растении зафиксировано на варианте со вспашкой – 35,00 шт. с массой 4,85 г. Средний показатель по числу семян был на варианте с безотвальным рыхлением – 33,15 шт. с массой 4,34 г. Меньше всего семян было на варианте с дискованием – 29,84 шт. с массой 4,05 г.

Содержание белка в зерне было больше на вспашке (35,4%), чем при безотвальном рыхлении (34,6%) или дисковании (33,8%). Содержание жира было меньше на вспашке (20,3%), увеличиваясь на безотвальном рыхлении (до 20,5%) и дисковании (до 21,1%).

По основным положениям диссертационного исследования получены практические результаты в ходе производственной проверки в ИП Ульянич Д.В. Липецкой области Усманского района на площади 140 га, при этом отмечена экономия материальных затрат, а уровень рентабельности составил 28% при применении системы глубокой обработки почвы.

Методология и методы исследования. Исследования были организованы с учетом интегрированного подхода к анализу воздействия систем обработки почвы на ее плодородие и продуктивность сои в условиях юго-востока Тульской области. В процессе работы над диссертацией применялись методы полевых, лабораторных исследований, методы математической статистики. Учтен опыт отечественных и зарубежных исследователей.

Степень достоверности результатов исследования обосновывается сведениями, полученными в результате комплексного изучения большого количества научной информации, опубликованной в российских и зарубежных периодических изданиях как печатных, так и электронных, собственными результатами исследований, полученными в процессе работы над достижением поставленной цели диссертации, посредством применения методов полевых и лабораторных исследований, организованных в соответствии с общепринятыми рекомендациями и ГОСТами, проведением статистического анализа полученных данных.

Положения, выносимые на защиту:

1. Закономерности формирования агрофизических и агрохимических показателей плодородия чернозема выщелоченного при различных системах обработки почвы под сою. Применение системы с отвальной обработкой почвы способствовало снижению плотности почвы на 0,03-0,11 г/см³. Содержание P₂O₅ в слое 0...30 см составило 52,42 мг/кг, что меньше системы с плоскорезной обработкой 2,02 мг/кг и системы с дисковым рыхлением на 4,34 мг/кг.

2. Сорный компонент зависит от системы обработки почвы в посевах сои: на системе, включающей отвальную обработку, количество сорняков составило до обработки гербицидами 53,58 шт./м², при системе с безотвальным рыхлением – 67,65 шт./м², при системе с дискованием – 87,17 шт./м².

3. Система отвальной обработки почвы способствует формированию активных клубеньков на 24-68% больше, чем на других системах обработки. При этом повышает количество бобов на одном растении до 14,69 шт.

4. Оценка энергетической и экономической эффективности способов основной обработки почвы.

Апробация результатов исследования. Итоги диссертационного исследования и его главные утверждения отображены в изданных научных статьях и были представлены на нескольких научных заседаниях и конференциях: ежегодных научно-практических конференциях преподавателей ВГАУ (2020-2022 гг.), международной научно-практической конференции (15 апреля 2021 г., г. Макеевка), международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых (8 апреля 2021 г., 14 апреля 2022 г., 21 апреля 2022 г., г. Макеевка), международной научно-практической конференции «Экологические проблемы сельскохозяйственного производства» (27 декабря 2021 года, г. Воронеж), IV всероссийской конференции молодых ученых АПК (19-20 мая 2022 г., г. Ростов), VI международной студенческой научной конференции (24 - 25 мая апреля 2022 года, г. Ульяновск), международной научно-практической конференции «Аграрная наука XXI века: проблемы и перспективы развития» (07-08 декабря 2022 года, г. Воронеж), Аграрном научном журнале (2023 г., № 4), Агрехимическом вестнике (2024 г., № 3), журнале Земледелие (2024 г., № 5).

Личный вклад соискателя. Аспирант строил план работы и самостоятельно организовывал исследования, систематизировал полученные показатели, писал статьи для публикаций, оформлял диссертационную работу. Участие автора оценивается в более чем 90%.

Публикация результатов исследования. Итоги диссертационной работы и ее главные утверждения отображены в 10 опубликованных статьях, в числе которых 3 работы напечатаны в рецензируемых научных изданиях.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа включает введение, 7 глав, заключение, рекомендации производству, перспективы дальнейшей разработки темы, список литературы (231 наименование, в т. ч. 45 – иностранных авторов). Работа изложена на 236 страницах компьютерного текста, проиллюстрирована 43 таблицами и 38 рисунками; кроме того, содержит 1 приложение.

ГЛАВА 1 ВЛИЯНИЕ СИСТЕМ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ НА ЕЕ АГРОФИЗИЧЕСКИЕ И АГРОХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ И УРОЖАЙНОСТЬ СОИ (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ)

1.1 Влияние различных систем обработки почвы на ее плодородие

Наиболее известные ранние предположения относительно системы обработки почвы были сделаны в начале XVIII века английским фермером, Jethro Tull, который считается отцом теории обработки почвы. Tull утверждал, что обработка повышает продуктивность почвы, поскольку приводит к расщеплению крупных частиц почвы на более мелкие, которые увеличивают поверхность, с которой корни растений получают питание [190]. R.E. Yoder описал конечную цель обработки почвы как высокий уровень плодородия, и достижение которой зависит от техники обработки почвы. Почва обрабатывается для улучшения соотношения содержания воздуха, воды и питательных веществ для общего повышения урожайности [230].

От системы обработки зависят агрофизические и агрохимические характеристики почвы, определяющие водно-воздушные и термические условия почвенного климата, степень и глубину заделки растительных остатков. В зависимости от приемов обработки формируется то или иное строение почвенного профиля по распределению в нем частиц твердой фазы, запасов питательных веществ, перемещению углекислого газа и влаги. Все это может сказаться на динамике и соотношении синтеза и минерализации гумуса, образовании подвижных форм питательных веществ и освоении их растениями [215].

1.1.1 Влияние систем обработки на агрофизические свойства почвы

Агрофизические свойства почв и их сезонные изменения имеют исключительно важное значение в повышении плодородия и создании оптимальных условий для сельскохозяйственных культур [45, 79].

Выбор системы обработки почвы во многом зависит от ее плотности: почвы с высоким содержанием гумуса (3,5% и выше) не нуждаются в интенсивных обработках для регулирования агрофизических свойств, так как они способны поддерживать оптимальную для большинства культурных растений плотность под влиянием естественных факторов. В свою очередь, нецелесообразное использование тяжелой сельскохозяйственной техники приводит к уплотнению почвы, что способствует снижению аэрации и развитию анаэробных процессов, которые являются губительными для корневой системы растений [181].

В результате многолетних исследований, проведенных в 2011-2022 гг. А.В. Дедовым и А.В. Шевченко установлено, что при отвальной обработке (вспашке) на глубину 20-22 см за счет лучшего крошения и равномерного распределения массы растительных остатков в пахотном слое наблюдалось снижение плотности почвы, в то время как при минимизации обработки почвы отмечалась тенденция повышения плотности, которая все же оставалась в оптимальных пределах. Диапазон сезонного изменения плотности чернозема обыкновенного от начала до конца вегетации вне зависимости от системы обработки почвы составил 0,95-1,16 г/см³ [55].

Похожие результаты получены другими исследователями, которые отмечают, что плотность почвы на разных системах обработки остается оптимальной, т.е. минимизация обработки не приводит к значительному уплотнению пахотного слоя почвы [71, 94, 114, 180, 187].

Кроме того, Я.З. Каипов обращает внимание на то, что несмотря на оптимальное состояние пахотного слоя при всех исследуемых способах обработки почвы, предпочтение следует отдавать комбинированной и безотвальной обработкам, так как затраты энергии и труда при этих обработках значительно ниже, чем при отвальной обработке почвы [75].

М.У. Alamouti и М. Navabzadeh отмечают, что на илистом суглинке насыпная плотность почвы, связанная с глубокой обработкой, как правило,

была выше, чем при полуглубокой обработке, но различия между полуглубокой и глубокой обработкой были незначительными [188].

В то же время, К.Е. Стекольников отмечает, что при использовании технологии No-Till плотность почвы превышает оптимальную ($1,3 \text{ г/см}^3$) уже в слое 5-15 см, достигая значения $1,54 \text{ г/см}^3$ [142].

Анализ исследований позволяет сделать вывод, что плотность на различных вариантах обработки почвы в течение вегетационного периода остается в оптимальных пределах, однако при минимизации обработки в конкретных почвенно-климатических условиях она может достигать значений выше оптимальных.

Влагообеспеченность растений в период их развития является основным лимитирующим фактором урожайности. Влажность почвы непосредственно влияет на водный и питательный режимы, формирование урожая и биологические процессы. Задача обработки почвы заключается в поддержании благоприятного уровня влажности, необходимого для нормального роста и развития культуры.

ФГБОУ ВО Самарский ГАУ и Institute of Agrophysics, Polish Academy of Sciences установлено, что влажность почвы выше на вариантах с минимальными и нулевыми механическими обработками, т.е. минимизация обработки способствует накоплению и сохранению влаги [11, 224]. В.Н. Фомин, М.М. Нафиков, В.В. Медведев и Д.В. Якимов подчеркивают, что более высокие влагозапасы на безотвальных обработках отмечались и в конце периода вегетации, что объясняется более низким ее испарением [157]. Аналогичные данные, показывающие, что глубокая вспашка в большей степени способствует проникновению осадков и накоплению влаги в почве, получили Sun Shi Jun, Yan Ying, Zhang XuDong, Wang TieLiang и Wang DianWu из Китая и M.D. Johnson, B. Lowery и T.C. Daniel из Мичигана. Причем эти авторы в результате наблюдений установили, что засушливые условия приводят к более быстрому истощению запасов влаги в почве при глубокой обработке, чем при мелкой [207, 225].

Данные, полученные в результате исследований на обычном карбонатном тяжелосуглинистом черноземе, показывают, что безотвальная обработка является наиболее эффективной с точки зрения поддержания влажности почвы и урожайности в зоне рискованного земледелия [223].

Производственные опыты, проведенные в 2016-2018 гг. в центральной зоне Краснодарского края, указывают на возможность замены отвальной обработки чернозема обыкновенного на безотвальные, минимальные, поверхностные и даже на технологии прямого посева для создания условий по накоплению доступной влаги [116].

Также установлено, что поверхностная и нулевая обработки не оказывают существенного влияния на динамику влажности почвы по сравнению с вспашкой. Причем в пахотном слое 0...30 см складывается тенденция по большему ее содержанию при поверхностной и нулевой обработках, тогда как на вспашке наблюдается меньшее количество влагозапасов. Однако в слое 0...100 см преимущества энергосберегающих обработок уже не проявляются [116].

Metin Mujdeci, Burhan Kara and Ahmet Ali Isildar обнаружили, что среди различных способов обработки почвы вспашка в сочетании с дисковым боронованием способствует наиболее продуктивному накоплению влаги в почве, представленной песчаным суглинком [213].

1.1.2 Влияние систем обработки на агрохимические свойства почвы

Агрохимические свойства в той или иной степени отражают направление и интенсивность почвообразовательных процессов, протекающих в почвах, и используются для количественной характеристики таксономических групп почв в генетических классификациях [63, 122].

Обработка почвы оказывает существенное влияние на распределение в ней органического вещества, которое является основным драйвером продуктивности пашни. Динамика содержания гумуса в пашне обусловлена

элементами системы земледелия – структурой севооборота, интенсивностью систем обработки почвы, насыщенностью удобрениями [71, 74, 76, 97, 99, 103, 104, 111, 112, 165, 177]. При этом независимо от природно-климатической зоны имеет место тренд снижения этого показателя без применения в севообороте специфических агроприемов и вещественных ресурсов [150].

Наиболее перспективной системой обработки с точки зрения сохранения и накопления гумуса является комбинированная обработка, основанная на чередовании вспашки и рыхления плугом, содержание гумуса при которой увеличивается в пахотном слое тёмно-серых лесных почв на 0,38% [101,120].

Обработка почвы снижает содержание гумуса в направлении «минимальная обработка – безотвальная обработка – вспашка». Однако отмечена положительная роль вспашки в локализации гумуса в подпахотном слое почвы. С.И. Тютюнов указывает, что в типичном чернозёме в пахотном слое содержание гумуса выше, чем в подпахотном, вне зависимости от способа обработки [150, 151].

В то же время на основе многолетних стационарных опытов, заложенных в 1984 г. ФГБНУ НИИСХ ЦЧП им. В.В. Докучаева и ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет им. императора Петра I» на обыкновенных и выщелоченных черноземах в результате эксперимента, проведенного С.И. Коржовым, А.П. Пичугиным, Т.А. Трофимовой, Г.В. Котовым в течение 2008-2015 гг., установлено, что содержание гумуса при длительном применении ежегодной плоскорезной обработки составило в пахотном слое почвы 6,37%, на варианте рыхления плугом без отвалов – 6,43%, на варианте вспашки на глубину 20-22 см – 6,56%, а в метровом слое почвы – соответственно 4,88%, 4,84 и 5,04% [146].

Профессор К.Е. Стекольников в почвенно-климатических условиях Подгоренского района Воронежской области исследовал влияние применения технологии N-Till на содержание гумуса в почве. В результате выявлена тенденция снижения качества органического вещества под влиянием технологии No-Till. Отмечается, что при применении технологии No-Till не

зафиксировано обогащения органическим веществом верхней части профиля [7, 8, 143].

Также есть исследования, в результате которых выявлено, что максимальными запасами органического вещества как в верхнем слое 0...30 см, так и в полуметровой толще характеризовался вариант с нулевой обработкой. В последовательности же уменьшения запасов органического вещества, отмечаемого по этим слоям, следуют: поверхностная обработка, вспашка, безотвальная обработка. Такое распределение запасов органического вещества связано с лучшими условиями его разложения в вариантах с безотвальной обработкой и вспашкой, в которых верхние слои в большей степени подвержены перемешиванию по сравнению с другими способами. При этом с уменьшением количества органического вещества наблюдалось увеличение содержания питательных веществ, которые высвобождались при минерализации органики [42, 210, 216].

В University of Science and Technology в Польше в результате исследований установлено, что безотвальная обработка почвы и полосовая обработка значительно ограничивают вымывание углерода и азота из поверхностного слоя почвы до слоя 30...50 см. Самая высокая доля гуминовых и фульвокислот была обнаружена для почвы под полосовой обработкой, тогда как при безотвальной обработке была отмечена самая высокая доля углерода гуминовой фракции [197]. Аналогичные результаты получили Evah W. Murage и Paul Voroney из Agriculture and Agri-Food Canada Research Station в Дели, Онтарио. Они установили, что отсутствие основной обработки почвы способствовало концентрации гуминовых фракций на уровне верхних 5 см почвы, в то время как при обычной обработке почвы они проникали ниже [214].

Одним из определяющих факторов устойчивого функционирования агроэкосистем в земледелии является создание оптимальных условий потребления сельскохозяйственными культурами азота. Корни растений поглощают азот из почвы в виде нитрата (NO_3^-) или аммония (NH_4^+). В

большинстве почв действие нитрифицирующих бактерий приводит к тому, что культуры поглощают в основном $N-NO^3^-$. В других особых ситуациях в почве, таких как анаэробные условия, растения могут поглощать относительно больше NH^{4+} , чем NO^3^- .

Установлено, что обработка почвы не оказывает существенного влияния на содержание аммонийного азота. В условиях вспашки содержание аммонийного азота в агрочерноземе в начале вегетации приближается к максимальным показателям. Перераспределение растительных остатков в пользу верхней части пахотного слоя в условиях минимальной обработки способствует повышенному содержанию нитратного азота в слое 0...10 см. В слое 10...20 см содержание $N-NO^3^-$ убывает в ряду обработок: минимальная – отвальная – нулевая [30, 95].

Содержание нитратов в почве в течение вегетационного периода существенно колеблется и зависит от используемых предшественников, применяемых удобрений, принятой обработки почвы и других элементов агротехники [12, 46, 103]. При отвальной вспашке пожнивные остатки с плодородным и биогенным верхним слоем перемещаются на дно борозды, создается гомогенный пахотный слой с благоприятным режимом тепла, влаги и аэрации. В результате на вспаханных участках интенсивнее развивается аэробная микробиологическая деятельность, больше накапливается питательных веществ для растений. При глубокой и мелкой плоскорезной обработке основная причина ухудшения накопления нитратного азота на черноземах весной – это наличие на поверхности почвы стерни и пожнивных остатков [139].

Есть результаты исследований, полученные в длительном стационарном опыте в южной зоне Ростовской области (РФ) и на юге Техаса (США), которые говорят о преобладании содержания нитратного азота в течение вегетационного периода на вариантах с минимальной обработкой [92, 221]. Аналогично в условиях суглинистой почвы (типичного ксерофлювента) в Центральной Италии в ходе долгосрочного эксперимента, проведенного в

1993-2008 гг., был сделан вывод, что использование нулевой обработки почвы совместно с покровными культурами способствует сохранению такого уровня азота в почве, которого при отвальной обработке удалось бы достичь только при повышенных уровнях внесения удобрений и при выращивании высокопродуктивных покровных культур [211].

В ходе длительного 28-летнего эксперимента, начатого в 1975 г. на темноокрашенном илистом глинистом суглинке Чалмерса в Индиане, было установлено, что выводы об увеличении содержания азота при длительной безотвальной обработке сильно зависят от глубины отбора проб, и сравнение обработок почвы должно основываться на пробах, взятых значительно ниже самой большой глубины обработки. Так, увеличение количества азота при безотвальной обработке составило 1,9 т/га при постоянной глубине отбора проб 30 см, но только 1,4 т/га – при постоянной глубине отбора проб 1,0 м, что показывает резкое снижение преимущества безотвальной обработки [203].

Фосфор входит в состав нуклеиновых кислот (ДНК и РНК), нуклеотидов, некоторых белков, витаминов и ферментов, влияет на процессы дыхания и фотосинтеза, играет важнейшую роль в обмене веществ, определяет энергетический статус клетки, синтез РНК, белков и жиров, деление и дифференцировку клеток, влияет на процесс симбиотической фиксации азота воздуха, активизирует рост корней, формирование цветков, плодов и семян, повышает устойчивость к засухе, жаре и холоду, ускоряет развитие и налив семян растений.

Содержание подвижных форм фосфора – один из важнейших агрохимических показателей плодородия почв [83, 164]. При недостатке фосфора в растении нарушаются процессы дыхания и фотосинтеза, задерживается рост корней и формирование клубеньков, надземных органов, ухудшается формирование цветков и плодов. Молодые листья образуются более узкими, сине-зелеными. Старые листья начинают желтеть от краев к центру, на них появляются бурые или черные некротические пятна, и они постепенно засыхают и опадают. Боковые корешки развиваются слабо [155].

Содержание подвижной формы фосфора при достаточной обеспеченности почвы продуктивной влагой в период закладки репродуктивных органов имеет большое значение [71]. Установлено, что уровень фосфора на вариантах опыта с поверхностной обработкой был значительно выше других вариантов во все основные фазы развития культур. Наиболее низкими запасами этого элемента питания характеризовался вариант со вспашкой. Почвы при безотвальной обработке были в большей степени обеспечены этим элементом питания по сравнению с делянками, на которых применялась поверхностная обработка [30, 42, 92, 100, 135]. Также есть данные, полученные в полевом опыте Курского федерального аграрного научного центра в 2015-2019 гг., подтверждающие наиболее низкое содержание подвижного фосфора на варианте с отвальной обработкой, но самое высокое содержание этого элемента отмечено уже при применении технологии No-till [61].

В то же время есть данные Н.Л. Кураченко и А.А. Колесник, которые свидетельствуют о том, что обеспеченность агрочерноземов подвижным фосфором в пахотном слое достаточно высокая на всех фонах обработки, но постепенно убывает в ряду: отвальная – минимальная – нулевая [95].

В результате многолетнего десятилетнего опыта в условиях юго-востока ЦЧР установлено, что его содержание при различных способах обработки почвы уменьшилось примерно одинаково на 0,052-0,039% при отвальной системе обработки на глубину 20...22-25...27 см и на 0,035-0,037% при безотвальной обработке почвы. При увеличении глубины отвальной обработки почвы отмечается тенденция более рационального его использования. При ежегодной вспашке на глубину 35-37 см прослеживается наименьшее снижение содержания общего фосфора в почве и наибольшее содержание его в слое 0...40 см [39]. Эти данные подтверждает еще один многолетний опыт, проведенный в 1991-2013 гг. в лесостепной зоне ЦЧР на черноземе типичном, целью которого было изучение влияния способов

обработки на содержание в разных слоях почвы подвижных форм фосфора и других агрохимических показателей почвы [137].

В ходе эксперимента, проведенного в северо-восточной части Китая, установлено, что, хотя нулевая обработка способствовала накоплению большего количества фосфора в органической форме и повышению активности фосфатазы, в почве с нулевой обработкой содержание общего фосфора, доступного растениям, было ниже по сравнению с традиционной отвальной обработкой, следовательно, отвальная обработка может быть правильной практикой для сохранения фосфора в почве в условиях холодного муссонного климата [227].

Исследования влияния систем обработки черноземов на их плодородие К.Е. Стекольников из ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ показывают огромный уровень фосфора и калия при применении технологии No-Till в слое 0-5 см, который высыхает в первую очередь, в связи с чем использование растениями этих элементов неэффективно [142].

Существует много факторов, связанных с конкретными условиями сельскохозяйственного производства, которые прямо влияют на поглощение калия из почвы в количествах, достаточных для удовлетворения нужд растений, нормального развития плодов и обеспечения высоких показателей качества [27].

Установлено, что среди способов обработки почвы наибольшему накоплению подвижного калия в пахотном слое способствует вспашка, после которой его содержание было больше, чем при безотвальной и минимальной обработках [42, 45, 92, 152, 163]. А.П. Карабутов и Г.И. Уваров отмечают, что именно этот агроприем способствует мобилизации калия из необменных форм, одновременно снижая содержание неподвижных форм [77].

Некоторые исследования, в частности организованные на базе Курского федерального аграрного научного центра в 2015-2019 гг. и Polish University of Natural Sciences в 2014-2016 гг., свидетельствуют о том, что при использовании отвальных способов обработки в пахотном слое почвы

отмечается снижение запасов калия, в то время как наиболее высокое его содержание отмечено в варианте с прямым посевом (No-till) [61, 228].

В.М. Гармашов и Christina Vakali утверждают, что различные способы и глубина обработки не оказывают значительного влияния на содержание запасов калия в пахотном слое почвы [39, 226].

Одним из существенных факторов почвенного плодородия является реакция почвенной среды. Несмотря на, казалось бы, благоприятные природные условия формирования чернозёмов (материнская порода, почвенный покров, климат) кислотность пахотных чернозёмов прогрессирует [15].

Кислотность прямо или косвенно влияет на плодородие почвы и жизнь растений. При кислой реакции минералы разрушаются, а в условиях промывного типа водного режима развивается процесс оподзоливания, приводящий к образованию почв с низким плодородием. Избыточность кислотности вызывает появление в почвенном растворе свободных форм Al и Mg, высокий уровень которых токсичен для растений. Кроме того, эта реакция разрушает структуру, что, в свою очередь, вызывает ухудшение водно-воздушного и питательного режимов почвы. Кислая реакция угнетает полезную микрофлору, в частности нитрификаторы и азотфиксаторы, что ухудшает накопление азота в почве и снабжение им растений. В условиях явно выраженной кислой среды сосуды в корневых волосках закупориваются, что приводит к замедлению поступления питательных веществ из почвенного раствора к растениям. Таким образом, повышенная кислотность является негативным свойством, влияющим на ряд аспектов жизнедеятельности почвы и вызывающим неблагоприятные последствия [44, 185].

Есть данные по тенденции к подкислению почвы в пахотном слое при использовании вспашки и прямого посева [60, 67]. В рамках долгосрочного эксперимента по повышению плодородия почв илистого суглинка в штате Орегон было установлено, что минимальная обработка и дискование снизили pH почвы в слое от 0 до 10 см, но в то же время повысилось содержание Al.

При отвальной вспашке происходило повышение концентрации не только рН и Al в пахотном слое почвы, но других и элементов питания. В результате при минимальных обработках урожайность оказалась ниже, чем при отвальной обработке [189].

Результаты исследований, проведенных в Трнавском крае на западе Словакии, показали, что регулярное переворачивание верхнего слоя почвы и, следовательно, перенос выщелоченных катионов оснований в поверхностный слой, а также более глубокое заделывание растительных остатков и удобрений в почву при обработке традиционным способом проявлялись более высокими значениями рН, более низкой гидролитической кислотностью и почти равномерным содержанием катионов оснований (в основном в слое 0,0-0,3 м) по сравнению с почвой, возделываемой по минимальной технологии [218].

Сравнительная оценка методов обработки почвы, проведенная группой исследователей из Китая и США, в результате анализа 114 публикаций показала общее значительное снижение рН почвы при нулевой обработке на $1,33 \pm 0,28\%$ по сравнению с обычной обработкой ($p < 0,05$). Однако отмечается, что подкисление почвы может усугубляться при нулевой обработке в конкретных условиях участка и неправильным использованием удобрений и растительных остатков, что приводит к более высокой концентрации H^+ и более низкому содержанию основных катионов (т.е. кальция, магния и калия), которые снижают рН почвы и, следовательно, влияют на динамику содержания питательных веществ в поверхностном слое почвы [231].

В исследованиях, организованных в 2002-2005 гг. в Приамурье и в Брестской области Республики Беларусь, отмечается, что пахотный слой и нижележащие слои луговой черноземной почвы не претерпевают особых изменений по водной и обменной кислотности. Использование различных обработок почвы не воздействует антропогенно на кислотность, т.е. не происходит ее основательного подкисления [9, 43].

Реакция почвенного раствора зависит не только от размеров обменной и гидролитической кислотности, но и от степени насыщенности почвы основаниями. Этот показатель характеризует относительное место гидролитической кислотности в ППК. Может быть так: два участка почвы имеют одинаковую гидролитическую кислотность, но степень насыщенности основаниями разная, тогда потребность и очередность в известковании разные. В зависимости от соотношения почвы делят на насыщенные основаниями ($V > 80\%$) – известкование проводить не нужно, и ненасыщенные ($V < 50\%$) – высокая потребность в известковании [108].

ФГБНУ «Белгородский научно-исследовательский институт сельского хозяйства» установлено, что способ обработки почвы оказывает влияние на сумму поглощенных оснований. Так, глубокая безотвальная обработка способствует накоплению суммы поглощенных оснований в пахотном горизонте [31].

В то же время, в результате исследований, проведенных в 2017-2019 гг. Японским Center for International Field Agriculture Research and Education, установлено, что применение безотвальной обработки почвы способствует не только насыщению почв основаниями, но также способствует ее оздоровлению [229].

Таким образом, система обработки почвы оказывает существенное влияние на агрофизические и агрохимические показатели плодородия почвы, от которых зависит урожайность культур и качество сельскохозяйственной продукции.

1.2 Влияние совокупности абиотических, фитогенных и антропогенных факторов на развитие растений сои

Соя (*Glycine max*) – однолетний вид, относящийся к семейству бобовых /Fabaceae порядка Розалес. У него тройчато-сложные листья, маленькие белые или фиолетовые цветки и изогнутые семенные коробочки, содержащие

обычно от одного до четырех семян. Типичный диапазон высот для культурных сортов сои составляет 0,2-1,5 м.



Рисунок 1 – Дикорастущая соя (слева) и современный культурный сорт сои (справа)

Широко признано, что культурная соя была одомашнена от своего дикого прародителя (*Glycine soja*) (Рис. 1) более 5000 лет назад в долине Хуан-Хуай в Китае. Последующее расширение ареала культивирования во всем мире сои происходило в направлении Кореи, Японии, Южной и Юго-Восточной Азии примерно 2000 лет назад. В Северную Америку соя попала в 1765 году, в Южную Америку – в начале прошлого века.

К настоящему времени выведено более 60 тысяч сортов (разновидностей) сои, адаптированных к различным регионам, и соя является одной из наиболее экономически важных бобовых культур в мире. Мировое производство сои сосредоточено в Соединенных Штатах, Бразилии и Аргентине – на их долю в совокупности приходится примерно 82% мирового производства сои, при этом Китай и Индия занимают 4-е и 5-е места, но

значительно отстают. Китай был еще и крупнейшим импортером сои. Россия занимает 8 место в списке лидеров по производству сои.

Помимо своей экономической ценности, соя также имеет академическую ценность в качестве модельной системы для изучения фотопериодизма и образования клубеньков симбиотическими ризобийными бактериями для фиксации азота [200].

1.2.1 Особенности роста и развития растений сои

В условиях Самарской области Е.Х. Нечаева изучила влияние элементов технологии возделывания сои на рост и развитие растений. Установлено, что температурный режим 18-24 °С и количество осадков более 125 мм в летние месяцы положительно сказались на росте и развитии сои, а также способствовали высокой сохранности растений к уборке [25].

D.B. Egli и I.F. Wardlaw из Австралии провели эксперименты, показывающие, что сокращение продолжительности периода вегетации при высоких температурах может быть одним из механизмов, с помощью которого высокие температуры снижают урожайность [199]. Оптимальные значения были получены в Японии К. Sato, Т. Ikeda, которые установили, что дневная температура от +25 до +30 °С с суточным диапазоном 10 °С в течение периода налива семян является оптимальной для накопления сухого вещества, усвоения питательных веществ, урожайности и свойств семян [222].

В.Т. Синеговская и А.Н. Лёвина изучали в условиях Амурской области реакции скороспелых сортов сои на прохождение фенологических фаз роста и развития. В результате исследований выявлено существенное влияние длительности светового дня на наступление фаз развития растений и увеличение их семенной продуктивности [134].

Многие исследователи отмечают значительное влияние удобрений на прохождение соей фенологических фаз. Так, Х.Т. Пуховым и А.Ю. Хадиковым в результате проведенных исследований в условиях степной зоны РСФСР-Алания определено, что оптимизация фосфорного, борного питания

способствует лучшему росту и развитию растений [125]. В.В. Брагина отмечает, что фазы роста и развития у исследуемых сортов сои Приморская 4 и Приморская 86 при внесении повышенных доз удобрений наступали на 3-5 дней раньше. Кроме того, увеличение дозы минеральных удобрений способствовало увеличению количества и массы клубеньков на корнях сои [24]. В.Д. Ченцовой в ходе проведения опыта установлено, что применение борной кислоты, сульфатов магния и цинка значительно не повлияло на фазы роста и развития растений сои, но одновременно обработка растений борной кислотой способствовала увеличению продуктивных качеств и урожайности сои, а также содержания сырого белка в ее семенах [166].

Е.А. Краснова и В.В. Рзаева в ходе проведения исследований зафиксировали, что первые всходы появлялись при отвальной (20-22 см) и нулевой обработкам почвы, фаза налива семян наступала соответственно на 109-е и 107-е сутки. Фаза цветения наступила раньше при безотвальной обработке, на 53-54-е сутки. Фаза налива семян наступила раньше при безотвальной и отвальной обработках [89].

D. Lasisi и O.V. Aluko установили, что исследуемые системы обработки почвы достоверно различались по своему воздействию на высоту растений, количество листьев на побеге, площадь листьев, количество стручков на побеге и урожайность семян. В условиях супесчаных почв обычные глубокие обработки почвы способствовали достижению значительного улучшения реакции роста сои в сравнении с минимальными обработками. Кроме того, самая высокая средняя урожайность за период исследований была зафиксирована на участках, обработанных с помощью отвальной вспашки [209]. В то же время в почвенно-климатических условиях юга Бразилии получены результаты, показывающие, что минимальные обработки почвы обеспечивают урожайность зерна и агрономические характеристики растений, которые аналогичны или значительно лучше, чем при обычной глубокой обработке почвы [217].

В Российском научно-исследовательском институте проблем мелиорации в Новочеркасске проведенные Р.Е. Юрковой и Л.М. Докучаевой исследования позволили определить зависимость между урожайностью сои и высотой, площадью листовой поверхности, накоплением сухой массы растений, подтверждающую тесную связь и влияние их на продуктивность сои [182].

Данные, полученные из наблюдений Н.Д. Кутузовой за ростом сои в Кореновском районе Краснодарского края, говорят о том, что для выяснения влияния почвенных условий на урожайность сои следует исследовать взаимосвязь почвенных параметров не только с конечными величинами урожайности, но и с отдельными биометрическими параметрами, каждый из которых имеет специфический вклад в итоговое значение урожайности [96].

В результате проведенных ФГБОУ ВО «Государственный аграрный университет Северного Зауралья» исследований установлено, что наиболее эффективным способом обработки чернозема выщелоченного по влиянию на продуктивность сои в северной лесостепи Тюменской области является дифференцированная обработка почвы. Так, на делянке, где не проводилась основная обработка почвы (нулевая), количество растений на 1 м² составило 37 шт., количество бобов – 25,8 шт. массой 26,0 г. При дифференцированной обработке (20-22 см) количество растений составило 48 шт., количество бобов – 35,0 шт. массой 36,6 гр. Наименьшая урожайность выявлена при нулевой обработке почвы (1,44 ц/га), наибольшая – при дифференцированной обработке почвы на 20-22 см и 12-14 см, соответственно 6,4 и 4,68 ц/га [89].

В результате исследований, проведенных Х.А. Хамоковым и Э.Х. Хамоковым в ФГБОУ ВО «Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет имени В. М. Кокова», установлено, что в условиях степной зоны (в зоне недостаточного увлажнения почвы) отвальная вспашка имеет преимущество перед безотвальной вспашкой и мелкой обработкой [160].

В коллекционном питомнике Белгородского ГАУ им. В.Я. Горина 1981-2005 гг. на полях отдела селекции и семеноводства проводились исследования

по изучению корреляционных связей количественных признаков растений сои. Установлено, что семенная продуктивность в среднем за годы исследований наиболее сильно положительно коррелирует в том числе с количеством бобов ($r = 0,63$), семян ($r = 0,60$), массой 1000 семян ($r = 0,35$) [93].

Многими авторами отмечается значительное влияние нормы высева на структуру урожая сои. В результате исследований по оценке влияния приемов агротехнологии на морфобиологические признаки сорта сои Воронежская 31, проведенных на кафедре селекции, семеноводства и биотехнологии Воронежского ГАУ в лесостепной зоне Воронежской области, установлено, что норма высева и способ посева оказывали достоверное влияние на высоту прикрепления нижнего боба, число зерен, продуктивность и урожайность. При увеличении нормы высева повышалась высота прикрепления нижнего боба при одновременном снижении числа зерен на растениях, продуктивности и коэффициента размножения семян [40].

Исследованиями А.Ф. Бухарова и Н.А. Ереминой установлено, что на формирование площади листовой поверхности растений, числа генеративных признаков, элементов структуры урожая сои в условиях Московской области оказывали влияние нормы высева семян и специфика сорта. Отмечается, что площадь листовой поверхности на одном растении сокращается с увеличением числа растений на гектаре [26].

В 2019-2020 гг. в Арлингтоне, штат Висконсин, были проведены полевые испытания по изучению влияния способов посева и нормы высева семян на урожайность сои. В результате установили, что точная посадка может снизить потери урожая при неоптимальных нормах высева. Однако несмотря на сложность необходимо оптимизировать нормы высева для максимизации урожайности сои и полученной прибыли [212].

Большое влияние на продуктивность сорта оказывает интенсивность формирования ассимиляционного аппарата. Фотосинтетическую деятельность растений сои характеризует площадь листьев. На формирование

площади листовой пластины прямое влияние оказывают специфика сорта и применяемая агротехника возделывания [87].

Я.Б. Бендина исследовала урожайность сои в зависимости от накопления сухой биомассы в условиях южной лесостепи Западной Сибири. Установлено значительное влияние условий вегетационного периода как на накопление сухой биомассы растениями сои, так и на её урожайность (вклад условий года составил соответственно 99,6 и 94,2%). Подтверждением этого служат данные корреляционного анализа – период «всходы-цветение» характеризовался тесной сопряженностью гидротермического коэффициента с накоплением сухой биомассы вегетативной частью растений ($r = 0,478, 0,998$) и с генеративной частью в фазе налива семян ($r = 0,817$). В последующем развитии растений можно говорить о конкуренции между вегетативной и генеративной частями растений, что выражается в отрицательной сопряженности как указанных частей между собой ($r = -0,993$), так и урожайности с вегетативной частью в период налива семян ($r = -0,500$) [18].

1.2.2 Фотосинтетическая деятельность посевов сои

Оптимальное соотношение показателей фотосинтетического потенциала и чистой продуктивности фотосинтеза повышает урожайность семян сои. Для этого важно обеспечить формирование максимальной площади листового аппарата и сохранить при этом наиболее высокую его фотосинтетическую активность.

В результате исследований, проведенных в Дальневосточном государственном аграрном университете, Вэй Жань установлено, что рациональное загущение посевов сорта сои Персона создает более мощный листовой аппарат. При этом максимальная площадь листьев, независимо от способа посева и нормы высева, сортовых особенностей, достигается к фазе налива семян. Продолжительность работы листового аппарата прямо пропорционально площади листовой поверхности сорта [33].

М.Х. Гандаровым отмечается, что площадь листьев, достигающая 4-5 м² на 1 м² площади посева, является для большинства культур оптимальной или близкой к ней. При наличии такой площади листовой поверхности посев поглощает практически всю (до 85-95%) энергию, приходящую с фотосинтетически активной радиацией. Дальнейшее увеличение площади листьев считается нецелесообразным, так как чрезмерный рост листового аппарата в посевах ведет к некоторому затенению посевов, а в дальнейшем и к отмиранию листьев нижнего яруса, снижению чистой продуктивности фотосинтеза, увеличению непроизводительных потерь влаги на транспирацию и органических веществ на дыхание [37].

Б.М. Князевым, Х.М. Назрановым и Д.Б. Князевой определено влияние количества осадков на фотосинтетическую деятельность растений сои в зависимости от климатических условий года. Наиболее благоприятными были 2020 и 2021 гг. Площадь листьев и чистая продуктивность фотосинтеза в эти годы находились в пределах 31-32 тыс. м²/га и 3,0-3,3 г/м² в сутки. Что касается более засушливого 2022 года, то эти показатели составили 28,4 тыс. м² /га и 2,6 г/м² в сутки [80].

Р. Г. Гаджиумаров представил особенности фотосинтетической деятельности посевов сои при возделывании по технологии No-till в сравнении с рекомендуемой технологией. Установлено, что благодаря выпадающим осадкам в первой половине вегетации растения сои по обеим технологиям формируют хорошо развитый ассимиляционный аппарат, но из-за засухи во второй половине вегетации производительность его работы снижается. До фазы цветения более развитый листовой аппарат имеют растения сои, возделываемые по рекомендованной технологии обработки почвы, что обусловлено более высокой температурой почвы в начале вегетации. После наступления фазы цветения лучше наращивают ассимиляционную поверхность посевы сои по технологии, когда почва не обрабатывается, поэтому к полной спелости сухая надземная масса посевов по обеим технологиям одинаковая [34].

В ФГБНУ ФНЦ Зернобобовых и крупяных культур в 2017-2019 гг. исследовалась фотосинтетическая деятельность сортов сои северного экотипа в условиях ЦЧР. В умеренные годы (ГТК 1,3-1,4) фотосинтетическая система сои работала наиболее продуктивно, развивая ассимиляционную поверхность до 90 тыс. м²/га с укороченным периодом функционирования, что способствовало оптимальному распределению пластических веществ между вегетативными и генеративными органами и формированию высокой зерновой продуктивности (2,5 т/га). Во влажные годы увеличивалась высота и масса стебля, что отрицательно сказывалось на урожае зерна (2,1 т/га). В засушливые годы фотосинтетический аппарат сои обеспечивал получение урожая зерна 1,8 т/га. Таким образом, в контрастных по влагообеспеченности и температурному режиму погодных условиях листовой аппарат сортов сои, реализуя способность к саморегуляции, позволяет растениям формировать зерновую продуктивность на уровне 1,8-2,5 т/га [41].

1.2.3 Симбиотическая деятельность растений сои

Между симбиотической и фотосинтетической системами существует тесная взаимосвязь. Активная симбиотическая деятельность клубеньковых бактерий оказывает большое влияние на интенсивность и масштабы продукционного процесса. Симбиотическая фиксация молекулярного азота осуществляется в корневых клубеньках, сформированных в результате поселения на корнях бобовых растений клубеньковых бактерий рода *Rhizobium*, которые в Нечерноземной зоне практически отсутствуют [68].

По итогам научно-производственного опыта И.Я. Моисеенко установил, что интенсивное насыщение полей короткоротационных зерновых севооборотов посевами сои повышает заселенность почвы клубеньковыми бактериями, увеличивает массу активных клубеньков, способствует усилению активного симбиоза, удельной активности симбиоза и симбиотической фиксации азота, улучшает симбиотрофное азотное питание растений сои и

повышает урожайность зерна самой культуры и последующей культуры – ячменя [106].

Анализ симбиотической деятельности, проведенный в предгорной и степной зонах Кабардино-Балкарской Республики Х.А. Хамоковым, показал, что в более благоприятные по температурному режиму и влагообеспеченности годы интенсивность формирования симбиотического аппарата была наибольшей. Наиболее слабое развитие клубеньков (меньшее их количество) наблюдалось в засушливой (степной) зоне, по сравнению с предгорной. При наилучшей влагообеспеченности количество клубеньков увеличивалось в среднем на 20%, а масса их – на 30%. Разница по урожайности семян по вариантам опыта колебалась в пределах 1,5-4,7 ц/га [161]. Аналогичные результаты исследований получены У.А. Делаевым, В.А. Тильба [57, 144].

В Чувашском научно-исследовательском институте сельского хозяйства исследованиями, организованными в 2014-2015 гг. на серых лесных тяжелосуглинистых почвах, установлено, что для активного бобово-ризобияльного симбиоза важным условием является оптимальная влагообеспеченность в течение вегетационного периода. В засушливом 2014 г. показатели фотосинтетической и симбиотической деятельности уступали показателям влажного 2015 г. в среднем по образцам: формирование надземной массы почти в 2 раза, площадь листовой поверхности в 2,6 раза, наращивание сухого вещества (ЧПФ) в 2,6 раза, накопление массы активных клубеньков на единицу площади в 3,7 раза [153].

В результате исследования, проведенного на вертисольных почвах, характеризующихся высоким содержанием экспансивных глинистых минералов, при традиционных методах, когда к почве применяются операции глубокой обработки, была установлена отрицательная динамика образования клубеньков и содержания азота в растениях. Наилучшее образование клубеньков было получено на участках с минимальными обработками почвы [198].

Данные исследования, проведенного 2020 году во влажных центральноевропейских климатических условиях Словении Sergeja Adamič и Robert Leskovšek, показали усиление азотфиксации при традиционной системе обработки почвы. Менее интенсивные системы – нулевая и безотвальная обработки – привели к значительно большему уплотнению почвы, что отрицательно сказалось на раннем развитии растений и привело к значительному снижению плотности застарения. Несмотря на большие различия в формировании параметров растений, не было замечено существенных различий в урожайности сухих семян между глубокими и минимальными системами обработки почвы. Урожайность сухих семян при традиционных системах составила 4,48-4,54 т/га. При минимальных системах обработки было незначительное снижение урожайности, которая составила 4,0 т/га. Можно сделать вывод, что переход к менее интенсивным системам обработки почвы при выращивании сои не приводит к значительным потерям урожая при соблюдении агротехнологических приемов возделывания [186].

1.2.4 Влияние систем обработки почвы на засоренность посевов сои

Т.А. Трофимова, С.И. Коржов, В.А. Маслов и А.П. Пичугин на основании исследований, проведенных в 1990-2012 гг. на выщелоченных и обыкновенных черноземах, сделали вывод, что минимизация глубины обработки почвы способствует увеличению численности сорных растений в посевах сельскохозяйственных культур [148].

Аналогично, в результате исследований, проведенных в 2017-2021 гг. University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine Cluj-Napoca в Румынии, получены данные, доказывающие, что на черноземной почве отвальная вспашка значительно снижает засоренность сорняками, особенно многолетними. Снижение интенсивности системы обработки почвы и глубины обработки приводит к увеличению количества приемов борьбы с сорняками, особенно многолетними. При этом отмечается снижение урожайности сои на 23-243 кг/га при минимальной системе обработки и на 675

кг/га при No-Till в сравнении с традиционной системой. В результате сделан вывод, что при выращивании сои требуется дифференциация стратегии борьбы с сорняками в зависимости от системы применяемой обработки почвы [194].

В 2014-2015 гг. в Арканзасе, Иллинойсе, Индиане, Огайо, Теннесси, Висконсине и Миссури было проведено полевое исследование с целью определения влияния системы обработки почвы на всходы видов амаранта в сое. Система глубокой обработки почвы привела к снижению появления всходов амаранта соответственно на 62%, 67% и 73% по сравнению с обычной системой, минимальной обработкой почвы и отсутствием обработки почвы [201].

В Государственном аграрном университете Северного Зауралья в агроклиматических условиях Западной Сибири установлено, что количество сорной растительности меньше при дифференцированной (20-22 см) обработке почвы в 1,5-2 раза по сравнению с отвальной (20-22 см) и безотвальной (20-22 см) обработками почвы. При нулевой обработке почвы количество сорной растительности по сравнению с контролем больше на 24 шт./м² в фазе ветвления, на 9,5 шт./м² через месяц после обработки гербицидом и на 11,5 шт./м² перед уборкой [90].

Исследование, проведенное University of Life Sciences in Lublin в Польше доказало, что выращивание сои в монокультуре при No-Till увеличивает засоренность сорняками и заражение сои грибными заболеваниями. При нулевых обработках также было обнаружено увеличение численности большинства доминирующих видов сорняков. Значительно более высокий процент однодольных видов и гораздо более низкий процент двудольных в общей сухой массе сорняков был показан при выращивании сои в севообороте по отношению к монокультуре и в системе No-Till по сравнению с глубокой обработкой. Биоразнообразие сообщества сорняков было сходным при монокультуре и севообороте и несколько большим при системе No-Till по сравнению с условиями глубокой обработки. При обеих системах обработки

Amaranthus retroflexus был сорняком, который больше всего поражал посеvy сои. У сои, выращиваемой после самой себя, в наибольшем количестве встречался *Amaranthus retroflexus*, в то время как в севообороте это была *Echinochloa crus-galli* [205].

Teodor Rusu, Petru Gus и Ileana Bogdan из University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine Румынии установили, что зарастание сорными компонентами в посевах сои более интенсивно происходит при применении минимальных систем обработки почвы в сравнении с глубокими – на 4-12% больше, причем наиболее многочисленными являются *Amaranthus retroflexus*, *Cirsium arvens* и *Convolvulus arvensis*. Однако, по сравнению с традиционной системой обработки, урожайность, зарегистрированная при минимальной обработке почвы под соей, составила 96-101%, что показывает возможность получения урожаев при минимальной обработке почвы аналогичных тем, которые получены при традиционной системе [219].

В результате проведенных на опытном поле кафедры «Землеустройство, почвоведение и агрохимия» ФГБОУ ВО Самарская ГСХА в 2018 году опытов было установлено, что общая засоренность посевов сои различалась по вариантам обработки почвы незначительно. Она составляла 31,5-42,1 шт./м² и 1,2-1,8 шт./м², причем минимальное количество сорняков было при отвальной обработке, а максимальное – при отсутствии механической обработки [178].

Аналогичные данные получены А.Н. Морозовым в 2020-2021 гг. в полевом стационарном опыте ФГБНУ «Курский федеральный аграрный научный центр». Возделывание сои по вспашке способствовало в критический для роста и развития культуры период снижению количества сорняков в 1,5-1,9 раза, их сухой массы – на 26,3-73,1%. При минимизации глубины обработки почвы с применением комбинированной и поверхностной обработок относительно вспашки отмечалось увеличение засоренности посевов в критический период для роста и развития сои [107].

Desouza Blaise, Ravi H. Wanjari, Rakesh K. Singh и Kuntal M. Hati в период с 2009 по 2011 г. провели полевое исследование, в результате которого

установили, что количество травянистых сорняков было наименьшим при No-Till, сокращенной обработке почвы (Reduced Till) и обработке отвальным плугом по сравнению с безотвальным рыхлением. На участках с сокращенной обработкой и No-Till было зарегистрировано больше двудольных сорняков, чем при безотвальном рыхлении. В среднем по сезонам при безотвальном рыхлении и отвальной вспашке было на 17-30% больше видов сорняков, чем при сокращенной обработке и No-Till. На всех вариантах с безотвальными обработками на глубине почвы 0-5 см было больше семян сорняков, чем при отвальной обработке [192].

1.3 Урожайность и качество зерна сои в зависимости от систем обработки почвы

1.3.1 Урожайность сои при различных системах обработки почвы

Основным критерием эффективности изучаемых систем обработки почвы является урожайность и качество продукции, которые являются конечным результатом симбиотической и фотосинтетической деятельности посевов [126, 132].

Многие авторы отмечают значительное увеличение урожайности сои при применении отвальной обработки почвы в различных почвенно-климатических условиях [6, 54, 109, 110, 119, 127, 136, 140, 141, 149, 171, 196].

В частности, в результате проведенных И.В. Паниной в ФГБОУ ВО Самарский ГАУ исследований было установлено, что вариант со вспашкой имел преимущество по сравнению с вариантами мелкой обработки и без осенней механической обработки. В варианте с мелкой обработкой отмечалось снижение урожайности на 32%, в варианте без осенней механической обработки – на 41% [119].

Преимущество вспашки доказали в Тамбовском НИИСХ (филиал ФГБНУ «ФНЦ им. И.В. Мичурина») и Орловском государственном аграрном университете имени Н.В. Парахина. Там самую низкую себестоимость

производства зерна сои, высокую прибыль и рентабельность обеспечивает технология на основе традиционной отвальной вспашки без внесения минеральных удобрений, в комплексе с применением гербицидов [28, 170].

Аналогичные результаты получили В.П. Савенков, Н.Н. Хрюкин и А.М. Епифанцева, которые установили, что наибольший и сравнительно равноценный урожай семян сои обеспечивали системы обработки почвы с отвальной вспашкой и глубоким безотвальным рыхлением. Минимизация системы обработки почвы с использованием мелкого безотвального рыхления и поверхностной обработки снижала урожайность этой полевой культуры [132].

Ю.М. Рахимова отмечает, что наряду с повышением урожая отвальная вспашка не только положительно влияет на содержание белка в семенах сои, но и несколько сглаживает отрицательное действие неблагоприятных метеорологических условий и снижает содержание тяжёлых металлов в семенах [126].

Исследования, проведенные на базе опытного поля ГАУ Северного Зауралья в полевых и лабораторных условиях, доказывают, что отвальный способ обработки является оптимальным, позволяющим получить наиболее высокие урожаи сои, однако отмечается, что уменьшение глубины обработки почвы способствует снижению урожайности, независимо от способа обработки [91]. Увеличение урожайности с увеличением глубины обработки доказывают и исследования, проведенные в ФГБОУ ВПО «Волгоградский государственный аграрный университет» в почвенно-климатических условиях Нехаевского района Волгоградской области, а также в Приморском научно-исследовательском институте сельского хозяйства [11, 70].

В некоторых исследованиях доказывается преимущество отвальной вспашки перед другими видами обработки, однако отмечается, что в случае невозможности использования вспашки, применение комбинированных и плоскорезных обработок все равно позволит получить рентабельность не менее 30-35% [47, 48].

Так, Ю.А. Богомолова отмечает, что несмотря на то, что под посевы сои в качестве приема обработки желательно проводить отвальную вспашку, с целью экономии средств целесообразно в отдельных случаях заменить отвальную вспашку на менее ресурсозатратные безотвальные обработки [23].

Т.А. Трофимова и С.И. Коржов из ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I» доказывают, что в условиях достаточного обеспечения растений влагой, особенно на лёгких почвах, оправдана минимизация обработки почвы, обеспечивающая равную урожайность при снижении энергетических и трудовых затрат путём уменьшения глубины обработки и увеличения обрабатываемой за один проход площади [147].

В результате исследований, проведенных 2020-2021 гг., отмечено, что на чернозёме обыкновенном Западного Предкавказья урожайность сои и эффективность агроприёмов зависели в том числе и от погодных условий года. В условиях 2020 г., которые характеризуются как засушливые, минимальная гербицидная эффективность по способам обработки почвы и способам посева составила 48,3%, тогда как в условиях 2021 г. она была не ниже 84,6%, что наряду с погодными условиями отразилось на урожайности сои. Наиболее низкая продуктивность отмечена в 2020 г. при обычном рядовом способе посева и мелкой обработке почвы и составила 1,69 т/га, а наибольшая – при глубоком рыхлении и отвальной вспашке (1,92-1,93 т/га). В 2021 г. высокая урожайность сои отмечена при всех обработках почвы при обычном рядовом способе посева (3,23-3,43 т/га) [167].

В результате исследований, проведенных в ФГБНУ «НЦЗ им. П.П. Лукьяненко на почвах, представленных чернозем выщелоченным малогумусным сверхмощным тяжелосуглинистым, выявлено, что наибольшая урожайность сои была на чизелевании на глубину до 32 см и традиционной вспашке на глубину до 25 см, где она составила соответственно 2,0 и 2,1 т/га, превышая данные по минимальной технологии (дискование на глубину до 10 см) на 0,5-0,6 т/га. Причем содержание жира в полученных семенах самым

высоким оказалось при использовании традиционной технологии (19,9%) [105].

Однако в исследованиях, проведенных в 2012-2017 гг. в стационарном полевом опыте Тамбовского НИИСХ с целью изучения особенностей продукционного процесса сои и его зависимости от систем обработки почвы и средств химизации, Л.Н. Вислобоковой, В.А. Воронцовым, Ю.П. Скорочкиным отмечается, что обработка почвы существенно не влияет на урожайность культуры, и в технологиях возделывания сои наряду с отвальной вспашкой возможно применение обработок почвы без оборота пласта [28]. Аналогичные результаты исследований получены в Донском государственном аграрном университете и на опытном поле, расположенном в регионе Баранья в Хорватии, в течение 2001-2005 гг. [10, 208].

1.3.2 Качество зерна сои при различных системах обработки почвы

Применение различных систем обработки почвы оказывает существенное влияние на величину и качество выращенного урожая зерна. При минимизации глубины обработки почвы с применением комбинированной и поверхностной обработок относительно вспашки отмечено понижение урожайности зерна на 15,5-19,5%, содержания в нем протеина на 0,6-0,8% и в конечном итоге сокращение сбора протеина на 102-129 кг/га, масла – на 60-75 кг/га [107].

Ю.А. Бобкова в условиях Орловской области установила, что помимо того, что урожайность сои при вспашке может превышать урожайность при применении нулевой обработки почвы, зерно характеризуется более высокими показателями содержания белка [21]. Аналогичные результаты, показывающие высокое содержание белка при применении отвальной обработки, представил D. Gawęda [204].

В результате некоторых исследований установлено, что способ обработки почвы не оказывает значительного влияния на качество зерна сои. Так, в регионе Баранья на северо-востоке Хорватии M. Sabo, D. Jug и I. Jug

выявили, что содержание соевого масла и белка было очень схожим во всех системах обработки почвы. Однако, средняя урожайность сои за 2 года была значительно ниже при безотвальной обработке (NT), чем при обычной обработке почвы (CT), рыхлении почвы (SL) и дисковом бороновании (DH) [220]. Аналогично в Хорватском Research Institute of Agroecology доказывают, что на содержание белка в семенах и масла также очень существенно ($P \leq 0,01$) влияют погодные условия, в то время как влияние системы обработки почвы намного ниже [202].

В результате полевого эксперимента, проведенного в период 2009-2012 гг. на серо-коричневой подзолистой почве Польским University of Life Sciences in Lublin, показано, что существенное влияние на содержание белка, масла и клетчатки в семенах сои оказали погодные условия в определенные периоды вегетации. В то же время исследование установило, что урожай семян сои, полученный при обычных условиях обработки почвы, был выше на 14,6% по сравнению с тем, который был получен при отсутствии обработки почвы [206].

Также есть данные, что наилучшие результаты по содержанию сырого протеина в семенах сои получены при минимальной системе обработки почвы и No-Till. Отмечается, что по сравнению с традиционной в целом влияние минимальной обработки почвы на содержание белка, масла и сырой золы [195].

ГЛАВА 2 ПОЧВЕННО-КЛИМАТИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ, СХЕМА ОПЫТА И МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

2.1 Почвенно-климатические условия места проведения исследований

Работа по изучению влияния технологии возделывания сои на биологические показатели чернозема выщелоченного проводилась в обособленном подразделении «Волово» Российской группы компаний «Агротерра», которое располагается в с. Новгородское (Воловский район) Тульской области.

Территориально Тульская область расположена практически в самом центре Русской (Восточно-Европейской равнины) и занимает северо-восточную часть Среднерусской возвышенности, преобладающими зонами на которой являются лесостепи и широколиственные леса. Исследуемый район располагается на юго-востоке области, где преобладающей является лесостепная зона, с включением черноземов.

Рельеф области представлен пологоволнистой равниной, которая пересечена руслами рек, оврагами и балками. Не так часто можно встретить так называемые карстовые виды рельефной поверхности: пещеры с ходами, котловины, подземные пустоты, провальные воронки. На юго-востоке располагаются наиболее плодородные черноземные почвы, содержащие 6-9% гумуса, которые занимают около 46% всей территории. Черноземы в этом районе преимущественно выщелоченные, с небольшим включением в районе русла р. Красивая Меча оподзоленных черноземов.

Непосредственно место проведения исследований характеризуется почвами, представленными черноземом выщелоченным, с глинистым типом основной почвообразующей породы.

Климат Тульской области – умеренно континентальный, отвечающий переходному положению территории между умеренно влажными северо-западными районами Русской равнины и более теплыми и сухими районами

кее юго-восточной части. Осадки распределяются неравномерно, часто наблюдаются высокие температурные значения в летний период, а также суховеи и засухи.

Воловский район Тульской области характеризуется влажным континентальным климатом с тёплым, продолжительным летом и умеренно холодной зимой с частыми оттепелями. Вершина температурного диапазона отмечена в августе – до +34,2 °С, а самая низкая температура понижалась до –34,3 °С в январе. Средняя температура января, самого холодного месяца года, по нормам 2006-2022 гг. составляет –8,0 °С (абсолютная минимальная –34,3 °С в 2006 г., абсолютно максимальная +5,3 °С в 2022 г.), июля, самого тёплого месяца, +19,8 °С (абсолютная минимальная +8,5 °С в 2017 г., абсолютно максимальная +32,0 °С в 2014 г. и 2021 г.). Среднегодовая температура +6,1 °С. Пять месяцев в году – с ноября по март – имеют место отрицательные среднемесячные температуры, семь месяцев – с апреля по октябрь – положительные среднемесячные температуры.

По количеству выпадающих осадков территория хозяйства относится к неустойчивой зоне увлажнения, годовая сумма осадков по многолетним данным составляет 618 мм, а сумма положительных температур за вегетационный период – 2500 °С.

Среднегодовое количество осадков 618 мм. Больше всего их выпадает в летние (190 мм) и осенние (160 мм) месяцы. В среднем 173 дня в году – с осадками, т.е. осадки бывают на каждый второй или третий день. Преобладающие среднемноголетние направления ветра – южное (10,6%), юго-западное (8,2%) и западное (7,9%). Скорость ветра в теплый период года составляет в среднем за сутки 2,2-3,0 м/сек., с порывами до 14 м/сек. В холодный период года – 1,7-2,7 м/сек., с порывами до 22 м/сек.

На территории Тульской области четко выражены все четыре времени года. В течение года климат области характеризуется постепенным переходом от одного времени года к другому, иногда при частой и резкой смене погод внутри сезонов. Редко наблюдаются отклонения в ритмике смены сезонов, а

если такие явления происходят, то они обуславливают раннюю или позднюю весну, малоснежную или многоснежную зиму, сухое или влажное лето, теплую или холодную осень.

К неблагоприятным факторам относятся сильные ветры и недостаток влаги, что указывает на необходимость применения мероприятий по сохранению и накоплению влаги в почве, разработке и внедрению мероприятий по защите почв от ветровой эрозии.

Несмотря на неблагоприятные климатические факторы, в целом хозяйство расположено в районе, который хорошо обеспечен теплом и приспособлен для выращивания широкого спектра сельскохозяйственных культур.

2.2 Метеорологические условия в годы проведения исследований (2020-2022 гг.)

Агрометеорологические условия оказывают большое влияние на рост и развитие культур, своевременность сроков проведения полевых работ (обработку почвы, посев, внесение удобрений, применение средств защиты растений и т.д.), а также на качество и количество получаемого урожая.

В течение трех исследуемых лет можно отметить значительные колебания агрометеорологических условий по сезонам года.

Метеорологические условия 2020 года складывались по-разному. Температурный режим мая в среднем держался на отметке +11,0 °С и позволил начать сев сои в третьей декаде месяца. Выпавшие в I-II декаде 64 мм осадков дали старт дружным всходам, а осадки III декады – 45 мм позволили растениям начать активно расти и развиваться. В июне средняя температура была +18,5 °С, количество выпавших осадков не сильно отличалось от майских – 99 мм. В июле среднесуточные температуры держались на отметке от +17 до +21 °С, а количество выпавших осадков уменьшилось до 65,2 мм. В августе, в период

цветения и налива семян, температура в среднем держалась на уровне +17,2 °С, а осадков выпало только 25,8 мм.

Соя предъявляет высокие требования к факторам жизни, и в первую очередь к температуре воздуха. Сумма активных температур для нормального развития сорта Волма составляет 2100 °С. В 2020 г. сумма активных температур составила 2471,4 °С, что на 95,6 °С меньше среднегодового показателя в исследуемом регионе. Оптимальная температура воздуха для произрастания сои составляет от +20 до +25 °С. Максимально безвредные температуры прогревания воздуха для роста и развития растений сои до +35 °С. При более высоких температурах происходит угнетение физиологических процессов с наступлением стрессовых ситуаций, что вызывает снижение величины и качества урожая. В период цветения сои в 2020 г. максимальная температура воздуха достигала отметки +31 °С, что оказало положительное влияние на урожай.

В целом в 2020 г. исследуемую территорию можно охарактеризовать как зону обеспеченного увлажнения с уровнем ГТК 1,05. Максимальные значения показателя влагообеспеченности были зафиксированы в I и III декадах июня – соответственно 2,93 и 2,01. В этот период происходит нарастание вегетативной массы растений сои, и достаточный уровень увлажнения способствует наиболее интенсивному протеканию этого процесса. В наиболее важные по отношению к количеству выпадаемых осадков периоды, когда соя потребляет 60-70% от суммарного за период вегетации расхода воды, гидротермический коэффициент был в пределах 1,12 – в июле, 0,54 – в августе. Таким образом, формирование генеративных органов растения происходило преимущественно в условиях достаточного увлажнения.

Метеорологические условия 2021 года по сравнению с 2020 годом были менее неблагоприятными для роста и развития растений сои. Температурный режим мая в среднем держался на отметке +13,5 °С, благодаря чему сев провели в начале III декады месяца. Выпавшие в I-II декаде 73 мм осадков дали старт дружным всходам, но уже в III декаде мая было суммарно только 8,3 мм,

вследствие чего у сои снизилось нарастание биомассы. В июне средняя температура была $+19,70^{\circ}\text{C}$, а количество выпавших осадков было почти в три раза меньше, чем за аналогичный период 2020 г. – всего 35,8 мм. В июле средний показатель среднесуточных температур составил $+22,2^{\circ}\text{C}$, а количество выпавших осадков было еще меньшим, чем в июне и достигло отметки 21,5 мм. Наиболее интенсивное водопотребление у сои происходит в фазы цветения, формирования и налива семян, т.е. в августе. В I-II декаде августа, когда у растений проходила фаза цветения, осадков выпало только 16,1 мм. В III декаде началась фаза начала формирования бобов, и в этот период осадков выпало немногим больше – 29,0 мм.

В 2021 г. сумма активных температур составила $22451,7^{\circ}\text{C}$, что на $115,3^{\circ}\text{C}$ меньше среднемноголетнего показателя в исследуемом регионе. В период цветения сои в 2021 г. максимальная температура воздуха достигала отметки $+33^{\circ}\text{C}$. Жаркие погодные условия вместе с отсутствием достаточного количества осадков также не оказали положительного влияния на формирование структуры урожая.

В целом в 2021 г. условия по влагообеспеченности исследуемой территории можно охарактеризовать как засушливые с уровнем ГТК 0,61. Максимальные значения показателя влагообеспеченности были зафиксированы в III декаде августа и I декаде сентября – соответственно 1,44 и 1,86. В эти периоды водопотребление растениями снижено и осадки не имеют такого большого значения. В наиболее важные по отношению к количеству выпадаемых осадков периоды, когда соя потребляет 60-70% от суммарного за период вегетации расхода воды, гидротермический коэффициент был в пределах 0,31-0,62, что говорит о засушливых метеорологических условиях – такое сравнительно небольшое количество влаги негативно сказалось на урожае.

В 2022 году температурный режим мая в среднем держался на отметке $+10,40^{\circ}\text{C}$ и позволил начать сев так же в начале III декады месяца. В I-III декаде мая выпало только 44,0 мм осадков – в 2 раза меньше, чем в 2021 г., и

Таблица 1 – Метеорологические условия в 2020-2022 гг. (по метеостанции 27824, Волово)

Период		Средняя температура воздуха, °С				Сумма активных температур, °С				Сумма осадков, мм				ГТК			
		Ср. мн.	2020	2021	2022	Ср. мн.	2020	2021	2022	Ср. мн.	2020	2021	2022	Ср. мн.	2020	2021	2022
Январь	I	-7,4	-1,9	-2,8	-5,2	0,0	0,0	0,0	0,0	17,0	5,9	17	48	-	-	-	-
	II	-7,4	-1,2	-13,1	-7,6	0,0	0,0	0,0	0,0	16,7	18	23	20	-	-	-	-
	III	-7,8	-1,1	-2,4	-6,3	0,0	0,0	0,0	0,0	13,4	18	37	18	-	-	-	-
	месяц	-7,5	-1,4	-6,1	-6,4	0,0	0,0	0,0	0,0	47,1	41,9	77	86	-	-	-	-
Февраль	I	-8,3	-4,8	-11,5	-4,9	0,0	0,0	0,0	0,0	14,4	13	22	7,1	-	-	-	-
	II	-7,3	-0,9	-15,0	-2,5	0,0	0,0	0,0	0,0	15,6	28	16	12	-	-	-	-
	III	-6,0	-0,1	-7,6	-1,4	0,0	0,0	0,0	0,0	10,9	21	8,6	5,5	-	-	-	-
	месяц	-7,2	-1,9	-11,4	-2,9	0,0	0,0	0,0	0,0	40,9	62	46,6	24,6	-	-	-	-
Март	I	-4,2	4,2	-4,9	-4,1	0,0	0,0	0,0	0,0	12,1	4,1	2,9	7,2	-	-	-	-
	II	-2,0	2,9	-4,3	-5,3	0,0	0,0	0,0	0,0	9,3	6,1	7,1	0,7	-	-	-	-
	III	0,1	2,8	0,1	1,4	0,0	0,0	0,0	0,0	13,0	5,3	2,6	9	-	-	-	-
	месяц	-2,0	3,3	-3,0	-2,7	0,0	0,0	0,0	0,0	34,5	15,5	12,6	16,9	-	-	-	-
Апрель	I	3,6	4,0	3,5	2,8	8,0	0,0	0,0	0,0	11,7	4,5	12	37	-	-	-	-
	II	6,8	3,7	9,8	6,4	28,5	0,0	56,8	12,0	13,6	19	11	20	-	-	-	-
	III	9,5	6,7	5,8	8,1	60,4	12,0	11,9	24,1	15,3	15	36	39	-	-	-	-
	месяц	6,6	4,8	6,4	5,8	96,9	12,0	68,7	36,1	40,6	38,5	59	96	-	-	-	-
Май	I	12,4	11,5	9,6	9,1	94,4	73,3	49,9	37,6	16,0	46	39	11	1,69	6,28	7,82	2,93
	II	14,3	9,9	15,9	10,8	124,4	40,5	127,6	51,1	16,8	18	34	14	1,35	4,44	2,66	2,74
	III	16,2	11,5	14,9	11,3	170,8	96,7	147,5	89,1	18,0	45	8,3	19	1,05	4,65	0,56	2,13
	месяц	14,3	11,0	13,5	10,4	389,6	210,5	325,0	177,8	50,7	109	81,3	44	1,30	5,18	2,50	2,47
Июнь	I	16,2	17,0	14,7	17,9	158,0	160,6	137,5	177,9	19,3	47	7,7	0,3	1,22	2,93	0,56	0,02
	II	18,4	20,4	19,8	18,8	181,3	191,0	197,5	188,6	15,5	12	7,1	15	0,85	0,63	0,36	0,80
	III	19,3	18,0	24,6	19,6	190,9	198,7	245,5	194,0	18,0	40	21	22	0,94	2,01	0,86	1,13
	месяц	17,9	18,5	19,7	18,8	530,2	550,3	580,5	560,5	52,7	99	35,8	37,3	0,99	1,80	0,62	0,67

Продолжение таблицы 1

Период		Средняя температура воздуха, °С				Сумма активных температур, °С				Сумма осадков, мм				ГТК			
		Ср. мн.	2020	2021	2022	Ср. мн.	2020	2021	2022	Ср. мн.	2020	2021	2022	Ср. мн.	2020	2021	2022
Июль	I	19,2	21,2	21,6	21,2	191,4	212,6	215,1	212,8	21,0	35	8	42	1,10	1,65	0,37	1,97
	II	20,2	17,3	24,9	17,5	204,1	172,9	249,1	176,2	24,3	26	0,5	24	1,19	1,50	0,02	1,36
	III	20,0	18,2	20,0	19,9	216,4	200,3	220,0	216,7	22,4	4,2	13	33	1,03	0,21	0,59	1,52
	месяц	19,8	18,9	22,2	19,4	611,8	585,8	684,2	605,7	67,7	65,2	21,5	99	1,11	1,11	0,31	1,63
Август	I	20,0	18,4	22,7	21,3	197,5	183,8	227,0	212,1	25,0	2	9	37	1,27	0,11	0,40	1,74
	II	19,8	15,5	21,2	20,2	199,5	155,3	211,5	201,6	20,1	21	7,1	23	1,01	1,35	0,34	1,14
	III	17,1	17,6	18,3	21,2	185,9	193,6	201,5	233,3	24,5	2,8	29	5	1,32	0,14	1,44	0,21
	месяц	19,0	17,2	20,7	20,9	582,9	532,7	640,0	647,0	69,6	25,8	45,1	65	1,19	0,48	0,70	1,00
Сентябрь	I	14,2	17,1	11,5	9,0	128,4	170,7	75,3	21,6	16,1	15	14	6,4	1,26	0,88	1,86	2,96
	II	11,5	11,9	11,1	10,3	98,4	91,7	67,4	154,8	17,6	11	51	60	1,78	1,20	7,57	3,88
	III	10,3	13,7	7,6	8,4	61,5	128,3	0,0	11,4	26,3	0	20	82	-	-	-	-
	месяц	12,0	14,2	10,1	9,2	288,4	390,7	142,7	187,8	59,9	26	85	148,4	-	-	-	-
Октябрь	I	8,0	12,6	4,9	10,3	41,0	126,5	0,0	39,4	20,0	0	0	29	-	-	-	-
	II	6,2	8,6	5,8	6,5	20,7	51,8	0,0	10,9	17,2	17	6,3	19	-	-	-	-
	III	3,3	6,0	5,4	4,2	5,4	11,1	10,6	0,0	17,1	12	5,6	27	-	-	-	-
	месяц	5,8	9,1	5,4	7,0	67,1	189,4	10,6	50,3	54,3	29	11,9	75	-	-	-	-
Ноябрь	I	2,3	5,0	5,3	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	14,7	34	26	2,8	-	-	-	-
	II	-0,7	-3,5	-0,4	-1,1	0,0	0,0	0,0	0,0	12,9	1,6	5,6	12	-	-	-	-
	III	-2,4	-0,6	0,2	-3,4	0,0	0,0	0,0	0,0	18,2	19	22	20	-	-	-	-
	месяц	-0,3	0,3	1,7	-1,3	0,0	0,0	0,0	0,0	45,8	54,6	53,6	34,8	-	-	-	-
Декабрь	I	-3,7	-8,1	-2,9	-9,4	0,0	0,0	0,0	0,0	16,9	1,5	32	8,4	-	-	-	-
	II	-4,9	-5,0	-3,6	-2,8	0,0	0,0	0,0	0,0	19,9	7,8	14	94	-	-	-	-
	III	-4,7	-5,4	-12,6	-1,3	0,0	0,0	0,0	0,0	16,9	13	4,7	37	-	-	-	-
	месяц	-4,4	-6,2	-6,4	-4,5	0,0	0,0	0,0	0,0	53,6	22,3	50,7	139,4	-	-	-	-
Янв. – дек.		6,2	7,3	6,1	6,1	2567,0	2471,4	2451,7	2265,2	617,5	588,8	580,1	866,4	1,20	2,03	1,64	1,68
Откл. от ср. мног.		-	1,2	-0,1	-0,1	-	-95,6	-115,3	-301,8	-	-28,7	-37,4	248,9	-	0,83	0,44	0,48

на 65 мм меньше, чем в 2020 г. В июне средняя температура была +18,80 °С, а количество выпавших осадков было близким к уровню 2021 г., но на 61,7 мм меньше, чем в 2020 г. В июле средний показатель среднесуточных температур составил +19,4 °С, а количество выпавших осадков было наибольшим за годы исследований в этом периоде – 99,0 мм, что на 77,5 мм больше, чем в 2021 г., и на 33,8 мм больше, чем в 2020 г. В I-II декаде августа, когда у растений проходила фаза цветения-начало формирования бобов, осадков выпало 60,0 мм. В III декаде началась фаза цветения, и в этот период осадков выпало только 5 мм.

В 2022 г. сумма активных температур составила 2265,2 °С, что на 301,8 °С меньше среднегодового показателя в исследуемом регионе. В период цветения сои в 2022 г. максимальная температура воздуха достигала отметки +31,1 °С. Комфортный для этой культуры температурный режим от +20 до +27 °С и достаточное количество осадков оказали положительное влияние на формирование структуры урожая.

В целом в 2022 г. исследуемую территорию можно охарактеризовать как зону избыточного увлажнения с уровнем ГТК 1,57. Максимальные значения показателя влагообеспеченности были зафиксированы в I и II декадах сентября – соответственно 2,96 и 3,88. В эти периоды водопотребление растениями снижено и осадки не имеют такого большого значения. Если в мае удачно выбранное время для сева сои перед дождями способствует активному прорастанию и дружным всходам без задержек, в сентябре подходит время уборки сои, и большое количество выпавших осадков влияет на скорость потери влаги зерном после достижения физиологической спелости и затрудняет организацию уборочных работ. В наиболее важные по отношению к количеству выпадаемых осадков периоды, когда соя потребляет 60-70% от суммарного за период вегетации расхода воды, гидротермический коэффициент был в пределах 1,00-1,63, что говорит о достаточном и избыточном увлажнении, что положительно сказалось на урожае (Табл. 1).

2.3 Схема опыта и методика исследований

2.3.1 Схема опыта

В основе опыта лежит зернопаропропашной севооборот. Выращивается соя ультраскороспелого сорта Волма по предшественнику пшеница озимая: пар – пшеница озимая – соя – сахарная свёкла – пшеница яровая – подсолнечник (Табл. 2).

Сорт сои Волма разрешен к выращиванию в Центральном, Центрально-Черноземном, Средневолжском, Уральском и Дальневосточном регионах.

Таблица 2 – Характеристика исследуемого сорта Волма

Сорт культуры	Характеристики сорта		Масса 1000 семян, г	Высота прикрепления нижнего боба, см	Высота растений, см	Тип развития	Среднее содержание белка, %	Содержание масла, %
	период вегетации, дней	сумма эффективных температур, °С						
Волма	106	2100	170-180	12,2	80-110	Индетерминантный	39	22

Схема однофакторного опыта включала 3 варианта – системы обработки почвы под сою (Табл. 3).

Таблица 3 – Схема опыта – системы обработки почвы

Вариант № 1	Вариант № 2	Вариант № 3
Дискование на 3-5 см	Дискование на 3-5 см	Дискование на 3-5 см
Вспашка на 22-24 см	Рыхление на 22-24 см	Дискование на 16-18 см
Дискование на 8-10 см	Дискование на 8-10 см	Дискование на 8-10 см
Боронование на 2-4 см	Боронование на 2-4 см	Боронование на 2-4 см
Культивация на 3-4 см	Культивация на 3-4 см	Культивация на 3-4 см

Повторность в опыте 4-кратная. Учетная площадь делянок 100 м² (4,0 м х 25,0 м). Расположение делянок – систематическое, последовательное [102].

Технология выращивания сои по предшественнику пшеница озимая включала следующие работы, которые проводились в год, предшествующий выращиванию сои:

- сразу после уборки предшественника поверхностную обработку на глубину 3-5 см бороной дисковой Vaderstad Carrier CR 820;

- через 2-3 недели, по факту отрастания сорняков и семян падалицы предшествующей культуры, проводилась основная обработка: вспашка на 22-24 см плугом Amazone Нектор 7+1-1000, безотвальное рыхление на 22-24 см глубокорыхлителем навесным Maschio-Gaspardo ARTIGLIO 400 S, дискование на 16-18 см бороной дисковой модернизированной БДМ 6х4:

- после основной обработки, по факту отрастания сорняков, с целью обеспечения семенам условий, дающим быстрые и дружные всходы, проводилось выравнивание на 8-10 см дисковой бороной Amazone Catros 12002.

Весной на всех участках проводилось закрытие влаги боронованием на 2-4 см штригальной бороной Degelman Strawmaster 7000. В день сева с целью сохранения влаги проводилась предпосевная подготовка почвы на 2,5-3,0 см культиватором комбинированным с дисками Wil-Rich DC III 113.

Согласно исследованиям, проведенным Ю.А. Исуповой, в период вегетации растений сои условия для накопления минерального азота в пахотном слое почвы лучше складываются при внесении минеральных удобрений [72, с. 12-13]. Поэтому для обеспечения всходов необходимым питанием по всем вариантам непосредственно перед севом вносилось 60 кг/га комплексного серосодержащего азотно-фосфорного удобрения сульфоаммофос NP(S) 20:20(14).

Сев пневматической сеялкой Amazone Citan 12001 на заданную глубину 4 см на всех опытных участках проводился при достижении температуры

почвы от +8 °С и выше. Способ сева – сплошной с шириной междурядий 15 см. Норма высева 126 кг/га (700 тыс. шт./га).

Для повышения качества продукции, снижения химической нагрузки на почву и растения, обеспечения азотом растений в критические для них фазы – бутонизации, цветения и формирования бобов семена сои перед посевом на всех вариантах были обработаны препаратом Хайкоут супер соя (*содержание бактерий Bradyrhizobium japonicum 10 миллиардов клеток/мл*) 2,84 л/т с добавлением Хайкоут супер экстендер (*олисахориды*) 1,42 л/т.

Для защиты зерна от семенных и почвенных инфекций до инокуляции проводили протравливание зерна с добавлением фунгицида Максим XL (*мефеноксам + флудиоксонил*) 1,5 л/т.

2.3.2 Методика исследований

1. *Фазы развития и их продолжительность.* Определяли следующие фазы развития растений сои, которые можно разбить на две группы:

1) *Вегетативные фазы развития:* VE (появление всходов); VC (появление примордиальных листьев); V-1 (появление первого тройчатого листа); V-2 (появление второго тройчатого листа); V-3 (появление третьего тройчатого листа); V-n (появление n-го тройчатого листа).

2) *Репродуктивные фазы развития:* R-1 (начало цветения); R-2 (полное цветение); R-3 (начало формирования бобов); R-4 (сформированные бобы); R-5 (начало налива зерна); R-6 (полное выполнение зерна); R-7 (начало налива семян); R-8 (полная спелость) [158, с. 22-23].

Фенологические фазы определяли глазомерно одновременно на всем опыте [65, с. 154].

2. *Определение высоты растений.* Высоту растений определяли с помощью мерной линейки. При этом стебель измеряли от поверхности почвы до верхней части растения. Итоговый показатель – средняя высота растений на делянке [65, с. 165]. Высоту растений определяли в фазы ветвления, начала

формирования бобов и налива зерна путем измерения 10 растений на каждой из пяти делянок опыта [65].

3. *Динамика накопления сухого вещества.* Величину накопления сухого вещества растениями сои определяли методом взятия растительных проб в количестве 10 растений с каждой из 4 делянок опыта с последующим высушиванием сырой массы растений до абсолютного сухого веса. Учет проводили в фазы ветвления, начала формирования бобов и налива зерна [5, с. 113].

4. *Учет числа бобов и семян на растении.* Для подсчета с каждой из 4 делянок опыта брали по 10 типичных растений, на каждом растении проводили подсчет количества бобов, количества семян, массу семян. Также на каждом растении фиксировали высоту прикрепления нижнего боба (высота от поверхности почвы до места прикрепления нижнего боба на растении). Подсчет проводили перед уборкой [65].

5. *Площадь листовой поверхности.* Для определения площади поверхности листьев на растении на каждой из 4 делянок опыта отбирали 10 типичных растений. Учет проводили в фазы ветвления, начала формирования бобов и налива зерна [65, с. 165]. Все листья с каждого растения обрывались и сканировались. Полученные бинарные изображения анализировались в программе ARFill Ink Toner Coverage Meter, которая позволила с высокой точностью рассчитать площадь отсканированных листьев [59, с. 88-93].

6. *Подсчет клубеньков.* Наиболее оптимальным периодом для учета клубеньков у сои, в зависимости от цели исследований, можно считать фазы третьего тройчатого листа - налива бобов. Для подсчета с каждой делянки опыта брали 4 растения сои. Учет клубенькообразования у сои проводили методом откапывания монолитов почвы с растениями. Извлеченный монолит почвы с растениями сои помещали в полиэтиленовый пакет. Для лучшего извлечения растений сои из почвы подготовленные образцы доставляли к водоему и заливали водой. После одночасового замачивания монолита, растения сои с корневой системой осторожно извлекали из почвы. Корневую

систему сои ополаскивали проточной водой, подсчитывали и взвешивали клубеньки на каждом корне сои. Для подсчета и взвешивания брали розовые или красные клубеньки, что свидетельствовало об активной азотфиксации. В серых или зеленых клубеньках леггемоглобин отсутствовал, что говорило об их неактивности [13, с. 45-49].

7. *Засоренность посевов.* Учёт засоренности в посевах сои проводился перед обработкой гербицидами в фазе 1-3 тройчатого листа и в фазе налива зерна методом непосредственного подсчета стеблей сорных растений на пробных площадках 1 м², выделяемых учетной рамкой в 4-кратной повторности по каждому варианту [156, с. 12-13]. Растительные образцы отбирали по методу сопряженных площадок (А.М. Туликов). Суть его заключается в том, что растительные образцы отбирают около стационарных площадок количественного учета. При этом пробную площадку очередного срока учета обязательно располагают на новом месте, но не ближе 1 м как к площадкам предыдущих учетов, с которых удалены растения, так и к стационарной площадке [156, с. 14-15]. Общую характеристику видовому составу сорной растительности давали согласно классификациям Д. Шпаара, У. Бурта, Т. Ветцеля [179].

8. *Определение влажности почвы.* Образцы для определения влажности почвы отбирали специальным буром на глубину 0,5 м через 10 см. Повторность отбора образцов на каждом варианте четырехкратная. Отбор образцов проводили три раза за период вегетации растений: в фазе ветвления, начала формирования бобов и налива зерна. Взятую с определенной глубины почву тщательно перемешивали и из нее отбирали пробу в предварительно взвешенный бюкс на 2/3 его объема. Бюкс сразу закрывали крышкой. В лаборатории бюксы открывали, взвешивали и ставили в сушильный шкаф. Образцы сушили при температуре 105 °С в течение 6-10 ч. до постоянной массы. Чтобы удостовериться, что почва полностью высохла, образцы после высушивания взвешивали и вновь ставили в сушильный шкаф на 2-3 ч., затем снова взвешивали. Если масса бюкса не менялась, то почва сухая, а если масса

уменьшалась, проверку повторяли. Удостоверившись, что процесс высушивания закончен, рассчитывали влажность [65, с. 124-125].

9. *Определение плотности почвы.* Образцы для определения плотности почвы отбирали цилиндром-буром на глубину 0,5 м через 10 см. Повторность отбора образцов на каждом варианте четырехкратная. Отбор образцов проводили три раза за период вегетации растений: в фазе ветвления, начала формирования бобов и налива зерна. Отбор образцов проводили на неуплотненной площадке, на которой забивали в почву цилиндр-бур деревянным молотком, предварительно накрыв его плотной пластинкой из дерева. После того как цилиндр полностью погружен в почву, его окапывали вокруг ножом, подрезали снизу под цилиндром и вынимали цилиндр из почвы. Почву в верхней и нижней частях цилиндра подрезали ножом вровень с его краями. Очищали от почвы наружные стенки цилиндра. Почву из цилиндра очень аккуратно, без потерь переносили в полиэтиленовые мешочки. Почву, помещенную в полиэтиленовый мешок, взвешивали [154, с. 27-28].

10. *Определение актуальной и обменной кислотности почвы.* Почву, предварительно высушенную и просеянную через сито с размером ячейки 1 мм, взвешивали на аналитических весах. Величина навески – 8 г. Для определения кислотности в водной вытяжке почву заливали водой (20 мл), в солевой вытяжке – 1,0 н. раствором KCl (20 мл). Для лучшего диспергирования почвы в водном/солевом растворе колбы взбалтывали в течение 10 мин. Приготовленные почвенные болтушки оставляли на 24 часа. По истечении срока проводили определение кислотности почв на рН-метре [154, с. 46-47].

11. *Определение гидролитической кислотности почвы.* В сухую колбу помещали навеску почвы, пропущенной через сито с отверстиями диаметром 1 мм, массой 8,0 г. В колбу приливали 20 мл 1 н. раствора CH_3COONa и настаивали 18-20 часов с периодическим (4-5 раз) взбалтыванием суспензии. Затем гидролитическая кислотность определялась измерением рН суспензии. В чистый сухой стаканчик вместимостью 50 мл помещали около 20 мл

суспензии, в суспензию опускали стеклянный электрод и считывали величину рН со шкалы прибора не ранее, чем через 1 мин. после погружения электродов. Величину гидролитической кислотности (Нг) находят по величине рН суспензии с помощью таблицы, которая справедлива при анализе минеральных горизонтов для соотношения почвы и 1 М раствора ацетата натрия, равного 1:2,5 [133, с. 21-23].

12. Определение содержания органического вещества по методу Тюрина в модификации ЦИАНО. Пробы почвы массой 5 г взвешивали с погрешностью не более 1 мг и помещали в колбы. К пробам приливали по 10 см³ хромовой смеси. Затем содержимое колбы осторожно перемешивали и закрывали маленькими воронками, которые служат обратным холодильником. Колбы ставили на поднос и помещали в сушильный шкаф, предварительно нагретый до 105 °С. Через 30 мин. после того, как температура в шкафу вновь поднималась до 105 °С, колбы вынимали и давали им охладиться. Через сутки раствор фотометрировали в кюветах на 5 мм при длине волны 590 нм [3].

13. Определение суммы обменных оснований по методу Каппена-Гильковица. На техно-химических весах брали навеску в 20 г воздушно-сухой почвы, переносили в колбу для взбалтывания, приливали пипеткой 100 мл 0,1 н. раствора HCl и встряхивали в течение часа. После взбалтывания колбу оставляли стоять 24 часа, а затем фильтровали через складчатый фильтр, перенося всю почву на фильтр. Из прозрачного фильтрата брали пипеткой 50 мл и титровали 0,1 н. раствором NaOH в присутствии фенолфталеина до исчезающей слабо-розовой окраски [3, с. 62-63].

14. Определение подвижных форм фосфора и калия по методу Чирикова в модификации ЦИАНО. Пробы почвы массой (4,0 ± 0,1) г помещали в конические колбы. К пробам приливали по 100 см³ экстрагирующего раствора. Почву с раствором перемешивали в течение 1 ч. и оставляли в вертикальном положении на 18-20 ч. Затем суспензии взбалтывали вручную и фильтровали через бумажные фильтры.

Определение фосфора. В конические колбы отбирали по 5 см³ растворов сравнения и вытяжек. К пробам прибавляли по 45 см³ реактива. Окрашенные растворы фотометрировали не ранее чем через 10 мин. после прибавления реактива. Фотометрирование проводили в кювете с толщиной просвечиваемого слоя 2 см относительно раствора сравнения при длине волны 710 нм. Калий определяли на пламенном фотометре, используя светофильтр с максимумом пропускания в области 766-770 нм.

15. *Определение нитратов ионометрическим методом.* Пробы почвы массой 20,0 г взвешивали с погрешностью не более 0,1 г и помещали в конические колбы. К пробам приливали по 50 см³ экстрагирующего раствора. Пробу с раствором перемешивали встряхиванием в течение 3 мин. Полученные суспензии использовали для определения нитратов. Перед измерениями суспензии взбалтывали. Электродную пару погружали в суспензию и считывали показания прибора не ранее, чем через 1 мин. после прекращения заметного дрейфа показаний прибора. Массовую долю азота нитратов в миллионных долях в почве определяли по величине pC_{NO_3} с помощью таблицы [51].

16. *Определение урожайности и качества зерна сои.* Фактическую урожайность определяли сплошным методом учета – весь урожай с учетной части каждой делянки убирали и взвешивали на весах, проводили зерно к стандартной влажности 13% и 100% чистоте [65, с. 179-180]. Влажность зерна сои определяли в сушильном шкафу по ГОСТ 13586.5-93 Зерно. Метод определения влажности [50]. Массу 1000 семян определяли по ГОСТ 12042-80 Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения массы 1000 семян [49]. Натуру зерна определяли с помощью пурки по ГОСТ 54895-2012 Зерно. Метод определения натуры [52]. Белок и жир определяли на ИК-анализаторе качества зерна Infratec™ 1241 Grain Analyzer.

17. *Экономическая и биоэнергетическая эффективность* возделывания сои по предшественнику пшеница озимая при применении различных систем обработки почвы рассчитаны с учетом фактических технологических карт,

нормативов и цен на продукцию, материалы и энергию, а также общепринятых рекомендаций [56, 82].

18. Дисперсионный анализ данных однофакторного полевого опыта проводился по общепринятым рекомендациям [121], с помощью программы «Microsoft Excel».

19. Корреляционно-регрессионный анализ проводился с использованием надстройки «Пакет анализа» в программе «Microsoft Excel».

ГЛАВА 3 ДЕЙСТВИЕ РАЗЛИЧНЫХ СИСТЕМ ОБРАБОТКИ НА АГРОФИЗИЧЕСКИЕ И АГРОХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПОЧВЫ

3.1 Плотность почвы

Многочисленными исследованиями установлено, что при возделывании сельскохозяйственных культур применение различных способов обработки почвы оказывает значительное влияние на влагообеспеченность, питательный режим и физические свойства почвы, фитосанитарное состояние, рост и развитие посевов, что в целом определяет их продуктивность. На практике в земледелии обработка почвы под полевые культуры осуществляется комплексно различными способами, среди которых наибольшее распространение получили вспашка, безотвальное рыхление, дискование. При этом каждый из этих способов имеет как агротехнические преимущества, так и недостатки. Выбор оптимальной системы обработки почвы зависит от почвенно-климатических условий, биологических особенностей возделываемых культур [132].

Плотность почвы является интегральным показателем ее состояния, определяющим как условия развития почвенной биоты, так и развитие корневой системы выращиваемых на ней растений [128].

Половину массы почвы составляют твердые вещества (45% - минералы и 5% - органика). И около 50% занимают поры, заполненные воздухом или водой. Показатель плотности почвы отражает ее способность обеспечивать опорой растения для удержания их вегетативной массы, а также ее способность обеспечивать движение воды и воздуха к корням.

Обычно более высокая плотность сложения почвы наблюдается при плоскорезной обработке и рыхлении плугом без отвалов. Естественно, что по более глубокой вспашке объемная масса почвы уменьшается. При плотности сложения почвы выщелоченных черноземов больше $1,2 \text{ г/см}^3$, обыкновенных и типичных - $1,15 \text{ г/см}^3$ тяжелого и среднего механического состава угнетается рост и развитие сельскохозяйственных растений и резко падает эффективность

вносимых минеральных удобрений. Это является одной из причин снижения урожайности культур по обработкам, после которых остается большая или повышенная объемная масса почвы [64].

Таблица 4 – Плотность почвы под соей при различных системах обработки в среднем за годы исследований (2020-2022 гг.), г/см³

Система обработки почвы	Слой почвы, см	Фаза вегетации			Среднее
		Ветвление	Начало формирования бобов	Налив семян	
1 (контроль)	0-10	0,96	0,99	0,99	0,98
	10-20	1,10	1,13	1,14	1,12
	20-30	1,11	1,14	1,15	1,13
	30-40	1,13	1,16	1,17	1,15
	40-50	1,18	1,2	1,2	1,19
	0-30	1,06	1,09	1,09	1,08
	30-50	1,16	1,18	1,19	1,17
	0-50	1,10	1,12	1,13	1,11
2	0-10	0,98	1,01	1,02	1
	10-20	1,1	1,16	1,17	1,14
	20-30	1,14	1,17	1,18	1,16
	30-40	1,15	1,19	1,2	1,18
	40-50	1,2	1,21	1,23	1,21
	0-30	1,07	1,11	1,12	1,10
	30-50	1,18	1,20	1,22*	1,20
	0-50	1,11	1,15	1,16	1,14*
3	0-10	1	1,16	1,21	1,12
	10-20	1,13	1,19	1,24	1,19
	20-30	1,16	1,24	1,27	1,22
	30-40	1,21	1,26	1,3	1,26
	40-50	1,28	1,32	1,35	1,32
	0-30	1,10	1,20	1,24	1,18
	30-50	1,25	1,29	1,33	1,29
	0-50	1,16*	1,23*	1,27*	1,22*
НСР ₀₅		0,03	0,03	0,02	0,01
Примечание – Здесь (и далее) в таблицах – 1 (контроль) – система с применением вспашки; 2 – система с применением безотвального рыхления; 3 – система с применением дискования.					
* Достоверно отличается от контроля на 5-% уровне.					

Известно, что благоприятные условия для роста сои и её развития создаются при плотности почвы 1,1-1,2 грамм на см³. Уплотнение ее до 1,25-1,3 г/см³ приводит к значительному уменьшению урожая. Повышение плотности почвы сильно ухудшает важнейшие процессы, протекающие в почве, и в первую очередь ее водный, тепловой и воздушный режимы, а это приводит к уменьшению урожая зерна сои на 8-10 ц/га [44].

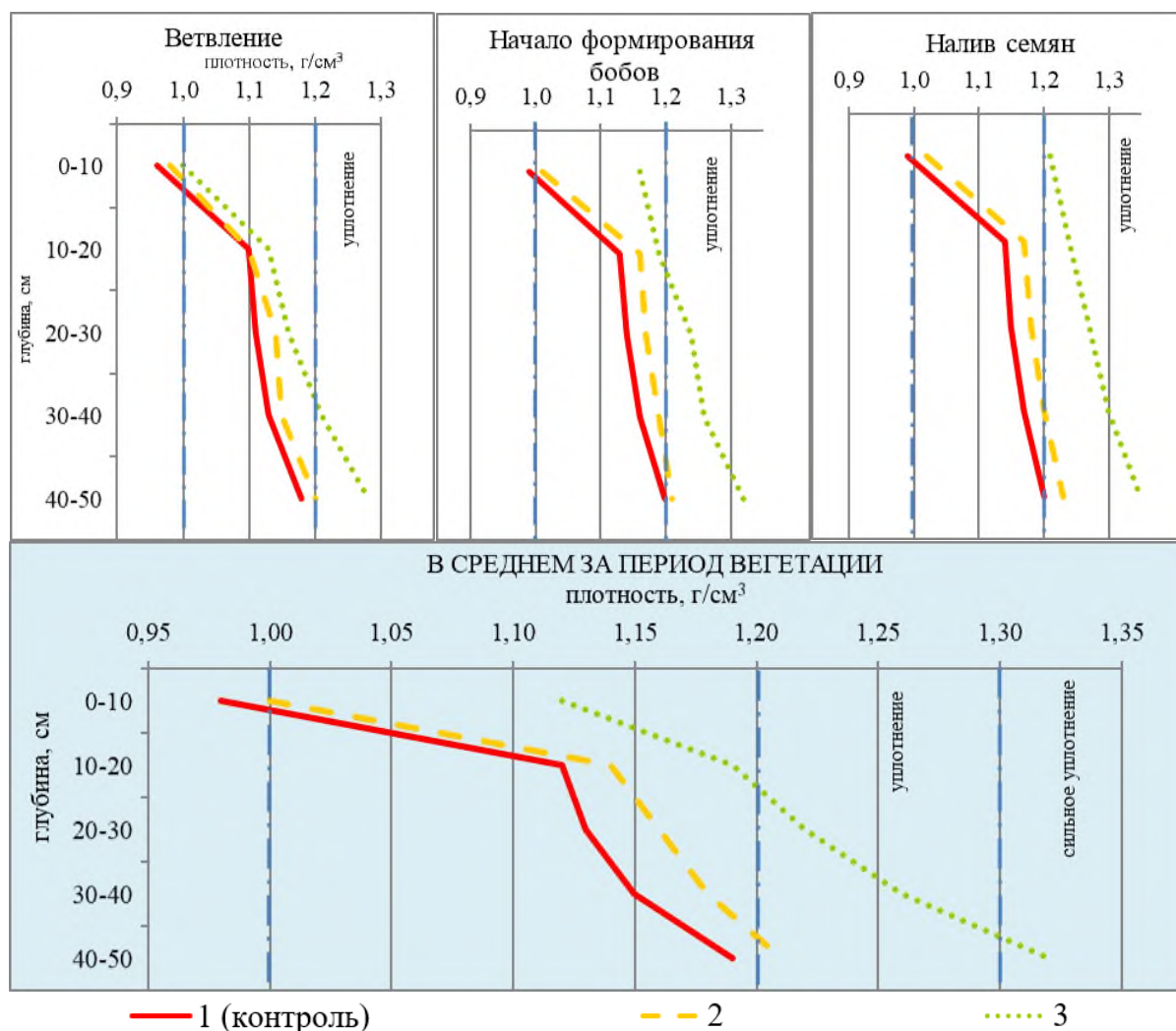


Рисунок 2 – Плотность почвы под соей в различные фазы развития растений и в среднем за период вегетации, 2020-2022 гг. Примечание – Здесь (и далее) в рисунках – 1 (контрoль) – система с применением вспашки; 2 – система с применением безотвального рыхления; 3 – система с применением дискования.

На варианте, включающем вспашку плотность сложения почвы в слое 0...50 см практически не выходила за пределы оптимальных значений для роста и развития сои и изменялась от начала к концу периода вегетации растений на 0,04 г/см³ (от 1,09 до 1,13 г/см³). На варианте с применением безотвального рыхления это изменение было таким же несущественным – 0,04 г/см³ (от 1,12 до 1,16 г/см³). На дисковании отмечено наибольшее уплотнение почвы на – 0,12 г/см³ (от 1,15 до 1,27 г/см³) (Рис. 3).

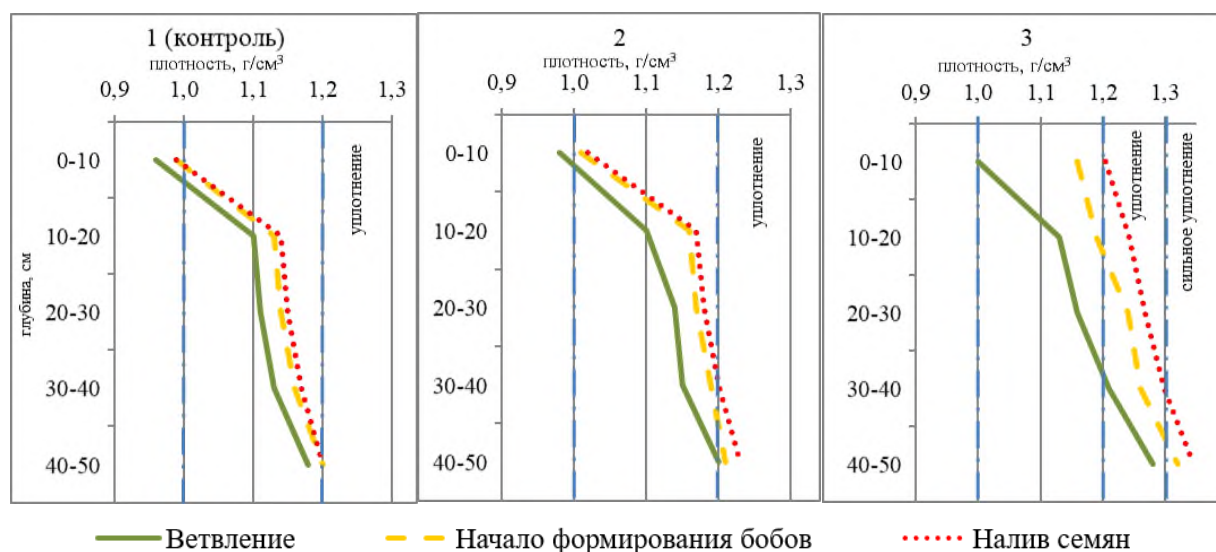


Рисунок 3 – Плотность почвы под соей в зависимости от системы обработки почвы, в среднем 2020-2022 гг.

В среднем за период вегетации растений сои в условиях 2020-2022 гг. плотность почвы верхнего десятисантиметрового слоя, в зависимости от систем обработки, изменялась незначительно и составила 0,98-1,12 г/см³, с минимальным показателем на системе со вспашкой. В других исследуемых слоях почвенного горизонта этот показатель варьировался существенно: в слое 10...20 см 1,12-1,19 г/см³, в слое 20...30 см 1,13-1,22 г/см³, в слое 30...40 см 1,15-1,26 г/см³, в слое 40...50 1,19-1,32 г/см³, при этом минимальные значения отмечены также на контрольном варианте, а максимальные – на системе с дискованием (Рис. 2).

В начале и середине периода вегетации растений разница между вариантами по оказанию влияния на плотность почвы между системами со вспашкой и безотвальным рыхлением была незначительна, а между системами со вспашкой и дискованием существенна и достоверна ($НСР_{05} = 0,03 \text{ г/см}^3$). В конце периода вегетации различие между показателями плотности почвы между всеми исследуемыми вариантами было достоверным ($НСР_{05} = 0,02 \text{ г/см}^3$). Кроме того, достоверное различие по влиянию исследуемых вариантов на плотность сложения почвы выявлено и в среднем за период вегетации растений сои ($НСР_{05} = 0,01 \text{ г/см}^3$) (Табл. 4).

Таким образом, установлено, что увеличение глубины обработки почвы оказывает разрыхляющее воздействие, что обеспечивает уменьшение плотности чернозёма выщелоченного. В течение периода вегетации растений сои под действием самоуплотнения плотность сложения почвы увеличивалась. В нашем опыте оптимальные показатели получены на вариантах со вспашкой и безотвальным рыхлением. Выявлено, что изучаемые системы обработки почвы достоверно отличались между собой по влиянию, оказываемому на плотность сложения почвы ($НСР_{05} = 0,01 \text{ г/см}^3$).

3.2 Влажность почвы

Недостаточное и избыточное увлажнение почвы неблагоприятно сказывается на протекании ряда физиолого-биохимических процессов в растениях. При избыточном увлажнении они испытывают действие анаэробноза (гипоксия – временный дефицит кислорода, или аноксия – отсутствие кислорода), который затрудняет поступление воды и минеральных веществ в корни, усиливает дыхание и одновременно снижает активность синтеза органических веществ, нарушает водный режим растений [85].

При сильном недостатке влаги в почве задерживается биосинтез органических соединений и усиливается гидролиз, в результате чего нарушаются ростовые процессы [159].

Соя относится к влаголюбивым культурам. За счет медленного роста надземной части и мощной корневой системы она хорошо переносит недостаток влаги в первый период развития.

Неравномерность выпадения осадков в критические периоды роста и развития растений сои является основной причиной снижения продуктивности сои.

Критическим периодом роста и развития растений сои являются фазы цветение-формирование бобов и налив зерна. От условий их прохождения, особенно влагообеспеченности, зависит урожайность. Соя обладает высоким потенциалом продуктивности, однако реализуется она при неблагоприятных условиях увлажнения только на 22-43%.

Низкое содержание влаги активизирует до среднего уровня нитратную форму азота и до повышенного уровня – аммиачную, что подтверждается исследованиями многих авторов. Оптимальные значения наименьшей влагоемкости пахотного горизонта в интервалах от 37,6 до 39,6% обеспечивают содержание в почве нитратной формы азота от 15 до 25 мг/кг почвы, аммиачной – от 35 до 39 мг/кг, что характеризует соответственно средний и высокий уровень обеспеченности почв определяемыми формами азота. Увеличение или уменьшение наименьшей влагоемкости приводит к снижению содержания в почве аммонийного и нитратного азота. Оптимальный уровень наименьшей влагоемкости характерен для исследуемых почв (пахотные горизонты черноземов выщелоченных) [129].

Различные системы обработки почвы воздействуют на ее структурное состояние, строение пахотного слоя, накопление и сохранение влаги, пищевой и тепловой режимы, тем самым оказывают влияние на условия роста растений, что сказывается на их урожайности. Некоторые исследователи [22, 29] сообщают о положительной роли глубокой отвальной обработки в накоплении в почве влаги осенне-зимних осадков. Это, по их мнению, происходит в результате интенсивного рыхления пахотного слоя и вследствие этого значительного увеличения его водопроницаемости. Другие авторы [168]

отстаивают точку зрения о равноценности поверхностных плоскорезных и нулевых обработок по наполнению метрового слоя продуктивной влагой.

Таблица 5 – Запасы доступной влаги в почве под соей при различных системах обработки в 2020-2022 гг., мм

Система обработки почвы	Слой почвы, см	Фаза вегетации			Среднее
		Ветвление	Начало формирования бобов	Налив семян	
1 (контроль)	0-10	8,69	8,84	12,34	9,96
	10-20	9,21	6,84	12,86	9,63
	20-30	8,46	6,19	11,41	8,69
	30-40	8,94	4,94	9,95	7,94
	40-50	9,88	2,80	7,64	6,77
	0-30	26,36	21,86	36,61	28,28
	30-50	18,82	7,74	17,59	14,72
	0-50	45,18	29,61	54,20	42,99
2	0-10	9,66	5,61	13,44	9,57
	10-20	14,08	4,30	13,09	10,49
	20-30	20,11	5,57	10,94	12,20
	30-40	16,27	3,64	9,76	9,89
	40-50	19,44	3,36	8,24	10,35
	0-30	43,84	15,47	37,46	32,26
	30-50	35,71	7,01	18,00	20,24
	0-50	79,55	22,48	55,46	52,49
3	0-10	7,01	7,33	14,64	9,66
	10-20	6,02	5,95	13,57	8,51
	20-30	7,95	3,22	11,65	7,61
	30-40	14,17	2,51	12,23	9,63
	40-50	17,26	1,39	9,96	9,53
	0-30	20,97	16,50	39,85	25,77
	30-50	31,42	3,89	22,19	19,17
	0-50	52,39	20,39	62,05	44,94
НСР ₀₅		F _φ < F ₀₅	F _φ < F ₀₅	F _φ < F ₀₅	F _φ < F ₀₅

Позитивная роль безотвального рыхления для сохранения и повышения содержания влаги в почве показана в опытах В.А. Гулидовой [53] на черноземных почвах и А.И. Шабеева [169] на каштановых почвах. По данным ряда исследователей [74, 224], мелкие и нулевые обработки в годы с небольшим количеством осадков в осенне-зимние периоды не уступают

глубоким обработкам по накоплению влаги в метровом слое почвы, а во влажные – снижают запасы на 25-27 мм.

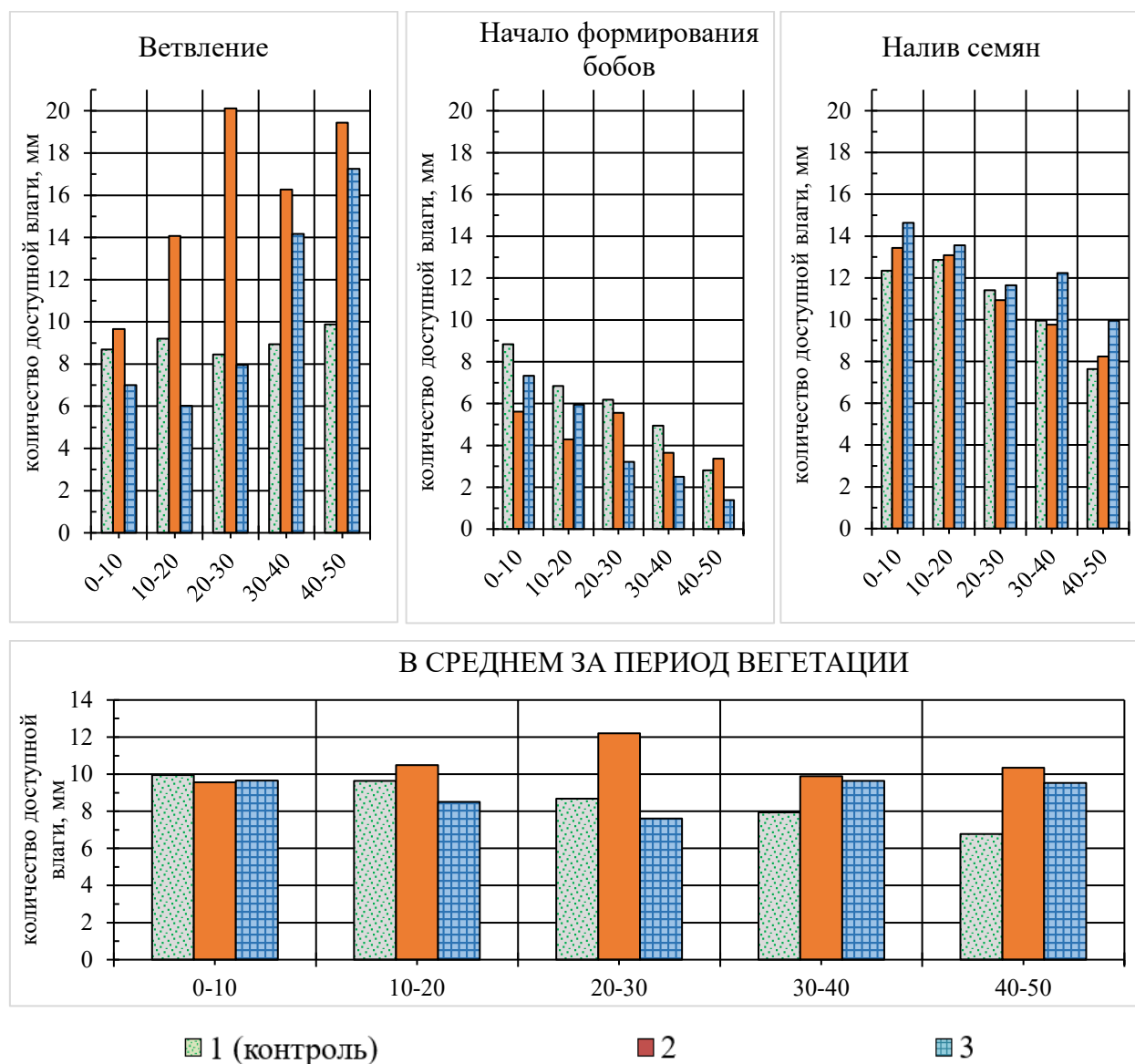


Рисунок 4 – Количество доступной влаги в почве под соей в различные фазы развития растений и в среднем за период вегетации, 2020-2022 гг.

В начале периода вегетации растений сои в слое почвы 0...50 см запасы продуктивной влаги при системе со вспашкой были меньше, чем на других исследуемых вариантах – 45,18 мм. При применении системы с безотвальным рыхлением количество доступной влаги в период ветвления (79,55 мм) было наибольшим среди вариантов и больше контроля на 76,07%. На фоне системы с дискованием в этот период отмечен уровень доступной влаги в почве 52,39

мм, что оказалось больше системы со вспашкой на 15,97%. В то же время, дисперсионный анализ показал, что достоверных различий между исследуемыми системами нет ($F_{\phi} < F_{05}$).

К фазе начала формирования бобов на фоне системы со вспашкой количество доступной влаги в почве в сравнении с началом периода вегетации растений уменьшилось в 1,53 раза и составило 29,61 мм. При применении системы с безотвальным рыхлением наблюдалось снижение количества продуктивной влаги в почве в 3,54 раза от начала к середине периода вегетации, и уровень ее в этот период был 22,48 мм, что оказалось меньше системы со вспашкой на 24,08%. На системе с дискованием к фазе начала формирования бобов уровень доступной влаги в почве упал в 2,57 раза, и таким образом достиг 20,39 мм – меньше контроля на 31,13%. В результате проведенного дисперсионного анализа установлено, что достоверных различий между исследуемыми системами нет ($F_{\phi} < F_{05}$).

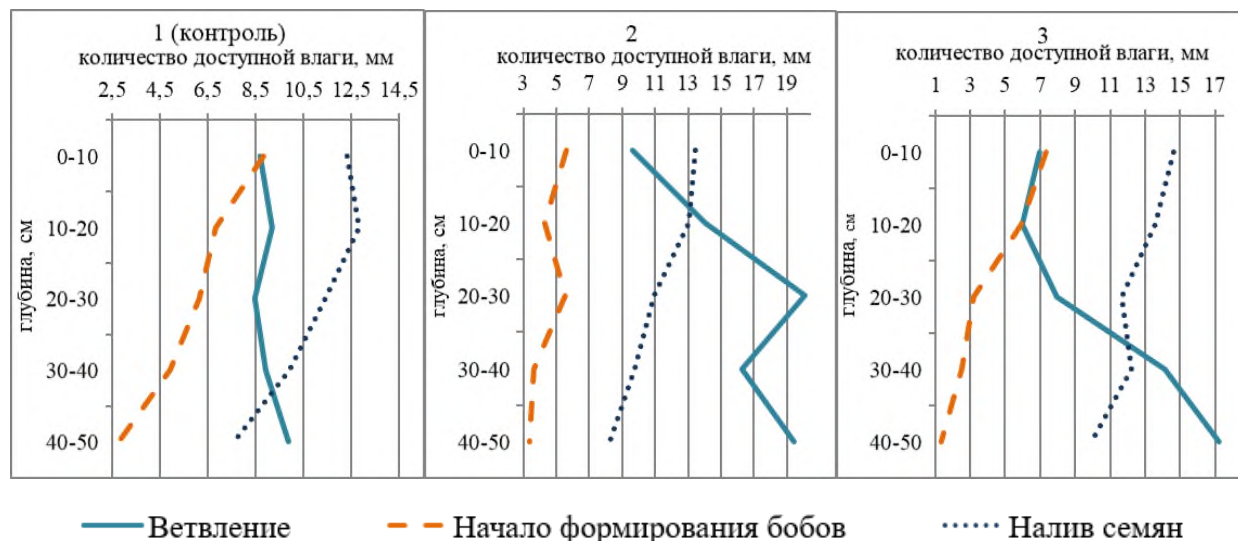


Рисунок 5 – Количество доступной влаги в почве под соей в зависимости от системы обработки почвы, в среднем 2020-2022 гг.

В фазе налива семян на варианте с применением системы со вспашкой уровень доступной влаги поднялся в 1,83 раза, и был 54,20 мм. На системе с безотвальным рыхлением количество доступной влаги в почве так же

увеличилось (в 2,47 раза), и оказалось 55,46 мм, что было незначительно больше контроля на – 2,32%. При применении системы с дискованием от середины к концу периода вегетации растений также отмечен рост количества доступной влаги в почве (в 3,04 раза), и на данном варианте этот показатель в период фазы налива семян был больше контроля на 14,48%. Аналогично предшествующим периодам, в фазе налив семян достоверных различий между системами не выявлено ($F_{\phi} < F_{05}$) (Рис. 4).

В среднем за годы исследований уровень доступной влаги в исследуемом горизонте почв в слое 0...50 см на контроле был 42,99 мм, что было меньше, чем при системах с безотвальным рыхлением (52,49 мм) или дисковании (44,94 мм) на соответственно 22,09 и 4,53%. Однако в результате проведенного дисперсионного анализа значимых различий между исследуемыми факторами не установлено ($F_{\phi} < F_{05}$) (Табл. 5, Рис. 5).

Следует отметить, что исследуемые вегетационные периоды, в особенности 2021 г. и 2022 г., были очень контрастными по влагообеспеченности. В 2021 г. начиная с фазы цветения растения испытывали нехватку влаги – ГТК в среднем за июнь составил 0,62. В июле и августе ситуация лучше не стала – ГТК в эти месяцы был соответственно 0,31 и 0,70. Таким образом, недостаток влаги в период закладки репродуктивных органов и цветения задерживал рост растений, что приводило к низкому прикреплению бобов, значительному снижению семенной продуктивности.

В 2022 г. наблюдалось аномально большое число осадков. ГТК в июне был несколько больше значения этого показателя в 2021 г. (0,67), в июле и сентябре он составил соответственно 1,63 и 1,00, что говорит о значительном избытке влаги. Кроме того, ГТК I-II декад сентября оказался в среднем 4,9. Эта влага препятствовала уборке урожая, особенно в производственных условиях. Влажное зерно требовало дополнительных затрат на сушку, часть зерна не удалось убрать с полей – по данным [98] на 15 ноября 2022 г. было убрано только 73% сои и часть других культур. В связи с этим с 23 ноября 2022 г. в

Тулской области был введен режим чрезвычайной ситуации в агропромышленном комплексе [118].

3.3 Содержание гумуса

Гумус – динамичная система, состоящая из совокупности растительных и животных остатков, утративших черты анатомического строения и претерпевающих различные этапы разложения и синтеза, основная и важнейшая составляющая часть органического вещества почвы [115].

В составе гумуса преобладают гуминовые (гумусовые) вещества: гуминовые кислоты, фульвокислоты и гумин (гумифицированное органическое вещество, остающееся в негидролизуемом остатке после экстракции из почвы гуминовых и фульвокислот). При определении состава гумуса гумусовые кислоты экстрагируют из почв растворами щелочей или солей, а затем разделяют по их растворимости в минеральных кислотах (при рН 1-2 гуминовые кислоты выпадают в осадок, а фульвокислоты остаются в растворе). Кроме гуминовых веществ в состав гумуса входят белки, аминокислоты, углеводы, жиры, воски, смолы, лигнин и другие органические соединения. Гумус содержит основные макроэлементы (азот, фосфор, сера и др.), а также ряд микроэлементов, необходимых для питания растений [123].

Содержание гумуса в верхнем, корнеобитаемом, слое почв колеблется от десятых долей процента (например у бурых пустынно-степных почв) до 10-15% (у чернозёмов). Количественный и качественный состав гумуса в значительной степени определяют большинство физических, химических и биологических свойств почвы, в т.ч. её плодородие [4].

Многие биологические, химические и биохимические процессы в почвах протекают с использованием аккумулированной в гумусе солнечной энергии. Гумус играет важную роль в глобальном цикле углерода вследствие его огромных запасов в почвенном покрове Земли. Гумус участвует в

Таблица 6 – Обеспеченность почвы под соей гумусом при различных системах обработки в 2020-2022 гг., %

Система обработки почвы	Слой почвы, см	Фаза вегетации			Среднее
		Ветвление	Начало формирования бобов	Налив семян	
1 (контроль)	0-10	5,22	4,33	4,94	4,83
	10-20	5,33	4,34	4,83	4,83
	20-30	5,36	4,03	4,57	4,65
	30-40	4,90	4,08	3,94	4,31
	40-50	3,92	3,08	3,38	3,46
	50-60	3,04	2,79	2,70	2,84
	60-70	1,78	2,00	1,99	1,92
	70-80	1,67	1,80	1,78	1,75
	80-90	1,62	1,40	1,32	1,45
	90-100	1,49	1,17	1,05	1,24
	0-30	5,30	4,23	4,78	4,77
	30-50	4,41	3,58	3,66	3,89
	50-100	1,92	1,83	1,77	1,84
	0-100	3,43	2,90	3,05	3,13
2	0-10	5,93	3,94	3,95	4,61
	10-20	5,53	3,81	3,86	4,40
	20-30	5,09	3,56	3,39	4,01
	30-40	4,61	3,25	3,12	3,66
	40-50	3,86	2,69	2,76	3,10
	50-60	3,57	2,19	1,62	2,46
	60-70	3,19	1,63	1,48	2,10
	70-80	1,89	1,40	1,32	1,54
	80-90	1,73	0,63	0,95	1,10
	90-100	1,34	0,36	0,57	0,76
	0-30	5,52	3,77	3,73	4,34
	30-50	4,24	2,97	2,94	3,38
	50-100	2,34	1,24	1,19	1,59
	0-100	3,67*	2,35*	2,30*	2,77*
3	0-10	5,14	4,07	4,99	4,73
	10-20	4,71	3,82	4,51	4,35
	20-30	4,57	3,66	3,91	4,05
	30-40	4,12	3,14	3,76	3,67
	40-50	3,81	2,38	3,38	3,19
	50-60	3,00	1,72	2,38	2,37
	60-70	2,71	1,59	2,05	2,11
	70-80	1,93	1,50	1,66	1,70
	80-90	1,56	1,27	1,56	1,46
	90-100	0,93	1,18	1,30	1,14

Продолжение таблицы 6

Система обработки почвы	Слой почвы, см	Фаза вегетации			Среднее
		Ветвление	Начало формирования бобов	Налив семян	
3	<i>0-30</i>	<i>4,81</i>	<i>3,85</i>	<i>4,47</i>	<i>4,38</i>
	<i>30-50</i>	<i>3,97</i>	<i>2,76</i>	<i>3,57</i>	<i>3,43</i>
	<i>50-100</i>	<i>2,03</i>	<i>1,45</i>	<i>1,79</i>	<i>1,76</i>
	<i>0-100</i>	<i>3,25*</i>	<i>2,43*</i>	<i>2,95</i>	<i>2,88*</i>
НСР ₀₅		0,16	0,14	0,17	0,11

формировании структуры плодородного слоя, его фракции обладают абсорбирующими качествами и способны удерживать вещества, входящие в состав органических и минеральных удобрений. Также гумусовые вещества способствуют повышению такого качества почвы, как буферность (способность поддерживать рН среды) [3].

Лучшими почвами для сои являются хорошо оструктуренные, достаточно влагоемкие, с мощным корнеобитаемым слоем, высокоплодородные с оптимальным запасом подвижных элементов минерального питания, способные легко прогреваться, богатые гумусом, с составом подстилающей породы. Исходя из биологических особенностей растений сои обработка почвы должна быть относительно глубокой. Однако на эродированных землях и при повторных посевах по стерневым предшественникам приходится прибегать к ее минимизации под эту культуру [155].

В начале периода вегетации растений в метровом слое почвы уровень гумуса при системе со вспашкой был низким (3,43%). На системе с безотвальным рыхлением органического вещества в период ветвления было больше, чем на контроле на 7,00%, и его показатель составил 3,67%. На системе дискованием в этот период отмечен наименьший уровень органики в почве – 3,25%, что оказалось меньше системы с отвальной обработкой на 5,24%. Дисперсионный анализ показал, что по уровню содержания гумуса под

соей достоверно от контроля отличались как система с безотвальным рыхлением, так и система с дискованием ($НСР_{05} = 0,16\%$).

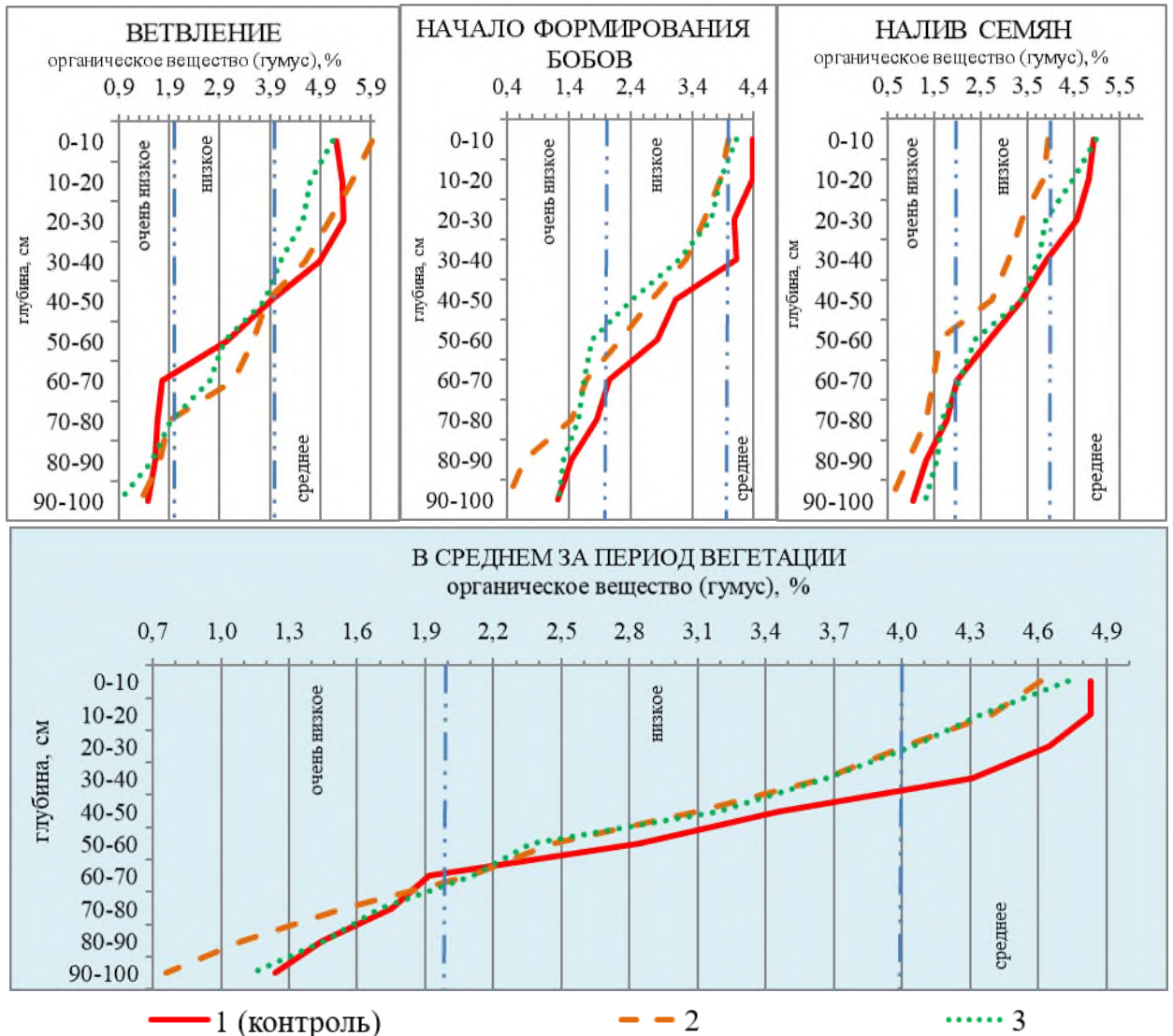


Рисунок 6 – Количество органического вещества в почве под соей в различные фазы развития растений и в среднем за период вегетации, 2020-2022 гг.

К фазе начала формирования бобов на контрольном варианте количество органики в сравнении с началом периода вегетации растений уменьшилось на 15,45% и составило 2,90%. При применении системы с безотвальным рыхлением снижение количества органического вещества в почве от начала к середине периода вегетации оказалось 36,24%, и уровень

гумуса здесь был 2,34%, что меньше системы со вспашкой в этот период на 19,31%. На системе с дискованием к фазе начала формирования бобов уровень содержания гумуса в почве упал на 25,23%, и таким образом был 2,43% - меньше контроля на 16,21%. В результате проведенного дисперсионного анализа установлено, что от контрольного варианта в середине периода вегетации достоверно отличались все другие исследуемые системы обработки почвы ($HCp_{05} = 0,14\%$).

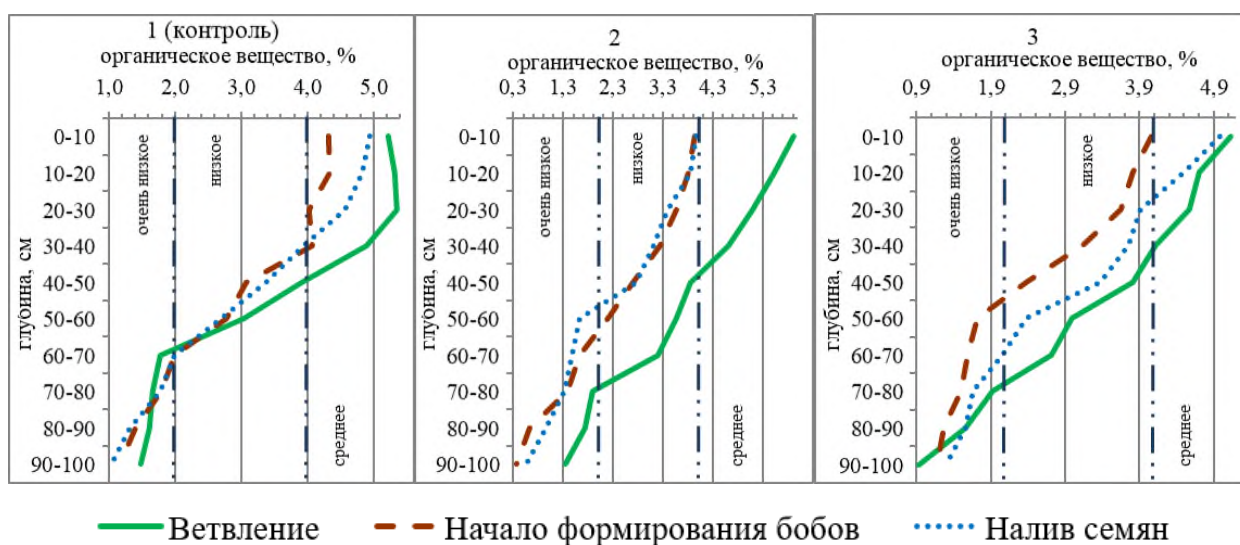


Рисунок 7 – Количество органического вещества в почве под соей в зависимости от системы обработки почвы, в среднем 2020-2022 гг.

Ближе к концу периода вегетации растений на варианте с системой с применением вспашки уровень содержания гумуса поднялся на 5,17%, и был 3,05%. На системе с безотвальным рыхлением количество органики в почве к этому периоду наоборот, немного уменьшилось (на 1,71%), и оказалось 2,30%, что было меньше контроля на 24,59%. При применении системы с дискованием, аналогично контролю, от середины к концу периода вегетации отмечен рост количества органического вещества в почве на 21,40%, однако и на этом варианте органики под соей в фазе налива семян все же было меньше контроля на 3,28%. Дисперсионным анализом установлено, что в этот период достоверно от контроля отличалась только система с безотвальным

рыхлением, в то время как достоверных различий между системами со вспашкой и дискованием не выявлено ($НСР_{05} = 0,17\%$) (Рис. 6).

В среднем за годы исследований уровень органического вещества в исследуемом горизонте почв в слое 0...100 см на контроле был низким (3,13%), но тем не менее это было больше, чем при системах с безотвальным рыхлением (2,77%) или дискованием (2,88%). Проведенный дисперсионный анализ установил, что в среднем за период исследования 2020-2022 гг. по уровню содержания гумуса под соей достоверно от контроля отличались и система с применением безотвального рыхления, и система с дискованием ($НСР_{05} = 0,11\%$), (Табл. 6, Рис. 7).

При различных способах обработки почвы с различной интенсивностью происходят физико-химические и биологические процессы, в связи с этим в ней по-разному синтезируется и разрушается органическое вещество. На всех вариантах от слоя 0...10 см, где было наиболее высокое содержание гумуса, наблюдалось его уменьшение, при котором к слою 90...100 см его количество в почве становилось минимальным.

3.4 Нитратный азот

При возделывании различных сельскохозяйственных культур важное значение имеет система обработки почвы, которая создает благоприятные условия для роста и развития растений, поглощения ими элементов питания [20]. Потребность сои в элементах питания довольно большая. Особенно сильно она нуждается в азоте, которого на формирование 1 т урожая семян ей необходимо 75-100 кг. Корни растений поглощают азот из почвы в виде нитрата NO_3 или аммония NH_4 . В большинстве типов почв действие нитрифицирующих бактерий приводит к тому, что культуры поглощают в основном NO_3 [3].

Азотное минеральное питание растений обеспечивается аммиачной и нитратной формами азота, причем последняя является доминирующей.

Содержание нитратов в почве существенно варьирует в течение вегетационного периода и связано с нитрификационной способностью почвы и процессами нитратонакопления. Миграция нитратов по почвенному профилю обусловлена их высокой подвижностью. В значительной степени интенсивность нитрификации и накопление нитратного азота в почве определяется погодными условиями вегетационного периода: отсутствие дефицита тепла на фоне хорошего увлажнения обеспечивает наиболее благоприятные условия для процесса нитрификации [64].

В среднем в течение периода вегетации растений сои содержание нитратного азота в слое почвы 0...40 см соответствовало среднему уровню [81] при системах со вспашкой (14,84 мг/кг) и безотвальным рыхлением (13,25 мг/кг), и высокому (15,76 мг/кг) – при системе с дискованием. Градации обеспеченности почв азотом в метровом слое почвы нет, однако нами установлено, что в слое 0...100 см количество этого элемента отмечено несколько ниже, чем в пахотном слое: 9,21 мг/кг – при системе с отвальной вспашкой, 8,18 мг/кг – при системе с безотвальным рыхлением, 9,00 мг/кг – при системе с дискованием. Во всех исследуемых вариантах в верхнем слое почвы 0...20 см уровень NO_3 был наибольшим – в пределах 15,77...23,17 мг/кг, но с увеличением глубины его количество снижалось до 3,30...12,84 мг/кг. В то же время, проведенным дисперсионным анализом установлено, что достоверных различий между системами обработки почвы в исследуемый период не было ($F_{\phi} < F_{05}$) (Рис. 9).

Несмотря на то, что процессы образования нитратов в почве имеют ярко выраженную сезонность (летом биологическая деятельность нитрифицирующих бактерий наиболее активна), зафиксировано преимущественно уменьшение количества NO_3 в почве в течение периода вегетации растений. В фазе ветвления в среднем за годы исследований в слое 0...100 см в системах со вспашкой (15,08 мг/кг) и дискованием (14,38 мг/кг) азота было значительно больше, чем при системе с безотвальным рыхлением (10,90 мг/кг) на соответственно 4,18 и 3,48 мг/кг. В пахотном слое почвы 0...30

Таблица 7 – Обеспеченность почвы под соей нитратным азотом (NH₄) при различных системах обработки в 2020-2022 гг., мг/кг

Система обработки почвы	Слой почвы, см	Фаза вегетации			Среднее
		Ветвление	Начало формирования бобов	Налив семян	
1 (контроль)	0-10	23,80	23,08	9,47	18,78
	10-20	31,58	9,80	10,34	17,24
	20-30	21,24	6,99	7,56	11,93
	30-40	22,92	6,01	5,33	11,42
	40-50	14,90	6,05	3,58	8,18
	50-60	9,91	4,71	3,68	6,10
	60-70	8,59	3,58	2,32	4,83
	70-80	6,42	4,55	2,58	4,52
	80-90	6,38	5,10	2,64	4,71
	90-100	5,04	5,24	2,83	4,37
	0-30	25,54	13,29	9,12	15,98
	30-50	18,91	6,03	4,46	9,80
	50-100	7,27	4,64	2,81	4,90
	0-100	15,08	7,51	5,03	9,21
	2	0-10	19,43	22,43	12,69
10-20		24,27	11,47	11,58	15,77
20-30		14,73	9,41	7,43	10,52
30-40		11,17	8,83	5,54	8,51
40-50		7,59	6,96	4,91	6,49
50-60		8,14	5,12	3,50	5,59
60-70		8,80	4,77	2,58	5,38
70-80		6,61	3,58	2,83	4,34
80-90		4,20	3,44	3,42	3,69
90-100		4,01	3,03	2,85	3,30
0-30		19,48	14,44	10,57	14,83
30-50		9,38	7,90	5,23	7,50
50-100		6,35	3,99	3,04	4,46
0-100		10,90*	7,90	5,73	8,18
3		0-10	32,08	16,11	21,32
	10-20	31,92	8,54	11,84	17,43
	20-30	23,36	6,17	9,00	12,84
	30-40	18,01	4,24	6,48	9,58
	40-50	6,07	2,59	5,01	4,56
	50-60	4,14	2,68	4,01	3,61
	60-70	5,53	2,56	3,73	3,94
	70-80	8,33	3,38	3,76	5,16
	80-90	7,23	3,39	4,50	5,04
	90-100	7,09	3,29	3,59	4,66

Продолжение таблицы 7

Система обработки почвы	Слой почвы, см	Фаза вегетации			Среднее
		Ветвление	Начало формирования бобов	Налив семян	
3	<i>0-30</i>	<i>29,12</i>	<i>10,27</i>	<i>14,05</i>	<i>17,82</i>
	<i>30-50</i>	<i>12,04</i>	<i>3,42</i>	<i>5,75</i>	<i>7,07</i>
	<i>50-100</i>	<i>6,46</i>	<i>3,06</i>	<i>3,92</i>	<i>4,48</i>
	<i>0-100</i>	<i>14,38</i>	<i>5,30*</i>	<i>7,32*</i>	<i>9,00</i>
НСР ₀₅		2,00	1,20	1,75	F _φ < F ₀₅

см в фазе ветвления он был распределен равномерно: при системе со вспашкой – в пределах 21,24...31,58 мг/кг, при системе с безотвальным рыхлением – 14,73...24,27 мг/кг, при системе с дискованием – 23,36...32,08 мг/кг. В гумусово-аккумулятивном слое 30...70 см зафиксировано заметное снижение количества нитратного азота в сравнении с пахотным на контрольном варианте до 8,59...22,92 мг/кг, на системе с безотвальным рыхлением до 7,59...11,17 мг/кг, на системе с дискованием до 4,14...18,01 мг/кг. В результате проведенного дисперсионного анализа установлено, что от контрольного варианта достоверно отличалась в начале периода вегетации система с безотвальным рыхлением (НСР₀₅ = 2,00 мг/кг).

Известно, что наибольшая потребность сои в азотном питании проявляется уже с начала периода роста листостебельной массы [145]. К фазе начала формирования бобов в среднем за 2020-2022 гг. количество нитратного азота в почве уменьшилось относительно начала периода вегетации растений: при системе с отвальной обработкой на 7,57 мг/кг (или 49,81%), при системе с безотвальным рыхлением на 3,00 мг/кг (или 27,45%), при системе с дискованием этот процесс происходил наиболее интенсивно – зафиксировано снижение уровня этого элемента на 9,08 мг/кг, или 63,17%. Во всех вариантах расходование NO₃ происходило наиболее интенсивно из слоя почвы 0...40 см, что объясняется как расположением здесь до 80% корневой системы растений сои, так и потерями этого элемента из пахотного слоя почвы в

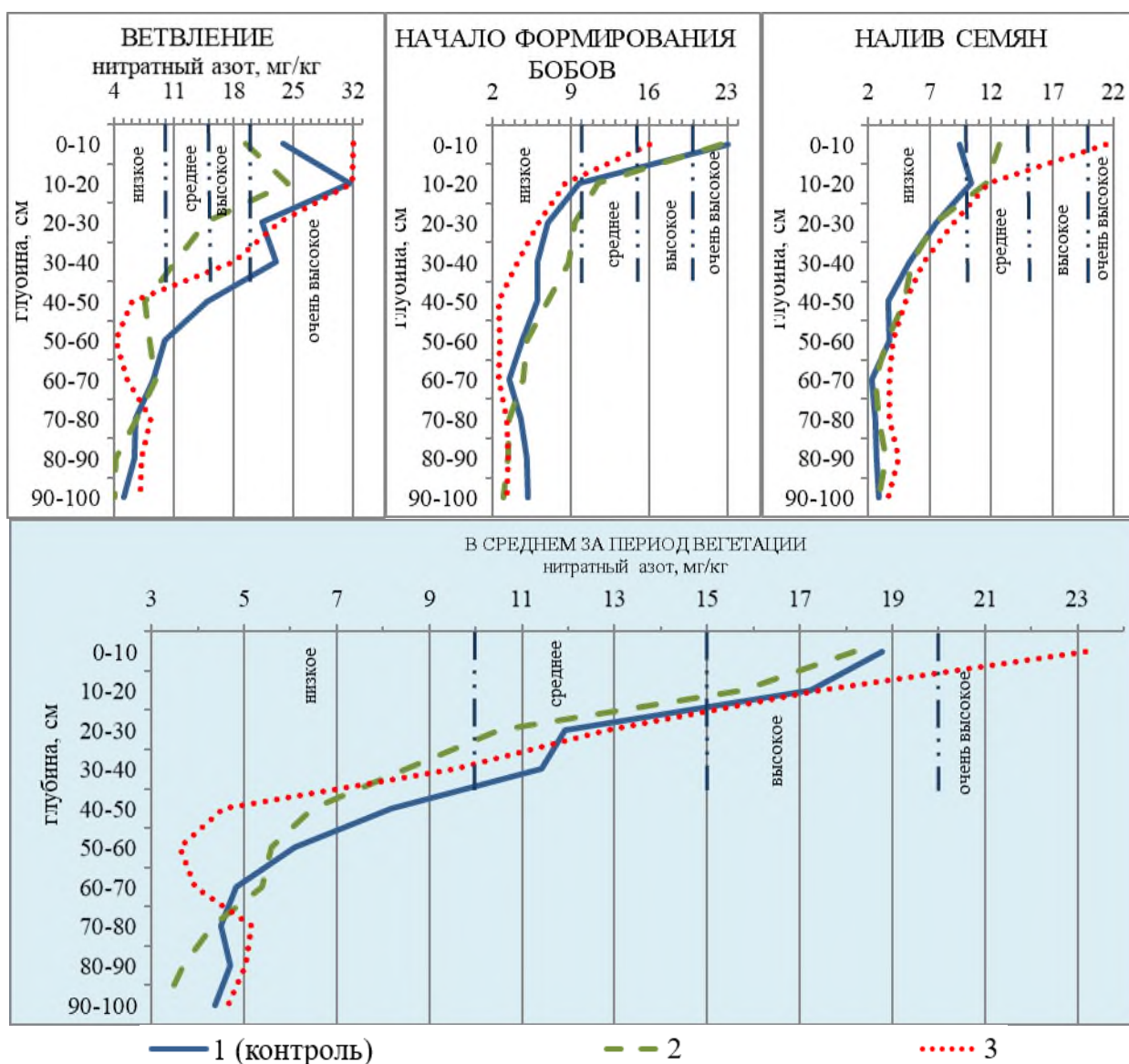


Рисунок 8 – Количество нитратного азота в почве под соей в различные фазы развития растений и в среднем за период вегетации, 2020-2022 гг.

результате процессов улетучивания посредством восстановления нитратного азота до свободного молекулярного или до газообразных окиси и закиси азота. В среднем за годы исследований в фазе начала формирования бобов количество нитратов в исследуемом слое почвы 0...100 см в вариантах с системами, которые включали глубокие обработки – вспашку и безотвальное рыхление – составило соответственно 7,51 и 7,90 мг/кг, а при системе с дискованием существенно снизилось – до 5,30 мг/кг, то есть на 2,21 мг/кг относительно контроля. Проведенным дисперсионным анализом установлено

достоверное отличие в этот период от контроля системы с дискованием ($HCP_{05} = 1,20$ мг/кг).

К фазе налива семян количество нитратов в почве под посевами сои при системах со вспашкой и безотвальным рыхлением составило в среднем 5,03 и 5,72 мг/кг, и значительно увеличивалось на системе, включающей дискование – на 2,29 мг/кг к контролю. Проведенный дисперсионный анализ установил, что в фазе налива семян по уровню нитратов под соей достоверно от системы со вспашкой отличалась система с дискованием ($HCP_{05} = 1,75$ мг/кг) (Рис. 8).

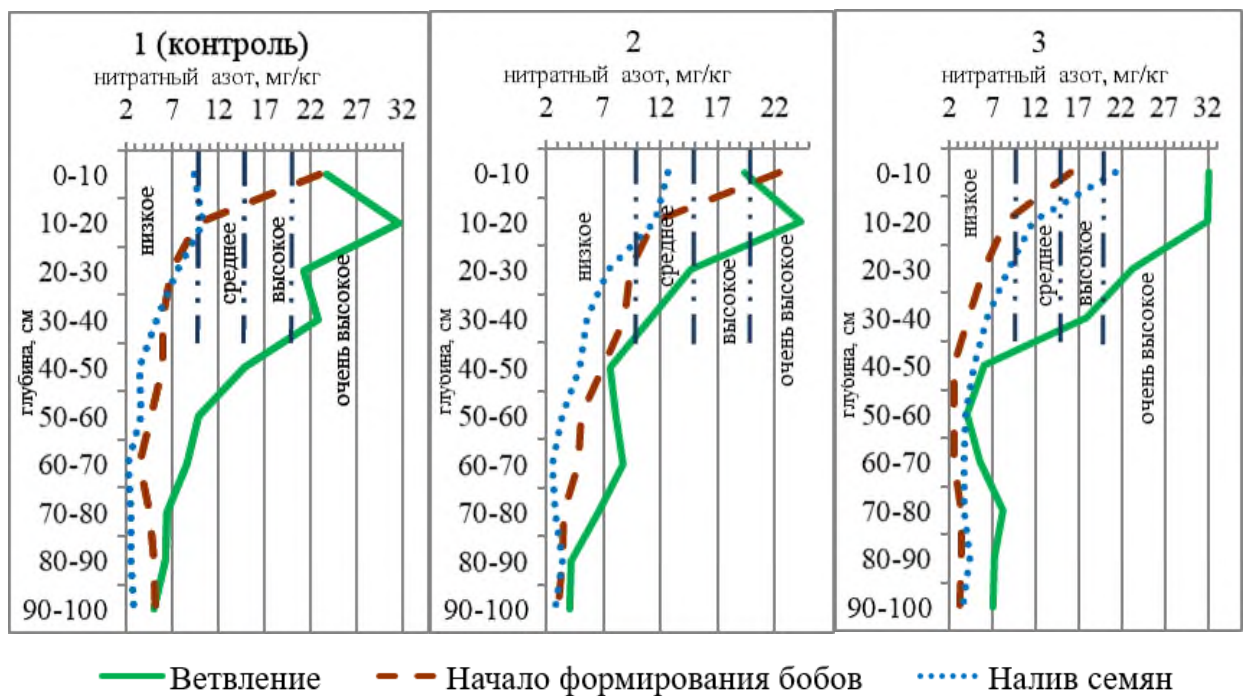


Рисунок 9 – Количество нитратного азота в почве под соей в зависимости от системы обработки почвы, в среднем 2020-2022 гг.

Установлено, что в среднем за годы исследований уровень NO_3 в почве в слое 0...40 см на контрольном варианте (14,84 мг/кг) был больше, чем на системе с безотвальным рыхлением (13,25 мг/кг), но меньше, чем на системе с дискованием (15,76 мг/кг). В метровом слое почвы при системе с отвальной вспашкой количество нитратов в почве (9,21 мг/кг) было больше систем с безотвальным рыхлением (8,18 мг/кг) и дискованием (9,00 мг/кг). Несмотря на то, что при применении отвальной обработки складываются лучшие условия

для протекания процессов образования азота в почве, его количество на контроле не сильно отличалось от систем с безотвальным рыхлением и дискованием, что, вероятно, связано со сложившимися условиями увлажнения, которые на контроле способствовали большему вымыванию нитратов из почвы – ГТК в среднем с мая по II декаду сентября в 2020-2022 гг. составил 1,97, что говорит об избыточном увлажнении (Табл. 7).

3.5 Подвижный фосфор и обменный калий

Фосфор входит в состав нуклеиновых кислот (ДНК и РНК), нуклеотидов, некоторых белков, витаминов и ферментов, влияет на процессы дыхания и фотосинтеза, играет важнейшую роль в обмене веществ, определяет энергетический статус клетки, синтез РНК, белков и жиров, деление и дифференцировку клеток, влияет на процесс симбиотической фиксации азота воздуха, активизирует рост корней, формирование цветков, плодов и семян, повышает устойчивость к засухе, жаре и холоду, ускоряет развитие и налив семян растений.

При недостатке фосфора в растении нарушаются процессы дыхания и фотосинтеза, задерживается рост корней и формирование клубеньков, надземных органов, ухудшается формирование цветков и плодов. Молодые листья образуются более узкими, сине-зелеными. Старые листья начинают желтеть от краев к центру, на них появляются бурые или черные некрозные пятна, и они постепенно засыхают и опадают. Боковые корешки развиваются слабо [155].

Содержание фосфора зависит от гранулометрического состава, кислотности почвы, концентрации кальция и магния в почве, количества гумуса в ней. Практически во всех почвах преобладают минеральные фосфаты. Чем тяжелее гранулометрический состав почвы, тем выше содержание в ней фосфора в органической форме.

Минеральные соединения фосфора в почве представлены:

1. Труднорастворимыми солями – фосфатами алюминия, железа, кальция, магния (AlPO_4 , FePO_4 , $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$, $\text{Mg}_3(\text{PO}_4)_2$).

2. Растворимыми солями – одно- и двузамещенными фосфатами кальция, магния, калия, аммония, натрия и др. ($\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$, $\text{Mg}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$, CaHPO_4 , MgHPO_4 , K_3PO_4 , K_2HPO_4 , KH_2PO_4 , $(\text{NH}_4)_3\text{PO}_4$, $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$, $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$, Na_3PO_4 , Na_2HPO_4 , NaH_2PO_4).

Первая группа фосфатов недоступна для растений, так как они нерастворимы в воде и слабых кислотах. Вторая группа фосфатов доступна для растений. Количество фосфатов той или иной группы зависит от кислотности почвы и концентрации кальция и магния. Например, в кислых почвах с $\text{pH} < 5$ преобладают ионы алюминия и железа, фосфор представлен AlPO_4 , FePO_4 ; в почвах с pH 6-8 преобладают $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$, $\text{Mg}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$, а в почвах, где pH выше 8 преобладает $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$, $\text{Mg}_3(\text{PO}_4)_2$.

Доступный фосфор – это минеральный фосфор и часть органического, который в ближайшее время перейдет в минеральную форму и может быть использована растениями.

Использование фосфора растениями из почвы определяется её кислотностью: чем кислее почва, тем менее доступным становится фосфор [108, с. 21-22].

В начале периода вегетации растений, в фазе ветвления на контрольном варианте с системой, включающей вспашку, уровень подвижного фосфора в почве в среднем в слое 0...100 см был низким с показателем 41,61 мг/кг. На глубине 0...20 см уровень подвижного фосфора был около 55,65 мг/кг, что указывает на средний уровень. Далее на глубине 20...30 см и ниже, до слоя 0...100 см, уровень подвижных фосфатов в почве оставался на уровне низкого, с минимальным показателем 31,35 мг/кг в слое 50...60 см. Это может быть связано с тем, что вспашка как метод обработки приводит к значительному перемешиванию почвы и выносу подвижного фосфора из верхних слоев в более глубокие горизонты, что снижает его доступность для корневой системы сои. Также стоит отметить, что вспашка может увеличивать аэрацию и

Таблица 8 – Обеспеченность почвы подвижным фосфором (P_2O_5) под соей при различных системах обработки в 2020-2022 гг., мг/кг

Система обработки почвы	Слой почвы, см	Фаза вегетации			Среднее
		Ветвление	Начало формирования бобов	Налив семян	
1(контроль)	0-10	57,17	53,04	63,44	57,88
	10-20	54,13	49,05	53,44	52,20
	20-30	42,20	43,21	56,11	47,18
	30-40	37,30	41,62	54,31	44,41
	40-50	35,95	40,50	57,88	44,77
	50-60	31,35	38,46	48,72	39,51
	60-70	35,03	42,30	49,35	42,23
	70-80	38,07	58,06	45,89	47,34
	80-90	40,08	57,29	58,02	51,79
	90-100	44,79	57,37	60,81	54,32
	0-30	51,17	48,43	57,66	52,42
	30-50	36,63	41,06	56,10	44,59
	50-100	37,55	49,00	53,45	46,66
	0-100	41,61	48,09	54,80	48,16
2	0-10	58,12	62,13	63,53	61,26
	10-20	49,09	52,59	58,20	53,29
	20-30	46,66	50,79	48,84	48,76
	30-40	52,47	52,39	46,37	50,41
	40-50	50,73	52,55	51,72	51,67
	50-60	49,94	49,13	52,81	50,63
	60-70	43,56	44,21	54,86	47,54
	70-80	54,33	43,11	47,71	48,38
	80-90	56,92	49,82	49,25	52,00
	90-100	62,17	46,72	42,89	50,59
	0-30	51,29	55,17	56,86	54,44
	30-50	51,60	52,47	49,05	51,04
	50-100	52,94	47,59	49,87	50,14
	0-100	52,40*	50,34*	51,62	51,45*
3	0-10	68,04	66,68	58,69	64,47
	10-20	62,43	50,08	47,45	53,32
	20-30	53,22	55,39	48,86	52,49
	30-40	44,35	52,47	43,46	46,76
	40-50	39,93	45,71	46,64	44,09
	50-60	44,45	57,19	45,04	48,89
	60-70	42,57	52,79	41,17	45,51
	70-80	50,77	52,83	46,21	49,94
	80-90	46,23	53,81	44,07	48,03
	90-100	43,24	42,77	43,40	43,13

Продолжение таблицы 8

Система обработки почвы	Слой почвы, см	Фаза вегетации			Среднее
		Ветвление	Начало формирования бобов	Налив семян	
3	<i>0-30</i>	<i>61,23</i>	<i>57,38</i>	<i>51,67</i>	<i>56,76</i>
	<i>30-50</i>	<i>42,14</i>	<i>49,09</i>	<i>45,05</i>	<i>45,43</i>
	<i>50-100</i>	<i>44,53</i>	<i>50,85</i>	<i>44,42</i>	<i>46,60</i>
	<i>0-100</i>	<i>49,52*</i>	<i>52,97*</i>	<i>46,50*</i>	<i>49,66*</i>
НСР ₀₅		2,82	1,85	4,75	1,13

биологическую активность почвы, что может способствовать более быстрому усвоению фосфора растениями.

На системе с безотвальным рыхлением в начале периода вегетации растений уровень P_2O_5 оказался больше контроля на 20,59% и был средним с показателем 52,40 мг/кг. На глубине 0...10 см на этом варианте уровень фосфора был незначительно выше, чем при системе со вспашкой – 58,12 мг/кг. На глубине 10...30 см уровень содержания этого элемента снижался до 47,88 мг/кг, что является низким уровнем. Однако далее на глубине 70...100 см уровень содержания подвижных фосфатов отмечен в пределах среднего. Здесь наблюдается меньшая потеря фосфора, так как безотвальное рыхление минимизирует разрушение структуры почвы и способствует лучшему удержанию питательных веществ. Видно, что с глубиной уровень содержания фосфора также снижается, но не так резко, как при системе со вспашкой, что говорит о более равномерном распределении фосфора в профиле почвы.

На варианте с системой, включающей дискование, в этот период отмечен низкий уровень содержания подвижных фосфатов в почве (49,52 мг/кг), что все же оказалось выше контроля на 15,97%. На глубине 0...10 см уровень содержания P_2O_5 самый высокий среди всех систем обработки (68,04 мг/кг), что указывает на средний уровень. Далее, с глубины 10...20 см и до 90...100 см уровень содержания этого элемента снижается, достигая минимального показателя 39,93 мг/кг в слое 40-50 см. Дискование является менее инвазивным методом по сравнению со вспашкой, но, как показали

данные, уровень содержания фосфора при этом методе несколько снижается с увеличением глубины. Это может быть связано с тем, что применение дискования приводит к перемешиванию верхних слоев почвы, что может вызывать вымывание фосфора и его перемещение в более глубокие слои, недоступные для корней.

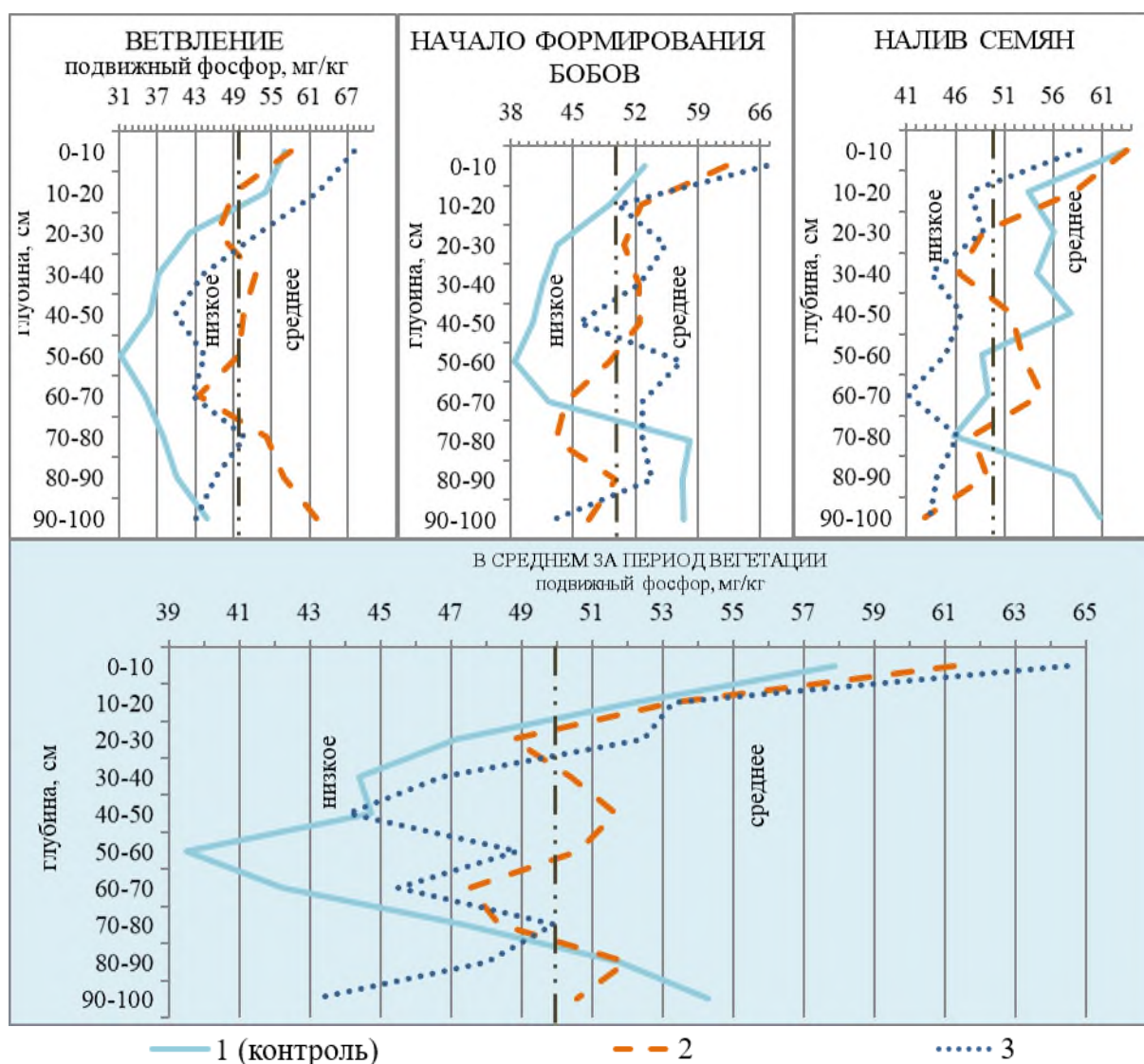


Рисунок 10 – Количество подвижного фосфора в почве под соей в различные фазы развития растений и в среднем за период вегетации, 2020-2022 гг.

Однофакторным дисперсионным анализом установлено, что в фазе ветвления в 2020-2022 гг. достоверно отличались контроля по влиянию на

содержание фосфора в почве как система с безотвальным рыхлением, так и система с дискованием ($\text{HCP}_{05} = 2,82 \text{ мг/кг}$).

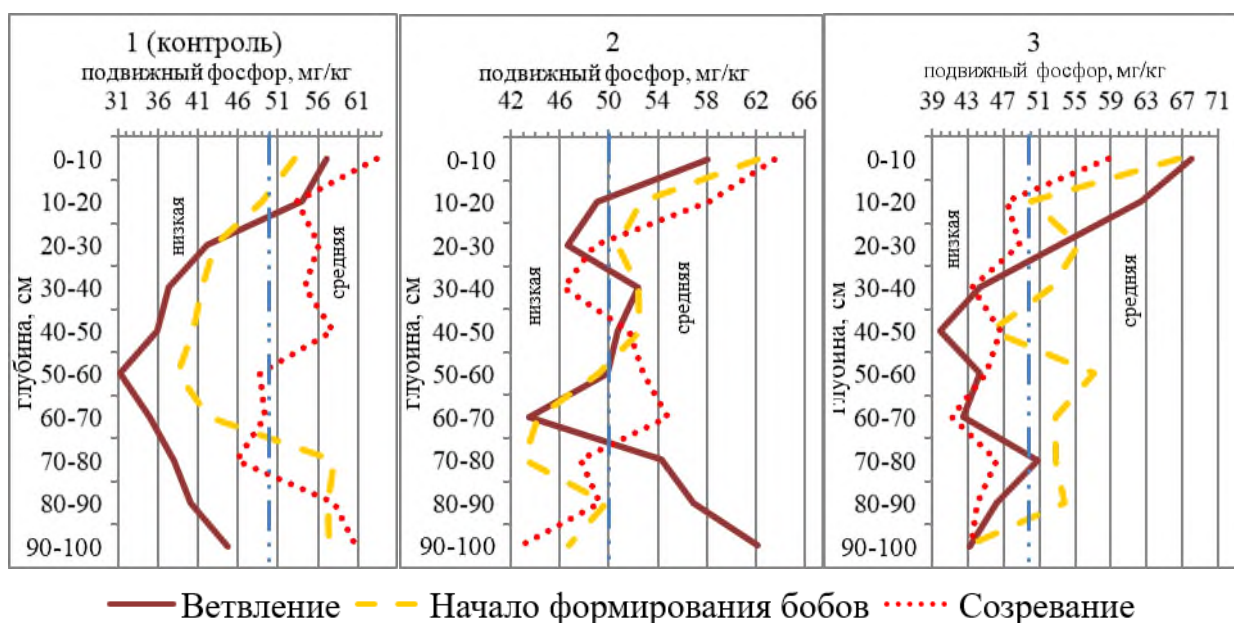


Рисунок 11 – Количество подвижного фосфора в почве под соей в зависимости от системы обработки почвы, в среднем 2020-2022 гг.

В фазе начала формирования бобов уровень содержания подвижного фосфора в почве под соей на контрольном варианте варьировался от 38,46 до 58,06 мг/кг, с максимальным значением в слое 70...80 см и минимальным – в слое 50...60 см. Количество подвижных фосфатов в этот период оказалось больше, чем в фазе ветвления на 13,47%, что, вероятно, говорит о влиянии условий увлажнения в весенне-летний период на уровень содержания P_2O_5 – если почва была хорошо увлажнена в начале вегетации растений, это могло способствовать вымыванию фосфора или его перемещению в более глубокие слои. Кроме того, при системе со вспашкой в начале периода вегетации возможно усиление микробиологической активности в почве, что может привести к изменению состояния фосфора. Микроорганизмы могут потреблять фосфор или преобразовывать его в формы, которые менее доступны растениям.

К середине периода вегетации растений сои при системе с безотвальным рыхлением уровень содержания P_2O_5 был в пределах от 43,11 до 62,13 мг/кг, с максимальным значением в слое 0...10 см и минимальным, так же, как и на системе, включающей вспашку, в слое 70...80 см. Количество подвижного фосфора в этот период в сравнении с фазой ветвления, уменьшилось на 4,09%, что может указывать на то, что данный метод обработки способствует лучшему сохранению фосфора в верхних слоях почвы и способствует более легкому усвоению этого элемента корневой системой растений сои. В сравнении с контролем, уровень P_2O_5 был больше на системе с безотвальным рыхлением на 4,47%.

На системе, включающей дискование, уровень подвижных фосфатов в середине периода вегетации растений был в пределах от 42,77 до 66,68 мг/кг, и оказался в среднем выше, чем на других исследуемых вариантах. Максимальное значение этого элемента отмечено в слое 0...10 см – так же, как и на системе с безотвальным рыхлением, минимальное – в слое 90...100 см. Уровень содержания P_2O_5 в сравнении с фазой ветвления к этому периоду снизился на 6,51%. В сравнении с системой с отвальной обработкой количество подвижных фосфатов на системе с дискованием оказалось больше на 9,21%.

В результате дисперсионного анализа установлено, что в середине периода вегетации растений в 2020-2022 гг. достоверно от контрольного варианта отличались все другие исследуемые системы обработки почвы ($НСР_{05} = 1,85$ мг/кг).

Ближе к концу периода вегетации растений на контроле уровень подвижного фосфора в почве увеличился в сравнении с фазой начала формирования бобов на 12,24%, или 54,80 мг/кг, – это оказалось больше, чем на других вариантах в рассматриваемый период. Верхний слой 0...10 см характеризовался наиболее высоким уровнем содержания P_2O_5 , который по мере увеличения глубины преимущественно уменьшался, и минимальное значение (39,51 мг/кг) оказалось в слое 50-60 см.

Уровень содержания подвижного фосфора при системе с безотвальным рыхлением в этот период вегетации растений был меньше контроля на 6,16%, и составил 51,62 мг/кг. В сравнении с предыдущим периодом вегетации уровень фосфора также незначительно увеличился – на 2,54%. Аналогично контролю больше всего P_2O_5 оказалось в слое 0...10 см, и с увеличением глубины уровень этого элемента в основном уменьшался, достигая минимального значения 42,89 мг/кг в слое 90...100 см.

К моменту налива семян минимальное количество подвижных фосфатов оказалось на варианте с системой с дискованием – 46,50 мг/кг, что меньше системы со вспашкой на 17,85%. В сравнении с фазой начала формирования бобов уровень подвижного фосфора уменьшился на 12,21%. Если в верхнем слое 0...10 см было сосредоточено достаточное количество этого элемента, то в слое 10...20 см и ниже его уровень резко падал, достигая минимального показателя в слое 60...70 см.

Однофакторный дисперсионный анализ показал, что ближе к концу периода вегетации растений достоверно от контроля отличалась система с применением дискования ($НСР_{05} = 4,75$ мг/кг) (Табл. 8, Рис. 11).

В среднем на варианте с системой, включающей вспашку, обеспеченность фосфором в слое 0...100 см в течение периода вегетации растений была низкой (48,16 мг/кг), а средний уровень содержания этого элемента отмечен преимущественно в слое 0...20 см – в пределах 52,20-57,88 мг/кг, в слое 80...100 см – в пределах 51,79-54,32 мг/кг. На системе с безотвальным рыхлением в слое 0...100 см в течение периода вегетации количество фосфора в почве было выше контроля на 6,83% и оказалось со средним уровнем 51,45 мг/кг; средние показатели содержания уровня P_2O_5 были на этом варианте в слоях: 0...20 см – 57,28 мг/кг, 40...60 см – 51,15 мг/кг, 80...100 см – 51,30 мг/кг. Также выше контроля на 3,02% уровень содержания этого элемента в почве был на системе с дискованием, где в отличие от системы с безотвальным рыхлением был низким с показателем 49,66 мг/кг, а средний уровень подвижных фосфатов оказался только в слое 0...30 см – в

пределах 52,49...64,47 мг/кг. Дисперсионным анализом установлено, что в среднем достоверно отличались от контроля системы, включающие и безотвальное рыхление, и вспашку ($НСР_{05} = 1,13$ мг/кг) (Рис. 10).

Калий, хотя и не входит в состав органических веществ, но выполняет важные регуляторные функции. Он активизирует многие ферменты, в том числе участвующие в синтезе белков, влияет на превращения и передвижение углеводов по растению, на поддержание тургора в клетках.

Недостаток калия в растении приводит к замедлению синтеза белка, снижению азотфиксации, ухудшению фосфорного обмена, торможению роста побегов, к чрезмерному накоплению аммиачного азота в листьях. Появляется хлороз (пожелтение) нижних листьев, сначала на краях и кончиках, а их основание и середина остаются зелеными. Хлорозные участки постепенно становятся темно-бурыми (выглядят обожженными), подворачиваются и отмирают. На таких участках листа появляются «рваные дыры». Наблюдается более тесное расположение долек листа, морщинистость листьев вследствие неравномерного роста листовой пластинки, потеря тургора. Дефицит калия понижает устойчивость растений к ряду заболеваний, неблагоприятным погодным условиям [155].

Практически весь калий в почвах содержится в минеральной форме. По доступности калия для растений выделяют пять групп:

1. Калий органического вещества – калий, входящий в состав растительных остатков. Растениям эта форма калия недоступна, но после минерализации переходит в почвенный раствор и становится доступной.

2. Калий труднорастворимых алюмосиликатов (полевые шпаты, слюды, гидрослюды). В эту группу входит основное количество калия (98-99%). Растениями данные соединения не усваиваются.

3. Необменный калий – фиксированный в межпакетных пространствах глинистых минералов. Для растений он недоступен.

4. Обменный калий – находится на поверхности почвенно-поглощающего комплекса и способен обмениваться с другими катионами.

Составляет 0,5-3% от общего содержания калия в почве. Основным источником питания растений.

5. Водорастворимый калий. Представлен легкорастворимыми солями калия, находящимися в почвенном растворе. Доступен для растений, однако содержание его очень низкое (от 1 до 7 мг/кг почвы) [108, с. 22].

В начале периода вегетации растений сои в фазе ветвления на контрольном варианте уровень обменного калия в среднем в исследуемом горизонте почв был 84,60 мг/кг. В слое 0...10 см было больше всего этого элемента – 116,93 мг/кг, и с увеличением глубины уровень снижался, достигая минимального показателя 69,71 мг/кг в слое 40...50 см, при этом в слое 90...100 см его содержание было 75,48 мг/кг. Это указывает на то, что система со вспашкой как традиционная обеспечивает достаточно высокий уровень питательных веществ в верхнем слое почвы, однако эффективность снижается с глубиной.

На варианте с системой с безотвальным рыхлением в этот период обменного калия в слое 0...100 см было 86,68 мг/кг, что оказалось больше контроля на 2,40%. В верхнем слое (0...10 см) наблюдался высокий уровень обменного калия, но увеличением глубины он снижался, достигая минимально показателя 73,60 мг/кг в слое 40...50 см, а в слое 90...100 см было 80,94 мг/кг.

При системе с дискованием в среднем в исследуемом горизонте почв уровень обменного калия был 77,61 мг/кг – меньше контроля на 9,00%. В верхнем слое (0...10 см) были наиболее высокие запасы обменного калия, которые снижались с увеличением глубины, и минимальное количество этого элемента (62,67 мг/кг) было в слое 90...100 см.

Однофакторным дисперсионным анализом установлено, что в фазе ветвления в 2020-2022 гг. достоверно отличалась контроля по влиянию на содержание калия в почве только система с дискованием ($HCp_{05} = 4,19$ мг/кг).

Уровень обменного калия в почве под соей в фазе начало формирования бобов на контрольном варианте варьировался от 54,04 до 94,53 мг/кг, с максимальным значением в слое 0...10 см и минимальным в слое 40...50 см.

Таблица 9 – Обеспеченность почвы под соей обменным калием (K₂O) при различных системах обработки в 2020-2022 гг., мг/кг

Система обработки почвы	Слой почвы, см	Фаза вегетации			Среднее
		Ветвление	Начало формирования бобов	Налив семян	
1 (контроль)	0-10	116,93	94,53	92,27	101,24
	10-20	113,47	86,04	87,05	95,52
	20-30	85,84	65,25	67,11	72,73
	30-40	74,69	54,38	60,71	63,26
	40-50	69,71	54,04	61,84	61,86
	50-60	76,02	62,63	69,43	69,36
	60-70	76,24	56,54	72,56	68,44
	70-80	80,35	66,06	82,81	76,40
	80-90	77,32	65,08	83,60	75,33
	90-100	75,48	60,04	80,89	72,14
	0-30	105,41	81,94	82,14	89,83
	30-50	72,20	54,21	61,27	62,56
	50-100	77,08	62,07	77,86	72,33
	0-100	84,60	66,46	75,83	75,63
2	0-10	141,60	122,14	109,33	124,36
	10-20	104,94	84,00	85,47	91,47
	20-30	76,40	60,27	67,20	67,95
	30-40	74,67	57,20	62,67	64,85
	40-50	73,60	57,20	66,93	65,91
	50-60	76,93	66,27	67,60	70,27
	60-70	79,87	65,34	68,67	71,29
	70-80	79,47	64,40	74,00	72,62
	80-90	78,40	63,47	74,14	72,00
	90-100	80,94	69,87	74,80	75,20
	0-30	107,65	88,80	87,33	94,59
	30-50	74,13	57,20	64,80	65,38
	50-100	79,12	65,87	71,84	72,28
	0-100	86,68	71,01	75,08	77,59
3	0-10	132,94	105,07	92,67	110,22
	10-20	102,53	74,00	74,80	83,78
	20-30	77,20	56,40	59,20	64,27
	30-40	66,53	58,13	57,07	60,58
	40-50	66,27	59,34	59,20	61,60
	50-60	67,20	66,27	62,40	65,29
	60-70	68,00	65,74	61,87	65,20
	70-80	67,20	67,47	66,27	66,98
	80-90	65,60	66,53	64,40	65,51
	90-100	62,67	62,40	60,53	61,87

Продолжение таблицы 9

Система обработки почвы	Слой почвы, см	Фаза вегетации			Среднее
		Ветвление	Начало формирования бобов	Налив семян	
3	<i>0-30</i>	<i>104,22</i>	<i>78,49</i>	<i>75,56</i>	<i>86,09</i>
	<i>30-50</i>	<i>66,40</i>	<i>58,73</i>	<i>58,14</i>	<i>61,09</i>
	<i>50-100</i>	<i>66,13</i>	<i>65,68</i>	<i>63,09</i>	<i>64,97</i>
	<i>0-100</i>	<i>77,61*</i>	<i>68,13</i>	<i>65,84</i>	<i>70,53*</i>
НСР ₀₅		4,19	F _ф < F ₀₅	F _ф < F ₀₅	2,19

Количества этого элемента в этот период оказалось меньше, чем в фазе ветвления на 21,45%. Это, вероятно, обусловлено тем, что от начала к середине периода вегетации происходило активное усваивание этого элемента растениями сои. Кроме того, при применении вспашки происходит интенсификация процессов минерализации и вымывания калия, отвальная обработка может способствовать повышению аэрации почвы, что, в свою очередь, увеличивает активность почвенных микроорганизмов, которые могут использовать калий для своих метаболических процессов.

На варианте с системой с безотвальным рыхлением в фазе начала формирования бобов уровень K₂O был в пределах от 57,20 до 122,14 мг/кг, с максимальным значением, так же, как и при системе со вспашкой, в слое 0...10 см и минимальным в слое 30...40 см. Количество обменного калия в этот период в сравнении с фазой ветвления, уменьшилось на 18,07%, что говорит об усвоении этого элемента корневой системой растений сои. В сравнении с контролем уровень содержания K₂O в этот период был больше на системе с безотвальным рыхлением на 6,42%.

На системе с дискованием уровень обменного калия в середине периода вегетации растений сои был в пределах от 56,40 до 105,07 мг/кг. Максимальное значение этого элемента отмечено в слое 0...10 см – так же, как и на других исследуемых вариантах, минимальное – в слое 20...30 см. Уровень K₂O в сравнении с фазой ветвления к этому периоду снизился на 12,21%. В

сравнении с системой со вспашкой количество подвижных фосфатов на системе с дискованием оказалось больше на 2,46%.

В результате однофакторного дисперсионного анализа установлено, что в середине периода вегетации растений в 2020-2022 гг. существенных достоверных различий между исследуемыми вариантами не было ($F_{\phi} < F_{05}$).

От середины к концу периода вегетации растений в течение 2020-2022 гг. на вариантах с системами, включающими вспашку и безотвальное рыхление, произошло увеличение уровня содержания обменного калия в исследуемом горизонте почв соответственно на 9,37 мг/кг и 4,07 мг/кг. Причем наибольший рост отмечен не в пахотном, а в гумусово-аккумулятивном и нижнем иллювиальном горизонтах. На вариантах с системами включающими глубокие обработки почв, это, вероятно, обусловлено миграцией данного элемента из верхних слоев почвы, а также мобилизацией K_2O из необменных форм под воздействием выделений глубоко проникающей корневой системы растений сои.

На системе с дискованием от середины к концу периода вегетации растений процессы расходования этого элемента из почвы преимущественно продолжились, и в среднем по исследуемому горизонту почв они составили 2,29 мг/кг. На этой системе обработки корневая система растений располагалась преимущественно в пахотном слое почвы, поэтому, судя по всему, снижение уровня содержания K_2O в почве в меньшей степени обусловлено потреблением его растениями сои, но в большей – такими сложившимися почвенно-климатическими условиями, при которых в конце периода вегетации на системе с дискованием происходил переход этого элемента в необменные формы.

К концу периода вегетации растений максимальное содержание обменного калия в среднем по профилю изучаемого горизонта (75,83 мг/кг) наблюдалось на контрольном варианте с применением системы со вспашкой. На варианте с системой с безотвальным рыхлением уровень содержания K_2O в почве был очень незначительно меньше контроля (на 0,98%), и составил

75,08 мг/кг. Меньше всего обменного калия к фазе налива семян оказалось при системе с дискованием – 65,84 мг/кг, что меньше контроля на 13,17%.

Дисперсионный анализ зафиксированных в этом периоде данных показал, что исследуемые системы с применением безотвального рыхления и дискования по уровню обменного калия в почве под соей достоверно не отличались от контроля ($F_{\phi} < F_{05}$) (Табл. 9, Рис. 12).

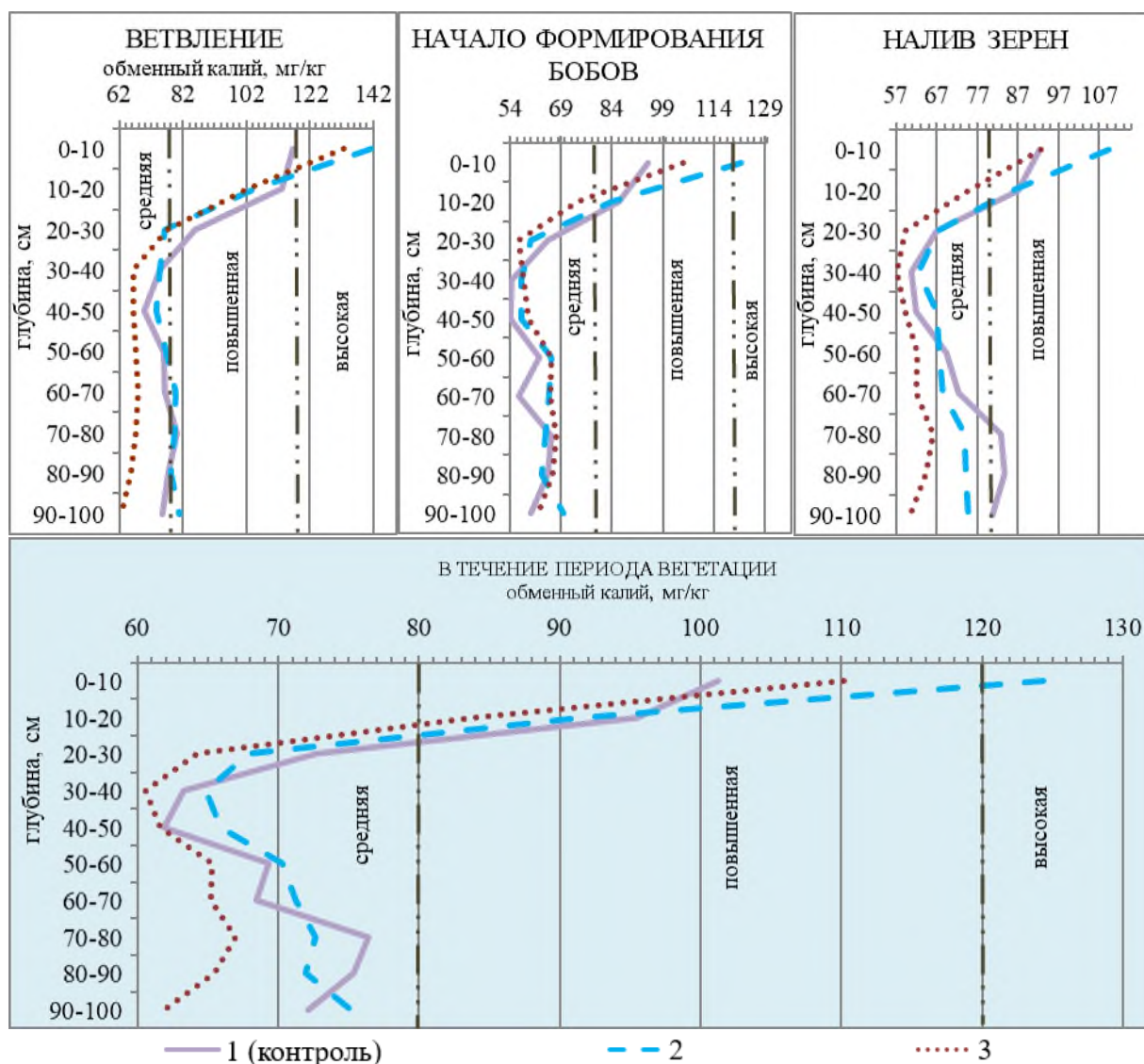


Рисунок 12 – Количество обменного калия в почве под соей в различные фазы развития растений и в среднем за период вегетации, 2020-2022 гг.

В среднем по всем исследуемым вариантам в течение вегетационных периодов 2020-2022 гг. уровень содержания обменного калия в почве был от повышенного – в пахотном слое 0...30 см, до среднего – в гумусово-аккумулятивном и иллювиальном горизонтах, в слоях почвы 30...100 см. Такое расположение K_2O в пахотном слое от 0...10 до 20...30 см обусловлено тем, что, с одной стороны, почвы исследуемого региона – черноземы выщелоченные суглинистые и среднесуглинистые, на которых калий, внесенный с удобрениями, закрепляется глинистыми минералами, вследствие чего его подвижность снижается (Рис. 13).

В гумусово-аккумулятивном горизонте запасы K_2O снижались по всем исследуемым вариантам, и в слоях от 30...40 до 60...70 см были минимальными в сравнении с другими слоями исследуемого горизонта, но по шкале обеспеченности оставались в пределах среднего уровня. На контрольном варианте отмечалось снижение на 26,83%, на системе с безотвальным рыхлением – на 25,46%, на системе с дискованием – на 26,63%. В иллювиальном горизонте в слоях почвы от 70...80 см до 90...100 см по всем вариантам отмечен рост количества этого элемента в почве по сравнению с гумусово-аккумулятивным переходным горизонтом, но достаточно незначительный. В среднем в течение 2020-2022 гг. повышение составило на системе со вспашкой 11,92%, на системе с безотвальным рыхлением – 7,09%, на системе с дискованием – 2,50%.

Таким образом, в 2020-2022 гг. уровень K_2O на контрольном варианте был в среднем 75,63 мг/кг, но уровень этого элемента на системе с безотвальным рыхлением был незначительно больше контроля (на 2,53%), в то время как количество обменного калия при системе с дискованием было меньше системы со вспашкой на 6,74%. Это связано с тем, что глубокие способы обработки способствуют более равномерному распределению питательных веществ как в верхнем, так и в нижних слоях почвы и улучшают доступ кислорода, что, в свою очередь, активизирует микроорганизмы, отвечающие за минерализацию органических веществ, содержащих K_2O .

Дискование, как правило, менее эффективно в распределении и сохранении питательных веществ по сравнению с вспашкой и безотвальным рыхлением. Кроме того, дискование может приводить к большему вымыванию калия из почвы, особенно в условиях дождливой погоды, когда верхний слой почвы становится более подвержен эрозии.

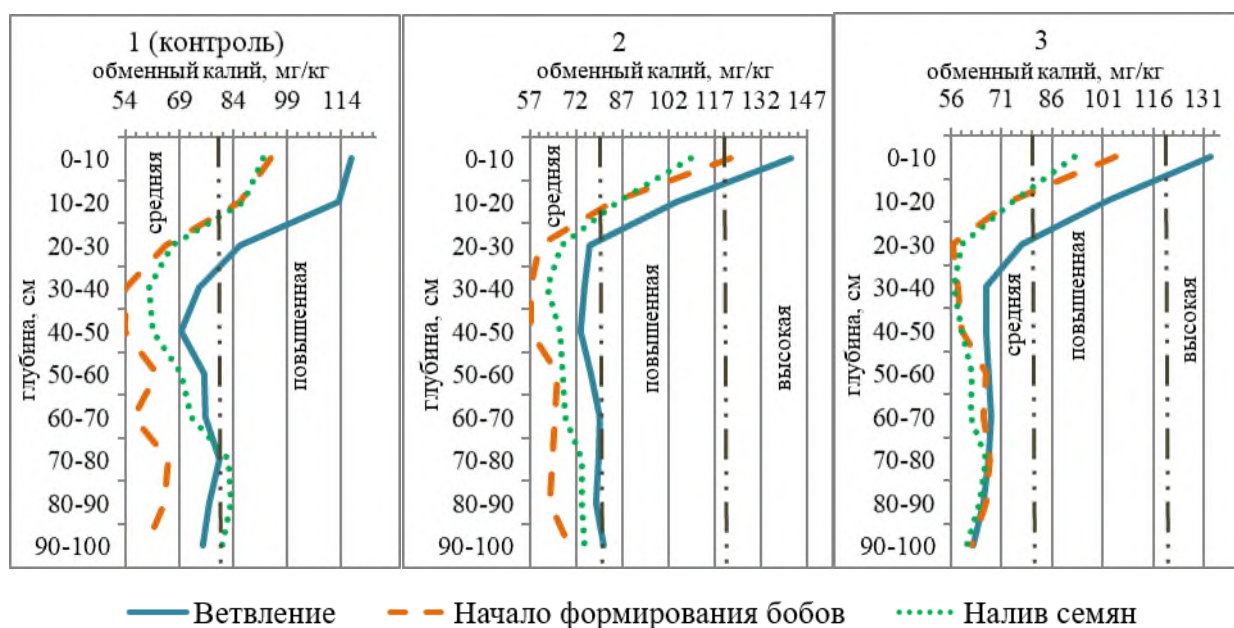


Рисунок 13 – Количество обменного калия в почве под соей в зависимости от системы обработки почвы, в среднем 2020-2022 гг.

В результате однофакторного дисперсионного анализа установлено, что в среднем в течение периода вегетации от системы со вспашкой достоверно отличалась система с дискованием ($НСР_{05} = 2,19$ мг/кг).

3.6 Кислотность, сумма поглощенных оснований, степень насыщенности основаниями

Распашка и эксплуатация почв в сельскохозяйственном производстве приводят к существенным изменениям их агрохимических свойств, прежде всего пахотного горизонта. Податливость и скорость изменчивости свойств различны. Почвенная кислотность относится к наиболее динамичным

свойствам, изменяющимся за короткие отрезки времени. В последнее время наблюдается расширение площадей пахотных почв с кислой реакцией среды. Снижение величины рН пахотных почв связывают также с нарушением баланса между катионами и анионами вследствие значительного выноса некоторыми культурами Са и Mg. Влияют на этот процесс и растения, воздействуя на почву ризосферы своими корневыми выделениями и изменяя рН [184].

По значению рН почвы можно судить о содержании в ней питательных веществ, а также о том, какие растения могут успешно расти на данной почве. Подкисление почвы часто угнетает растение. Для сои оптимальный рН почвы составляет 6,5-7,1. На щелочные почвы с $\text{pH} > 8,0$ и на кислые почвы с $\text{pH} < 5,0$ соя реагирует отрицательно.

Показатель рН служит критерием кислотности и щелочности раствора, а концентрация ионов H_3O^+ (H^+) в чистой воде при $+25\text{ }^\circ\text{C}$ является эталоном нейтральной реакции раствора (нейтральной точкой рН).

Соя хорошо удаётся на всех почвах, кроме солонцовых, тяжелых и кислых, а также заболоченных [155].

Актуальная кислотность – кислотность почвенного раствора, которая зависит от наличия свободных органических и минеральных кислот в почвенном растворе, ее степень оценивают по величине рН водной вытяжки. Актуальная кислотность возникает при образовании органических и аминокислот от разложения органического вещества почвы и органических удобрений, а также в присутствии диоксида углерода и воды. Кроме того, органические кислоты и аминокислоты являются продуктами корневых выделений растений и микроорганизмов почвы, а углекислый газ выделяется при дыхании живых организмов. Также актуальную кислотность почв создает образующаяся в процессе жизнедеятельности нитрифицирующих бактерий азотная кислота и физиологически кислые аммонийные удобрения [19].

На системе со вспашкой в исследуемом горизонте почв 0...100 см значение показателя реакции рН почвенного раствора в течение периода

Таблица 10 – Актуальная кислотность почвы (рН) под соей при различных системах обработки в 2020-2022 гг., ед.

Система обработки почвы	Слой почвы, см	Фаза вегетации			Среднее
		Ветвление	Начало формирования бобов	Налив семян	
1 (контроль)	0-10	5,80	5,99	6,23	6,01
	10-20	5,69	6,14	6,07	5,97
	20-30	5,87	5,99	6,14	6,00
	30-40	5,81	6,14	6,19	6,05
	40-50	6,06	6,10	6,21	6,12
	50-60	6,16	6,20	6,25	6,20
	60-70	6,06	6,14	6,21	6,14
	70-80	6,13	6,25	6,22	6,20
	80-90	6,30	6,29	6,41	6,33
	90-100	6,28	6,36	6,42	6,35
	0-30	5,79	6,04	6,15	5,99
	30-50	5,94	6,12	6,20	6,08
	50-100	6,18	6,25	6,30	6,24
	0-100	6,01	6,16	6,23	6,14
2	0-10	6,07	5,85	5,99	5,97
	10-20	5,97	6,03	6,28	6,09
	20-30	6,09	6,04	6,12	6,08
	30-40	6,23	6,08	6,05	6,12
	40-50	6,33	6,08	6,49	6,30
	50-60	6,49	6,15	6,48	6,37
	60-70	6,41	6,28	6,35	6,35
	70-80	6,52	6,49	6,47	6,49
	80-90	6,61	6,35	6,62	6,52
	90-100	6,74	6,46	6,85	6,68
	0-30	6,04	5,97	6,13	6,05
	30-50	6,28	6,08	6,27	6,21
	50-100	6,55	6,35	6,55	6,48
	0-100	6,35*	6,18	6,37*	6,30*
3	0-10	5,75	6,27	5,76	5,93
	10-20	5,67	6,19	5,94	5,93
	20-30	5,89	6,20	5,94	6,01
	30-40	5,99	6,36	6,02	6,12
	40-50	6,13	6,42	6,18	6,24
	50-60	6,18	6,33	6,25	6,25
	60-70	6,29	6,47	6,31	6,35
	70-80	6,42	6,67	6,41	6,50
	80-90	6,49	6,70	6,52	6,57
	90-100	6,62	7,13	6,76	6,84

Продолжение таблицы 10

Система обработки почвы	Слой почвы, см	Фаза вегетации			Среднее
		Ветвление	Начало формирования бобов	Налив семян	
3	<i>0-30</i>	<i>5,77</i>	<i>6,22</i>	<i>5,88</i>	<i>5,96</i>
	<i>30-50</i>	<i>6,06</i>	<i>6,39</i>	<i>6,10</i>	<i>6,18</i>
	<i>50-100</i>	<i>6,40</i>	<i>6,66</i>	<i>6,45</i>	<i>6,50</i>
	<i>0-100</i>	<i>6,14</i>	<i>6,47*</i>	<i>6,21</i>	<i>6,27*</i>
НСР ₀₅		0,14	0,14	0,11	0,07

вегетации растений было слабокислым. На варианте с системой, включающей безотвальное рыхление, слабокислое значение было в слое почвы 0...80 см – в фазах ветвления и налива семян, в слое 0...100 см – в фазе начала формирования бобов. В то же время нейтральное значение реакции почвенной среды было зафиксировано в начале и конце периода вегетации в слое 80...100 см. На системе с дискованием слабокислое значение показателя реакции рН почвенного раствора было зафиксировано в слое почвы 0...90 см – в период ветвления и налива семян, в слое 0...70 см – в период начала формирования бобов. Нейтральное значение реакции почвенной среды было отмечено в начале и конце периода вегетации растений в слое 90...100 см, а также в середине периода вегетации в слое 70...90 см. Кроме того, при системе с дискованием в период начала формирования бобов в слое 90...100 см отмечено слабощелочное значение реакции почвенной среды (Рис. 15).

От слоя 0...10 см к слою 90...100 см, независимо от системы обработки почвы, наблюдалось увеличение значения рН почвенного раствора от слабокислого показателя в сторону нейтральных значений. Наиболее близкие к нейтральным значения рН зафиксированы преимущественно на варианте с применением дискования, наиболее близкие к кислым – на системе со вспашкой.

В начале периода вегетации растений в среднем по исследуемому горизонту почв 0...100 см на контрольном варианте слабокислое значение реакции почвенной среды было со значением 6,01 ед., в то время как на

системах с безотвальным рыхлением и дискованием показатели реакции почвенной среды стремились в сторону щелочных значений, но также оставались слабокислыми – соответственно 6,35 и 6,14 ед. В результате дисперсионного анализа установлено, что в этот период система с применением безотвального рыхления достоверно отличалась от контрольного варианта с системой, включающей вспашку ($HCp_{05} = 0,14$ ед.).

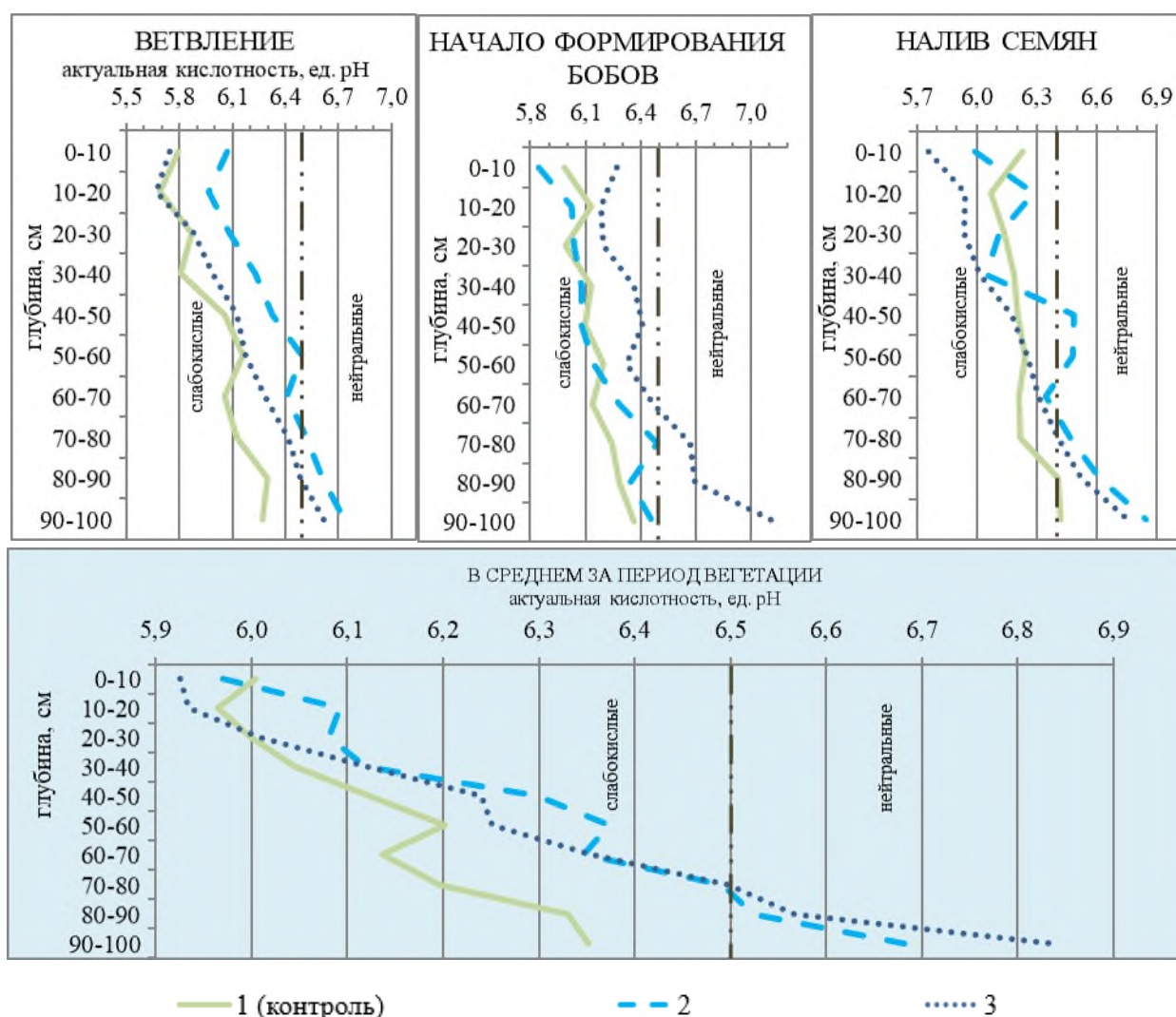


Рисунок 14 – Актуальная кислотность почвы под соей в различные фазы развития растений и в среднем за период вегетации, 2020-2022 гг.

В период начала формирования бобов на всех вариантах уровень pH в слое 0...100 см также был слабокислым: 6,16 ед. на системе со вспашкой, 6,18 ед. на системе с безотвальным рыхлением, 6,47 ед. на системе с дискованием.

В сравнении с началом периода вегетации растений сои при системах с применением вспашки и дискования значение рН увеличилось соответственно на 0,14 и 0,33 ед. При системе с безотвальным рыхлением, оно уменьшилось на 0,17 ед. Дисперсионный анализ показал, что достоверное отличие от системы со вспашкой по влиянию, оказываемому в этот период на актуальную кислотность почвы под соей было от системы с дискованием ($НСР_{05} = 0,14$ ед.).

К моменту налива семян значение показателя реакции рН почвенного раствора оставалось слабокислым: на вариантах с системами, включающими вспашку, – 6,23 ед., безотвальное рыхление – 6,37 ед., дискование – 6,21 ед. В сравнении с серединой периода вегетации растений на вариантах с системами со вспашкой и безотвальным рыхлением показатель рН увеличился соответственно на 0,08 и 0,19 ед. На системе с дискованием он уменьшился на 0,27 ед. В результате дисперсионного анализа установлено, что в этот период достоверно от системы со вспашкой отличалась система с безотвальным рыхлением ($НСР_{05} = 0,11$ ед.) (Рис. 14).

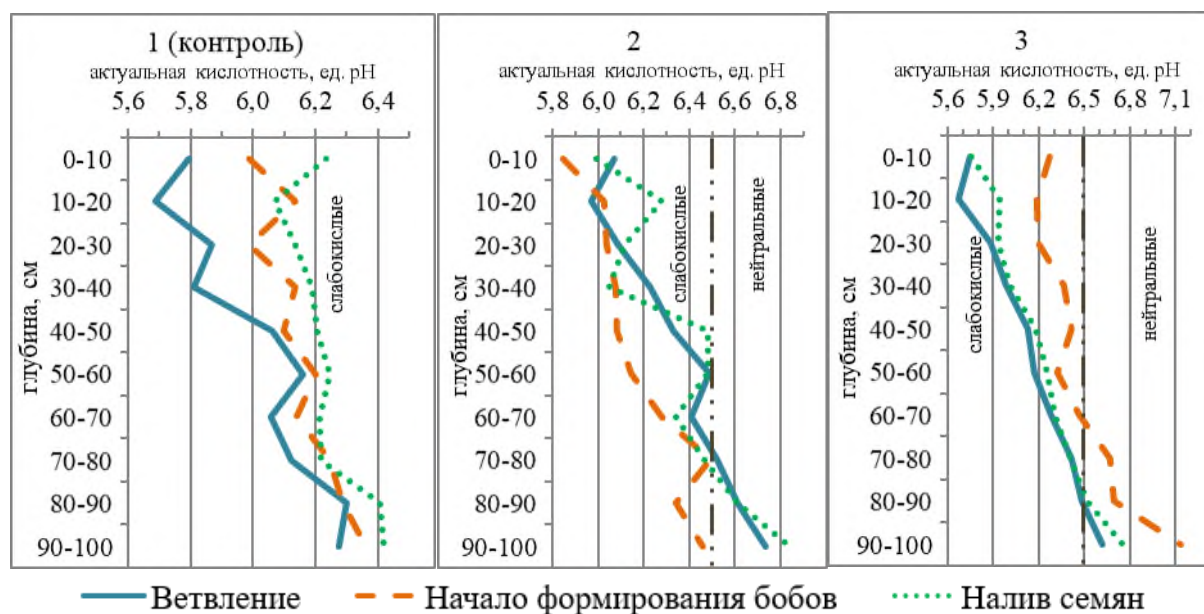


Рисунок 15 – Актуальная кислотность почвы под соей в зависимости от системы обработки почвы, в среднем 2020-2022 гг.

В среднем в течение периода вегетации растений сои значение рН на контроле (6,14 ед.) было самым низким среди исследуемых вариантов. Выше, чем на системе со вспашкой, показатель реакции почвенного раствора был на системе с безотвальным рыхлением на (2,65%) – 6,30 ед. и на системе с дискованием (2,25%) – 6,27 ед. Вероятно, что применение вспашки приводит к интенсификации процессов окисления и минерализации органических веществ, что может способствовать повышению кислотности. Кроме того, в результате интенсивного перемешивания почвы при глубоких обработках происходит вынос из нее элементов, способствующих нейтрализации кислотности (например кальция), что в итоге может привести к более высокой актуальной кислотности (Табл. 10). Дисперсионный анализ показал, что и система с безотвальным рыхлением, и система с дискованием достоверно отличались от контроля по влиянию, оказываемому в течение периода вегетации растений на актуальную кислотность почвы под соей ($НСР_{05} = 0,07$ ед.).

Водная вытяжка позволяет извлекать из почвы только часть ионов водорода, наиболее подвижную. Прочно связанные с твердой фазой почвы ионы водорода и алюминия (находящиеся в почвенном поглощающем комплексе) можно извлечь только растворами нейтральных (1 н. раствор КСl) и щелочных (1 н. раствор CH_3COONa) солей. Кислотность почвы, определяемая количеством ионов H^+ и Al^{3+} , находящихся в почвенном поглощающем комплексе, называется потенциальной (скрытой). Потенциальная кислотность подразделяется на обменную и гидролитическую [133].

Обменная кислотность почвы – разновидность потенциальной кислотности почвы, обусловлена наличием на поверхности частичек почвенного поглощающего комплекса обменных катионов водорода и алюминия. По величине обменной кислотности можно определить степень кислотности почвы, нуждаемость почв в известковании и рассчитать дозу мелиоранта для поддерживающего известкования.

Обменная кислотность обусловлена относительно сильными кислотными компонентами – главным образом ионами H^+ и Al^{3+} , которые компенсируют постоянные (перманентные) отрицательные заряды почвенного поглощающего комплекса (ППК). Принято считать, что перманентные заряды ППК возникают при изоморфных замещениях в кристаллических решетках минералов. Ионы H^+ и Al^{3+} , компенсирующие эти заряды, будучи относительно сильными кислотами, легко вытесняются из ППК даже при относительно низких значениях pH, свойственных кислым почвам. Эти ионы и обуславливают обменную кислотность [185].

На системе со вспашкой в исследуемом горизонте почв 0...100 см значение показателя реакции pH_{KCl} солевой среды было среднекислым в начале периода вегетации в слоях 10...20 и 70...80 см, и в фазе налива семян в слое 60...90 см. Слабокислое значение pH_{KCl} на этом варианте в начале периода вегетации растений было в слоях 0...10, 20...70, 80...100 см; в фазе начала формирования бобов – в слоях 20...30, 80...100 см; в фазе налива семян – в слое 0...60 см. Близкое к нейтральному значение реакции солевого раствора было на контроле только в середине периода вегетации в слоях 0...20, 30...80 см.

На варианте с системой, включающей безотвальное рыхление, слабокислое значение pH_{KCl} в фазе ветвления было в слоях 0...10, 20...70, 80...90 см и в фазе налива семян во всем исследуемом горизонте почв 0...100 см. Близкое к нейтральному значение реакции солевого раствора в начале периода вегетации растений было в слоях 10...20, 70...80, 90...100 см и в фазе начала формирования бобов в слое 0...100 см.

При системе с дискованием слабокислое значение обменной кислотности в фазе ветвления было в слое 0...70 см и в фазе налива семян в слое 0...80 см. Близкое к нейтральному значение реакции солевого раствора на этом варианте в начале вегетации растений сои оказалось в слое 70...100 см, в середине периода вегетации в слое 0...80 см, в конце вегетации в слое

Таблица 11 – Обменная кислотность почвы (pH_{KCl}) под соей при различных системах обработки в 2020-2022 гг., ед.

Система обработки почвы	Слой почвы, см	Фаза вегетации			Среднее
		Ветвление	Начало формирования бобов	Налив семян	
1 (контроль)	0-10	5,07	5,64	5,12	5,27
	10-20	5,02	5,61	5,17	5,27
	20-30	5,21	5,52	5,11	5,28
	30-40	5,14	5,62	5,19	5,32
	40-50	5,24	5,56	5,16	5,32
	50-60	5,31	5,60	5,15	5,35
	60-70	5,40	5,70	5,03	5,38
	70-80	5,01	5,61	4,99	5,20
	80-90	5,36	5,53	5,03	5,31
	90-100	5,13	5,52	4,94	5,20
	0-30	5,10	5,59	5,13	5,27
	30-50	5,19	5,59	5,17	5,32
	50-100	5,24	5,59	5,03	5,29
	0-100	5,19	5,59	5,09	5,29
	2	0-10	5,51	5,65	5,11
10-20		5,58	5,77	5,30	5,55
20-30		5,47	5,82	5,26	5,51
30-40		5,30	5,87	5,34	5,50
40-50		5,31	5,96	5,33	5,53
50-60		5,47	5,81	5,29	5,52
60-70		5,41	5,67	5,32	5,47
70-80		5,61	5,84	5,22	5,56
80-90		5,48	5,93	5,23	5,55
90-100		5,58	5,74	5,17	5,50
0-30		5,52	5,75	5,22	5,49
30-50		5,31	5,92	5,33	5,52
50-100		5,51	5,80	5,24	5,52
0-100		5,47*	5,81	5,26	5,51*
3		0-10	5,27	5,63	5,40
	10-20	5,30	5,80	5,25	5,45
	20-30	5,21	5,69	5,23	5,38
	30-40	5,39	5,79	5,22	5,47
	40-50	5,44	5,91	5,28	5,54
	50-60	5,47	6,01	5,54	5,67
	60-70	5,52	6,04	5,44	5,67
	70-80	5,71	5,97	5,41	5,69
	80-90	5,71	6,29	6,23	6,07
	90-100	5,66	6,56	6,20	6,14

Продолжение таблицы 11

Система обработки почвы	Слой почвы, см	Фаза вегетации			Среднее
		Ветвление	Начало формирования бобов	Налив семян	
3	0-30	5,26	5,70	5,29	5,42
	30-50	5,41	5,85	5,25	5,50
	50-100	5,61	6,17	5,76	5,85
	0-100	5,47*	5,97	5,52*	5,65*
НСР ₀₅		0,15	$F_{\phi} < F_{05}$	0,27	0,18

50...80 см. Только на системе с дискованием было нейтральное значение pH_{KCl} в слоях 80...100 см в фазах начала формирования бобов и налива семян.

Таким образом, на всех исследуемых вариантах в основном слабокислое значение обменной кислотности в фазе ветвления, к фазе начала формирования бобов увеличивалось до близкого к нейтральному, но к моменту налива семян опять становилось преимущественно слабокислым. От слоя 0...10 см к слою 90...100 см на вариантах системами, включающими глубокие обработки, не видно значительного уменьшения значения pH_{KCl} с увеличением глубины. Однако при системе со вспашкой минимальные значения в различные периоды вегетации растений сои зафиксированы преимущественно в элювиальном (подзолистом) горизонте в слое 70...100 см, в то время как при системе с безотвальным рыхлением минимальные значения этого показателя были в фазе ветвления в перегнойно-аккумулятивном переходном горизонте в слое 30...40 см, а в середине и конце вегетации – в верхнем пахотном слое 0...30 см. При системе с дискованием с увеличением глубины прослеживается преимущественно увеличение значения pH_{KCl} солевого раствора в сторону нейтральных значений.

В фазе ветвления на всех исследуемых вариантах в слое 0...100 см значение обменной кислотности – слабокислое: на системе – 5,19 ед. со вспашкой, на системе с безотвальным рыхлением – 5,47 ед. и системе с дискованием. В результате дисперсионного анализа установлено, что в этот

период от контроля достоверно отличались по влиянию, оказываемому на актуальную кислотность почвы, как система с безотвальным рыхлением, так и система с дискованием ($НСР_{05} = 0,15$ ед.).

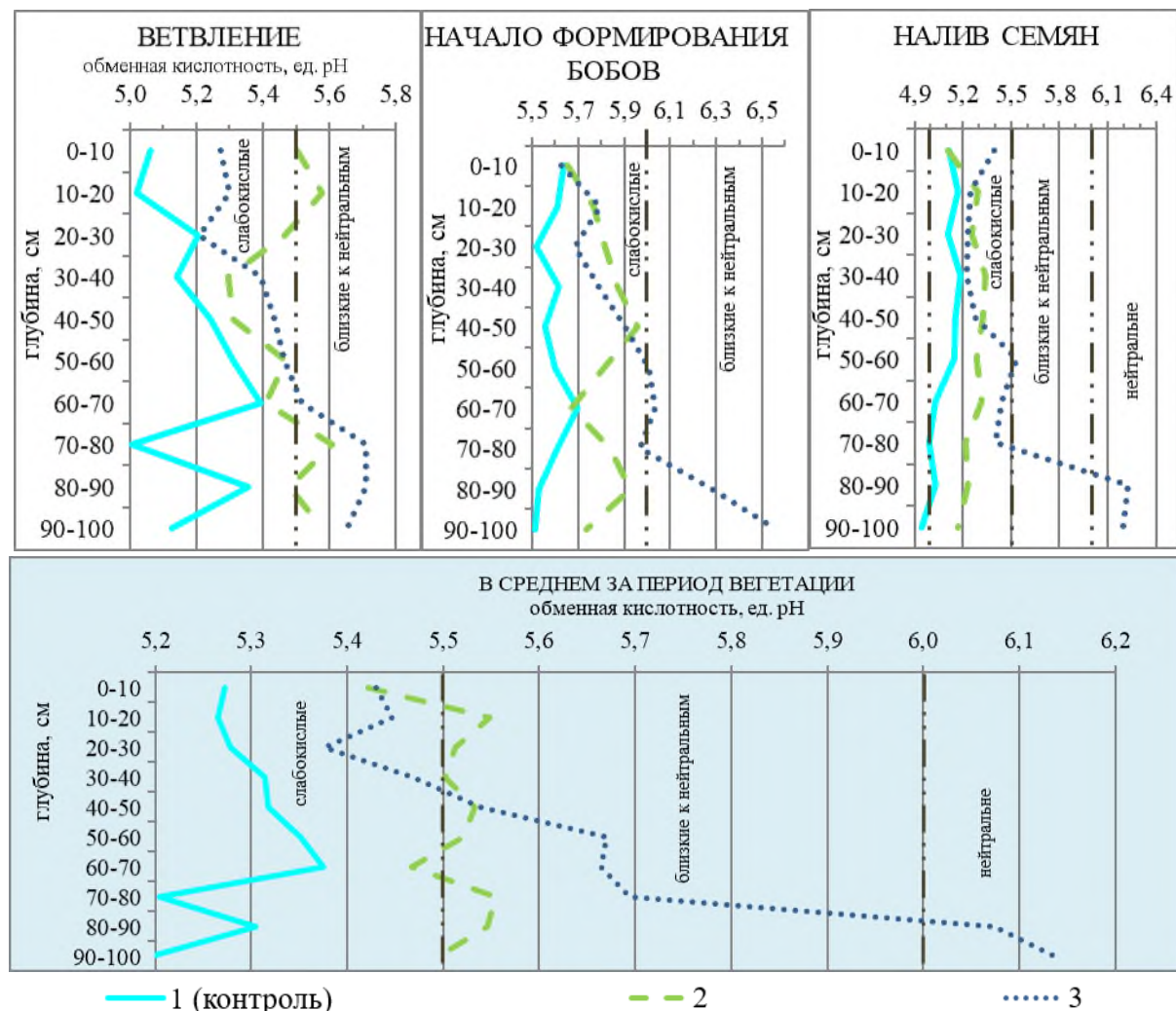


Рисунок 16 – Обменная кислотность почвы под соей в различные фазы развития растений и в среднем за вегетацию, 2020-2022 гг.

К середине периода вегетации растений сои на всех вариантах уровень $pH_{КС1}$ поднялся в среднем в слое 0...100 см до близкого к нейтральному: 5,59 ед. на системе со вспашкой, 5,81 ед. на системе с безотвальным рыхлением, 5,97 ед. на системе с дискованием. Таким образом, в сравнении с фазой ветвления, к фазе начала формирования бобов значение обменной кислотности увеличилось: на 7,50% на контроле, на 6,13% на системе с безотвальным рыхлением, на 9,14% на системе с дискованием. В то же время,

в результате дисперсионного анализа установлено, что в фазе начало формирования бобов достоверного различия между исследуемыми вариантами не было ($F_{\phi} < F_{05}$).

К наступлению фазы налива семян значение обменной кислотности в среднем в исследуемом горизонте почв 0...100 см стало слабокислым: на вариантах, включающих вспашку, – 5,09 ед., безотвальное рыхление – 5,26 ед., дискование – 5,52 ед. В сравнении с серединой периода вегетации на всех вариантах значение реакции солевого раствора уменьшилось на системах со вспашкой, безотвальным рыхлением и дискованием соответственно на 8,97%, 9,48% и 7,51%. Дисперсионный анализ показал, что достоверное различие по влиянию, оказываемому в этот период на обменную кислотность почвы под соей, есть между контрольным вариантом и системой с применением дискования ($HCp_{05} = 0,27$ ед.) (Рис. 16).

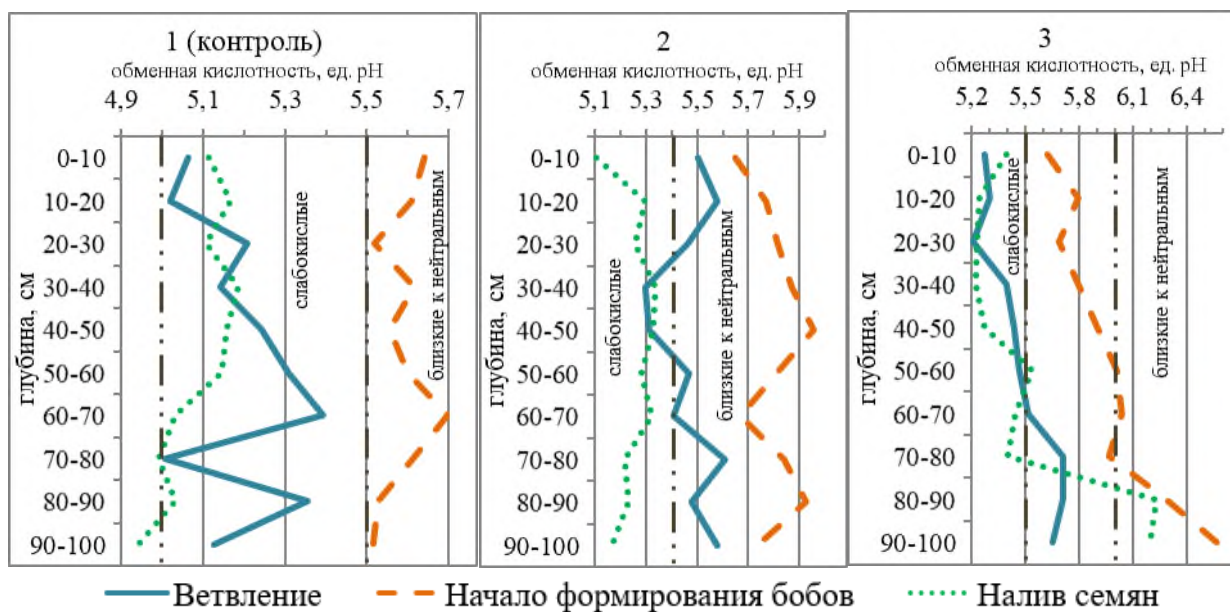


Рисунок 17 – Обменная кислотность почвы под соей в зависимости от системы обработки почвы, в среднем 2020-2022 гг.

В среднем в течение периода вегетации растений сои на контроле значение pH_{KCl} (5,29 ед). оказалось ниже, чем на других вариантах. Выше, чем на системе со вспашкой, показатель реакции почвенного раствора был на

системе с безотвальным рыхлением (на 4,20%) – 5,51 ед. и на системе с дискованием (на 6,85%) – 5,65 ед. Применение глубоких обработок почвы показало более высокие значения обменной кислотности по сравнению с системой, включающей дискование, что может быть связано с происходящими процессами высвобождения и накопления органических кислот, способствующими увеличению уровня обменной кислотности в верхних слоях почвы. Дискование, в свою очередь, не переворачивает почву, а лишь разрыхляет верхний слой, что минимизирует разрушение структуры и сохраняет органическое вещество. Дисперсионный анализ показал, что все исследуемые варианты достоверно отличались по влиянию, оказываемому в течение периода вегетации на обменную кислотность почвы под соей ($НСР_{05} = 0,18$ ед.) (Табл. 11, Рис. 17).

Гидролитическая кислотность (рН-зависимая) определяется как общая кислотность, включающая актуальную, обменную и гидролитическую. При отсутствии актуальной и обменной кислотности гидролитическая кислотность не вредна для растений и микроорганизмов. Это отмечается на всех черноземах, кроме южных. Гидролитическая кислотность имеет определяющее значение при определении степени насыщенности почв основаниями и для обоснования замены суперфосфатов фосфоритной мукой (фосфоритование).

Гидролитическая кислотность связана с переменными (рН-зависимыми) зарядами ППК. В сущности переменные заряды ППК или переменная емкость катионного обмена часто обусловлены компонентами, которые обладают свойствами слабых кислот. Слабые кислоты приобретают способность к диссоциации при относительно высоких значениях рН, часто не свойственных самой почве. При диссоциации кислотных компонентов в жидкой фазе появляется ион водорода, а ППК приобретает дополнительный отрицательный заряд. Среди компонентов, обуславливающих рН-зависимую кислотность, выделяют различные $AlOH$ -полимеры, аллофаноподобные вещества,

закрепленные на внешних и внутренних поверхностях почвенных минералов, функциональные группы органических соединений и др.

Термин «рН-зависимая кислотность» адекватно отражает природу этого вида почвенной кислотности. В России этот вид почвенной кислотности называют гидролитической в связи с тем, что ее определяют, используя раствор гидролитически щелочной соли (1 н раствор ацетата натрия). Этот термин, по-видимому, менее удачен, так как не отражает природы той части почвенной кислотности, которая оценивается указанным методом. Следует отметить, что при использовании обоих терминов имеют в виду не собственно рН-зависимую, или гидролитическую, кислотность, а ее сумму с обменной, так как методы, используемые для ее оценки, позволяют провести лишь совместное определение рН-зависимой и обменной кислотности [133].

На варианте с системой, включающей вспашку, значение показателя реакции H_T в начале периода вегетации растений сои слое 0...30 см было сильнокислым. Среднекислое значение рН-зависимой кислотности было на этом варианте преимущественно в пахотном слое: в фазе ветвления в слое 30...40 см, в фазе начала формирования бобов в слое 0...20 см, в фазе налива семян в слое 0...30 см. Слабокислое значение гидролитической кислотности отмечено в основном в перегнойно-аккумулятивном переходном горизонте: в начале периода вегетации в слое почвы 40...90 см, в середине вегетации растений в слое 20...70 см, в фазе налив семян в слое 30...50 см. Преимущественно близкое к нейтральному значение показателя реакции H_T на контрольном варианте было в элювиальном (подзолистом) горизонте: в фазе ветвления в слое 90...100 см, в середине периода вегетации в слое 70...100 см, в ближе к концу периода вегетации в слое 50...100 см.

При системе с безотвальным рыхлением очень сильнокислое значение гидролитической кислотности отмечено в фазе налива семян в слое 20...30 см. Сильнокислое значение рН-зависимой кислотности также было в фазе налива семян, но только в слое 0...10 см. Среднекислое значение H_T было отмечено на этом варианте в начале периода вегетации растений в слое 10...20 см и

Таблица 12 – Гидролитическая кислотность почвы (H_T) под соей при различных системах обработки в 2020-2022 гг., ед.

Система обработки почвы	Слой почвы, см	Фаза вегетации			Среднее
		Ветвление	Начало формирования бобов	Налив семян	
1 (контроль)	0-10	5,85	4,41	4,49	4,92
	10-20	6,00	4,08	4,35	4,81
	20-30	5,96	3,78	4,73	4,82
	30-40	4,71	3,78	3,98	4,15
	40-50	4,00	3,75	3,67	3,81
	50-60	3,40	3,09	2,87	3,12
	60-70	3,86	3,13	2,58	3,19
	70-80	3,34	2,77	3,02	3,04
	80-90	3,37	2,79	2,40	2,85
	90-100	2,52	2,52	2,10	2,38
	0-30	5,94	4,09	4,52	4,85
	30-50	4,35	3,76	3,82	3,98
	50-100	3,30	2,86	2,59	2,92
	0-100	4,30	3,41	3,42	3,71
2	0-10	3,92	2,55	5,11	3,86
	10-20	4,26	2,28	4,42	3,65
	20-30	3,76	2,66	6,29	4,24
	30-40	3,14	2,45	4,53	3,37
	40-50	2,95	2,58	3,41	2,98
	50-60	2,70	1,82	2,63	2,39
	60-70	2,60	2,05	2,83	2,49
	70-80	2,80	1,71	2,35	2,29
	80-90	2,15	2,05	1,62	1,94
	90-100	1,99	1,68	1,49	1,72
	0-30	3,98	2,50	5,27	3,92
	30-50	3,05	2,52	3,97	3,18
	50-100	2,45	1,86	2,18	2,16
	0-100	3,03*	2,18*	3,47	2,89*
3	0-10	4,62	3,67	5,55	4,61
	10-20	4,27	3,22	4,56	4,02
	20-30	4,20	3,57	4,60	4,12
	30-40	3,93	3,05	3,72	3,56
	40-50	4,00	2,53	3,45	3,32
	50-60	3,37	2,37	3,28	3,01
	60-70	3,40	2,51	2,96	2,95
	70-80	3,21	1,76	3,18	2,72
	80-90	2,69	1,83	2,60	2,37
	90-100	2,65	1,66	2,78	2,36

Продолжение таблицы 12

Система обработки почвы	Слой почвы, см	Фаза вегетации			Среднее
		Ветвление	Начало формирования бобов	Налив семян	
3	0-30	4,36	3,48	4,90	4,25
	30-50	3,96	2,79	3,58	3,44
	50-100	3,06	2,03	2,96	2,68
	0-100	3,63*	2,62*	3,67	3,30*
НСР ₀₅		0,42	0,58	F _ф < F ₀₅	0,26

ближе к концу вегетации в слоях 10...20 и 30...40 см. Слабокислой гидролитическая кислотность была преимущественно в перегнойно-аккумулятивном переходном горизонте в фазе ветвления в слоях 0...10, 20...40 см, в фазе налива семян в слое 40...50 см. Близким к нейтральному значению H_T было в начале периода вегетации в слое 40...90 см, в середине вегетации растений сои в слоях 0...50, 60...70, 80...90 см, в конце вегетации в слое 50...80 см. Нейтральное значение гидролитической кислотности было в основном в элювиальном (подзолистом) горизонте: в фазе ветвления в слое 40...90 см, в фазе начала формирования бобов в слоях 50...60, 70...80, 90...100 см, в фазе налива семян в слое 80...100 см.

На варианте с системой с дискованием сильнокислое значение гидролитической кислотности, так же, как и на системе с безотвальным рыхлением, было в фазе налива семян в слое почв 0...10 см. Среднекислое значение H_T определялось в пахотном горизонте в начале периода вегетации растений сои в слое почвы 0...30 см и в конце периода вегетации в слое 10...30 см. Слабокислым значение H_T раствора было в фазе ветвления в слое 30...80 см, в фазе начала формирования бобов в слое 0...40 см, в фазе налива семян в слоях 30...60, 70...80 см. Близкое к нейтральному значение гидролитической кислотности было в перегнойно-аккумулятивном переходном и элювиальном (подзолистом) горизонтах: в начале периода вегетации в слое 80...100 см, в середине – в слое 40...70 см, ближе к концу вегетации растений сои в слоях 60...70 см, 80...100 см. Нейтральным значение H_T раствора было только в

элювиальном (подзолистом) горизонте в фазе начала формирования бобов в слое 70...100 см.

От слоя 0...10 см к слою 90...100 см, независимо от системы обработки почвы, наблюдалось изменение значений H_T раствора от кислых к нейтральным.

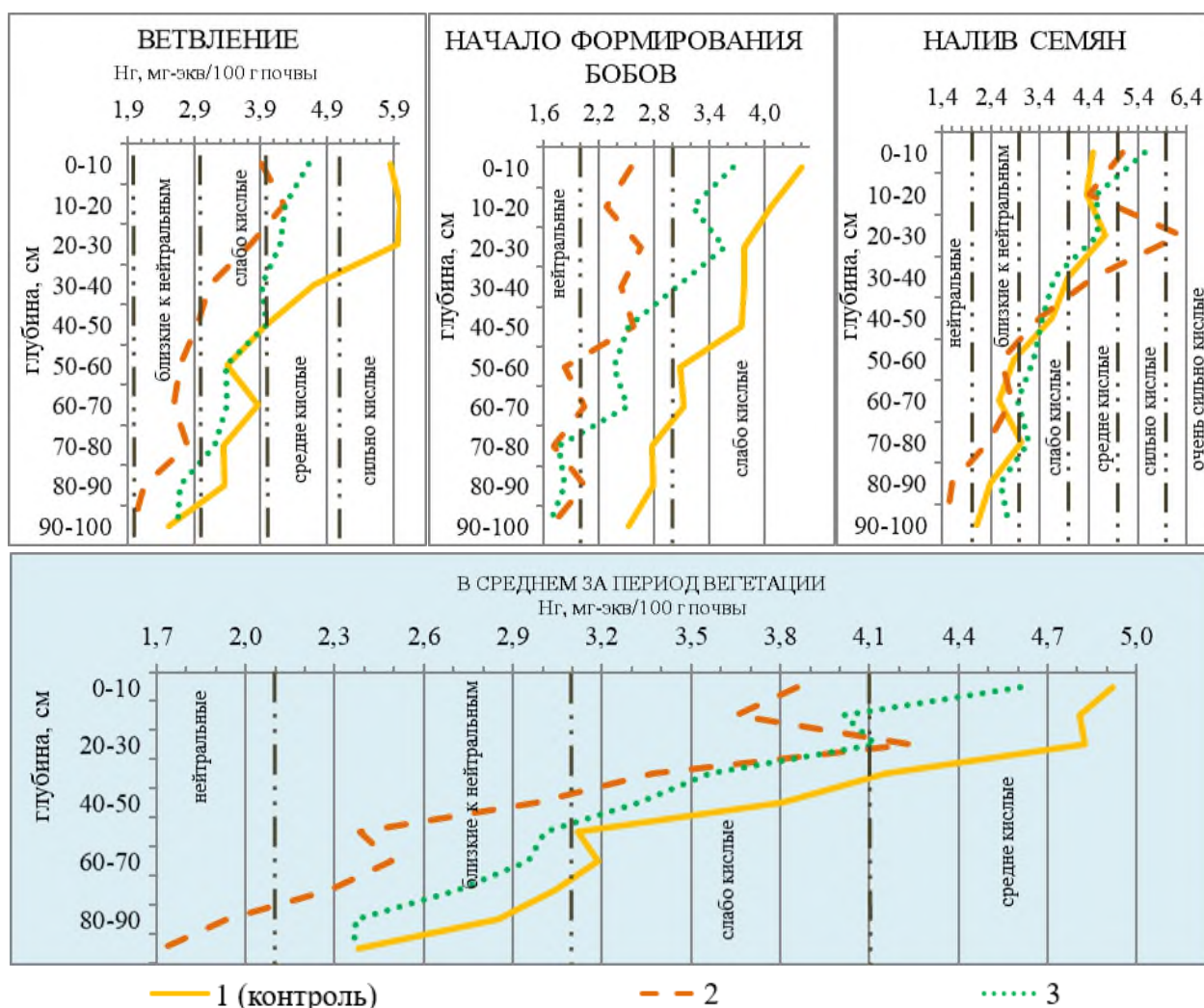


Рисунок 18 – Гидролитическая кислотность почвы под соей в различные фазы развития растений и в среднем за период вегетации, 2020-2022 гг.

В фазе ветвления в среднем в слое 0...100 см на варианте системы со вспашкой среднекислое значение гидролитической кислотности было с показателем 4,30 ед., в то время как на системе с безотвальным рыхлением значение H_T было близким к нейтральному с показателем 3,03 ед., а на системе

с дискованием – слабокислым со значением 3,63 ед. В результате дисперсионного анализа установлено, что в этот период все исследуемые системы обработки почвы достоверно отличались по влиянию, оказываемому на гидролитическую кислотность почвы ($НСР_{05} = 0,42$ ед.).

К середине периода вегетации растений сои в среднем в исследуемом горизонте почв на системе со вспашкой гидролитическая кислотность стала слабокислой со значением 3,41 ед. При системе с безотвальным рыхлением она, в сравнении с фазой ветвления, не изменилась и осталась близкой к нейтральной, но со значением 2,18 ед. На варианте с системой, включающей дискование, значение H_T стало близким к нейтральному с показателем 2,62 ед. В сравнении с началом периода вегетации на исследуемых вариантах гидролитическая кислотность стремилась к нейтральным показателям и стала меньше при системе со вспашкой – 0,89 ед., при системе с безотвальным рыхлением – 0,84 ед., при системе с дискованием – 1,02 ед. Дисперсионный анализ показал, что аналогично началу периода вегетации растений все исследуемые системы обработки почвы достоверно отличались по влиянию, оказываемому на гидролитическую кислотность почвы ($НСР_{05} = 0,58$ ед.).

К фазе налива семян значение показателя реакции H_T было слабокислым: при системах со вспашкой – 3,42 ед., безотвальным рыхлением – 3,47 ед., дискованием – 3,67 ед. От середины к концу периода вегетации гидролитическая кислотность изменялась в сторону более кислых значений, на контрольном варианте показатель увеличился очень незначительно – на 0,01 ед., на системе с безотвальным рыхлением – на 1,28 ед., на системе с дискованием – 1,05 ед. Установлено, в этот период достоверного различия между вариантами опыта не было ($F_{\phi} < F_{05}$) (Табл. 12, Рис. 18).

В среднем в течение периода вегетации растений сои на контроле значение H_T оказалось наиболее кислым в сравнении с другими вариантами и было слабокислым с показателем 3,71 ед. При системе с безотвальным рыхлением среднее значение гидролитической кислотности отличалось от контроля на 26,14% и было близким к нейтральному с показателем 2,89 ед. На

варианте с системой, включающей безотвальное рыхление, значение реакции было аналогично системе со вспашкой слабокислым (3,30 ед.), отличаясь от нее на 10,91%. Вероятно, это обусловлено тем, что применение вспашки активизирует процессы разложения органических веществ и увеличивает аэрацию, что приводит к образованию кислот. Дискование также является методом, при котором ненарушенная структура почвы улучшает аэрацию, что может способствовать более активному разложению органических остатков и, как следствие, изменению кислотности. В то же время при безотвальном рыхлении не происходит переворачивания верхнего слоя почвы, а только его рыхление. Поскольку почва не переворачивается, доступ кислорода к глубоким слоям ограничен, что снижает активность микроорганизмов, способствующих образованию кислот. Кроме того, этот метод также способствует лучшему удержанию влаги в почве, что может снижать уровень кислотности, так как влага способствует вымыванию кислот. Дисперсионный анализ показал, что все исследуемые системы обработки почвы достоверно

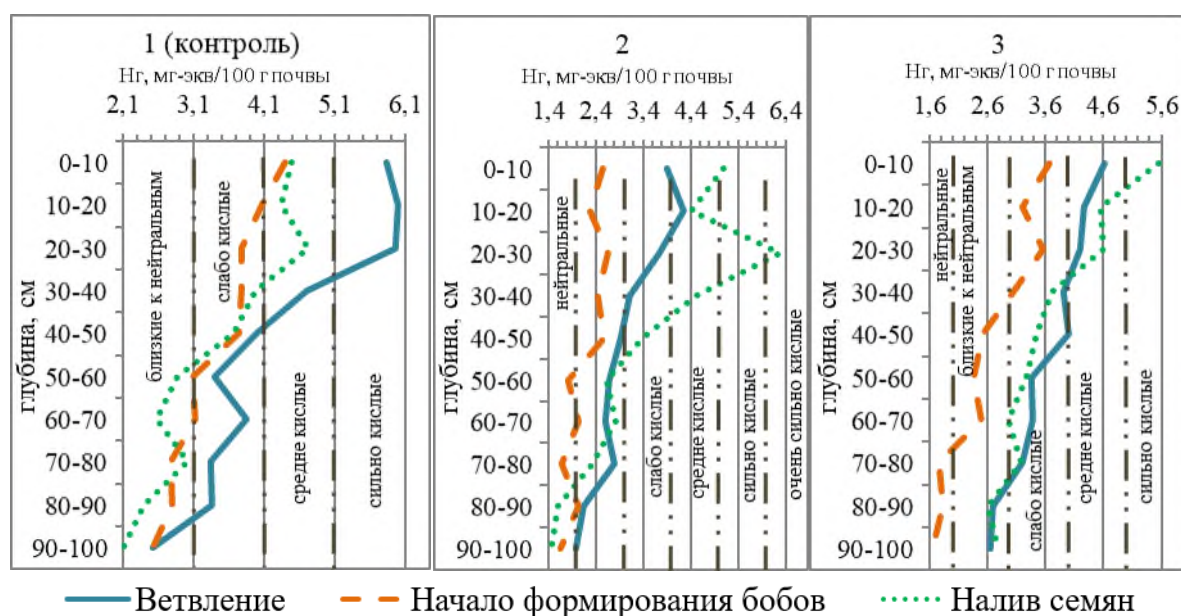


Рисунок 19 – Гидролитическая кислотность почвы под соей в зависимости от системы обработки почвы, в среднем 2020-2022 гг.

отличались по влиянию, оказываемому на гидролитическую кислотность почвы ($\text{HCP}_{05} = 0,26$ ед.) (Рис. 19).

В почвенном поглощающем комплексе почв помимо катионов водорода и алюминия, определяющих в основном почвенную кислотность, содержатся и обменные основания: Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , NH_4^+ , H^+ , Al^{3+} , Fe^{2+} , Mn^{2+} . Соотношение катионов водорода и алюминия, с одной стороны, и обменных оснований – с другой, в конечном итоге определяют реакцию почвы. Показатели гидролитической кислотности и суммы обменных оснований позволяют рассчитать степень насыщенности почвы основаниями [185].

Сумма обменных оснований (мг-экв/100 г почвы) – суммарное содержание обменных оснований (преимущественно Ca^{2+} и Mg^{2+}) в некарбонатных незасоленных, преимущественно кислых почвах, вытесненных ионом водорода соляной кислоты. Ионы H^+ и Al^{3+} не учитываются (не суммируются) [3].

В начале периода вегетации растений сои сумма обменных оснований на контрольном варианте была 28,00 мг-экв/100 г почвы – больше системы с безотвальным рыхлением на 2,46%, но меньше системы с дискованием на 2,11%. Таким образом, в фазе ветвления, сумма обменных оснований (S) в почве не сильно отличалась по всем исследуемым вариантам. Это объясняется тем, что в этот период происходит активное усвоение питательных веществ растениями, и почва, независимо от метода обработки, достигает определенного уровня насыщенности обменными основаниями. Кроме того, влажные условия и высокая температура могут способствовать активизации деятельности микроорганизмов, что приводит к равномерному распределению питательных веществ независимо от метода обработки. В то же время проведенный дисперсионный анализ показал, что от контрольного варианта отличалось по влиянию, оказываемому в этот период на сумму обменных оснований в почве, безотвальное рыхление ($\text{HCP}_{05} = 0,66$ мг-экв/100 г почвы).

К фазе начала формирования бобов на варианте с системой, включающей вспашку, в сравнении с началом периода вегетации оснований в

Таблица 13 – Сумма обменных оснований в почве (S) при различных системах обработки в 2020-2022 гг., мг-экв/100 г почвы

Система обработки почвы	Слой почвы, см	Фаза вегетации			Среднее
		Ветвление	Начало формирования бобов	Налив семян	
1 (контроль)	0-10	29,44	17,86	25,23	24,18
	10-20	29,00	16,71	24,99	23,57
	20-30	29,10	15,10	26,56	23,59
	30-40	29,26	15,21	23,40	22,62
	40-50	25,62	14,05	21,73	20,46
	50-60	28,54	14,99	22,30	21,94
	60-70	26,02	15,38	24,08	21,83
	70-80	28,08	15,12	21,70	21,63
	80-90	28,84	15,17	22,84	22,29
	90-100	26,07	14,57	26,15	22,26
	0-30	29,18	16,56	25,60	23,78
	30-50	27,44	14,63	22,56	21,54
	50-100	27,51	15,04	23,41	21,99
	0-100	28,00	15,41	23,90	22,44
2	0-10	29,55	28,08	24,04	27,22
	10-20	27,63	29,11	25,05	27,26
	20-30	29,35	26,99	24,42	26,92
	30-40	25,54	29,16	23,67	26,12
	40-50	25,23	27,25	25,57	26,01
	50-60	27,07	27,40	24,89	26,45
	60-70	26,68	27,00	22,04	25,24
	70-80	28,79	28,50	22,57	26,62
	80-90	26,95	24,63	20,17	23,91
	90-100	26,31	21,05	23,22	23,53
	0-30	28,84	28,06	24,50	27,13
	30-50	25,38	28,20	24,62	26,07
	50-100	27,16	25,71	22,58	25,15
	0-100	27,31*	26,92*	23,56	25,93*
3	0-10	28,94	26,72	36,23	30,63
	10-20	27,39	22,05	39,19	29,54
	20-30	28,40	20,62	38,53	29,18
	30-40	28,69	23,76	38,42	30,29
	40-50	25,84	21,18	38,79	28,60
	50-60	27,23	20,31	36,63	28,06
	60-70	29,32	24,55	39,04	30,97
	70-80	28,40	24,28	36,73	29,80
	80-90	32,59	26,78	38,25	32,54
	90-100	29,09	17,17	36,16	27,47

Продолжение таблицы 13

Система обработки почвы	Слой почвы, см	Фаза вегетации			Среднее
		Ветвление	Начало формирования бобов	Налив семян	
3	0-30	28,24	23,13	37,98	29,78
	30-50	27,26	22,47	38,60	29,44
	50-100	29,33	22,62	37,36	29,77
	0-100	28,59	22,74*	37,80*	29,71*
НСР ₀₅		0,66	1,42	0,42	0,60

почве стало на 44,94% меньше – 15,41 мг-экв/100 г почвы. При этом на системе с безотвальным рыхлением значение S практически не изменилось и было в этот период 26,92 мг-экв/100 г почвы, что оказалось меньше начала периода вегетации только на 1,44%. В сравнении с системой со вспашкой на системе с безотвальным рыхлением в середине вегетации растений обменных оснований в почве было на 74,61% больше. На системе с дискованием от фазы ветвления до фазы начала формирования бобов также происходило расходование обменных оснований из почвы: их стало 22,74 мг-экв/100 г, то есть на 20,45% меньше. В сравнении с контролем этот вариант содержал в почве оснований больше на 47,53%. Проведенный дисперсионный анализ показал, что по в фазе начала формирования бобов все исследуемые варианты отличались между собой по влиянию, оказываемому на сумму обменных оснований в почве (НСР₀₅ = 1,42 мг-экв/100 г почвы).

От середины к концу периода вегетации растений сои сумма обменных оснований (S) при системе со вспашкой увеличилась на 55,03% и составила 23,90 мг-экв/100 г почвы. При этом на системе с безотвальным рыхлением продолжилось незначительное расходование S из почвы: к фазе налива семян сумма обменных оснований стала меньше на 12,46% и составила 23,56 мг-экв/100 г почвы. На системе с безотвальным рыхлением обменных оснований в почве оказалось очень незначительно меньше контроля – на 1,41%. Аналогично системе со вспашкой при системе с дискованием к концу периода вегетации произошло увеличение S в почве – на 66,20%, в итоге их сумма

составила 37,80 мг-экв/100 г почвы. Это значение оказалось выше контроля на 58,16%. Проведенный дисперсионный анализ показал, что в фазе налива семян достоверно от контроля отличалась только система с дискованием ($HCp_{05} = 0,42$ мг-экв/100 г почвы) (Рис. 20).

В среднем в течение периода вегетации растений сои на контроле значение S 22,44 мг-экв/100 г почвы было самым низким среди исследуемых вариантов. Выше, чем на системе со вспашкой, сумма обменных оснований была при системе с безотвальным рыхлением (на 15,56%) – 25,93 мг-экв/100 г почвы и при системе с дискованием (на 32,41%) – 29,71 мг-экв/100 г почвы.

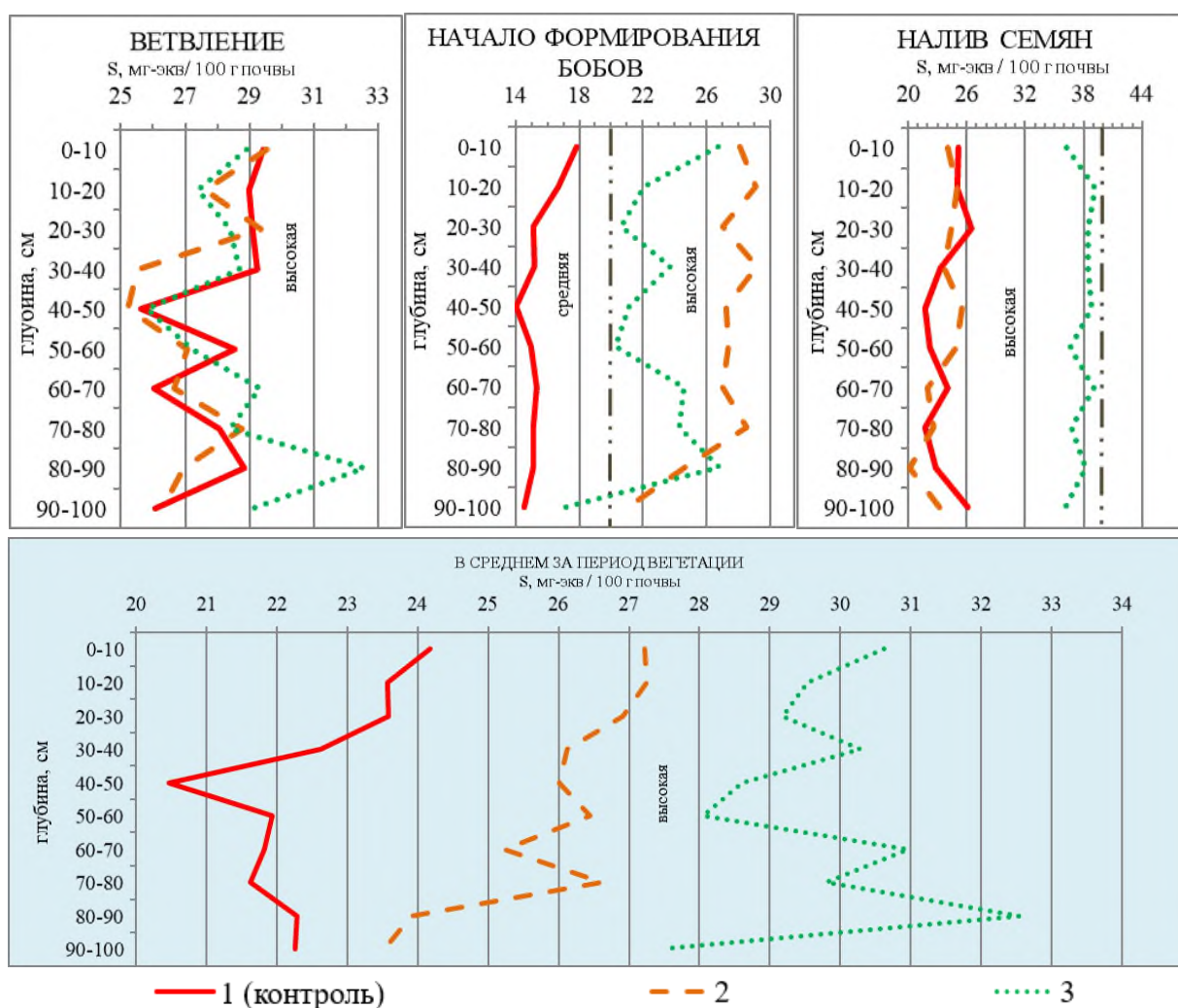


Рисунок 20 – Сумма обменных оснований в почве под соей в различные фазы развития растений и в среднем за период вегетации, 2020-2022 гг.

Видно, что сумма обменных оснований (S) в почве при системе со вспашкой на различных глубинах колеблется, и минимальное значение наблюдается в слое 40...50 см, в то время как при системах с безотвальным рыхлением и дискованием наименьшие показатели – в слое 90...100 см. Это может быть связано с тем, что при применении вспашки происходит интенсификация процессов выщелачивания, что приводит к потере катионов из верхних слоев почвы. Кроме того, вспашка может нарушать естественную структуру почвы и ухудшать её аэрируемость, что также негативно сказывается на содержании обменных оснований. Безотвальное рыхление и дискование, напротив, вероятно, способствовали сохранению и увеличению суммы обменных оснований благодаря меньшему нарушению структуры почвы и повышению биологической активности. Проведенный дисперсионный анализ показал, что в фазе налива семян все исследуемые варианты отличались между собой по влиянию, оказываемому на сумму обменных оснований в почве ($НСР_{05} = 0,60$ мг-экв/100 г почвы) (Табл. 13, Рис. 21).

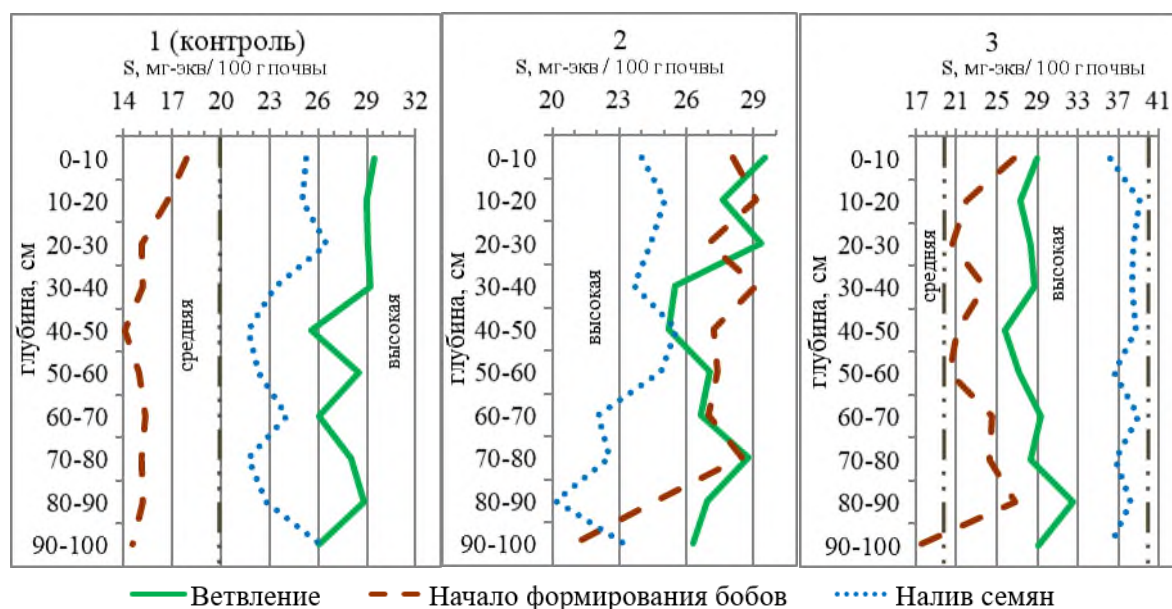


Рисунок 21 – Сумма обменных оснований в почве под соей в зависимости от системы обработки почвы, в среднем 2020-2022 гг.

Если сумму поглощенных катионов Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , NH_4 и других оснований сложить с катионами H^+ , Al^{3+} , Fe^{3+} , Mn^{2+} , обуславливающими гидролитическую кислотность, то можно определить (в мг-экв/100 г почвы) емкость катионного обмена (ЕКО).

Степень насыщенности почвы основаниями – показатель нуждаемости почв в известковании. Чем он ниже, тем выше необходимость внесения извести (Табл. 12) [108, с. 14].

Сумму поглощенных оснований, выраженную в процентах от ЕКО, называют степенью насыщенности почвы основаниями и определяют по формуле [183, с. 143]

$$V = \frac{S * 100}{S + H_{\Gamma}}$$

где V – степень насыщенности почв основаниями, %;

S – сумма поглощенных оснований, мг-экв/ 100 г почвы;

H_{Γ} – гидролитическая кислотность, ед. рН.

В результате проведенных исследований установлено, что в начале периода вегетации растений на контрольном варианте степень насыщенности основаниями была наименьшей среди вариантов (86,84%), в то время как на системах с безотвальным рыхлением и дискованием этот показатель был соответственно 90,09 и 88,69%.

От фазы ветвления до фазы начала формирования бобов только при системе со вспашкой зафиксировано уменьшение V почвы на 5,60% до 81,98%. При системе с безотвальным рыхлением отмечен рост уровня насыщенности почв основаниями на 2,68% до 92,50%. Таким образом, система с безотвальным рыхлением показала большую насыщенность основаниями в сравнении с контролем в этом периоде на 12,83%. Незначительный рост V отмечен и при системе с дискованием – на 1,11% до 89,67%, и этот показатель был выше, чем на системе со вспашкой, в фазе начала формирования бобов на 9,38%.

Таблица 14 – Степень насыщенности почвы под соей основаниями (V) при различных системах обработки в 2020-2022 гг., %

Система обработки почвы	Слой почвы, см	Фаза вегетации			Среднее
		Ветвление	Начало формирования бобов	Налив семян	
1 (контроль)	0-10	83,42	80,20	84,89	82,83
	10-20	82,85	80,39	85,17	82,80
	20-30	82,99	79,98	84,88	82,62
	30-40	86,13	80,11	85,48	83,91
	40-50	86,50	78,93	85,56	83,66
	50-60	89,36	82,90	88,61	86,96
	60-70	87,09	83,09	90,33	86,84
	70-80	89,38	84,51	87,77	87,22
	80-90	89,54	84,48	90,49	88,17
	90-100	91,18	85,25	92,56	89,66
	0-30	83,09	80,19	84,98	82,75
	30-50	86,32	79,52	85,52	83,78
	50-100	89,31	84,05	89,95	87,77
	0-100	86,84	81,98	87,57	85,47
2	0-10	88,30	91,68	82,47	87,48
	10-20	86,65	92,74	85,01	88,13
	20-30	88,64	91,02	79,51	86,39
	30-40	89,05	92,25	83,95	88,42
	40-50	89,53	91,35	88,23	89,70
	50-60	90,92	93,76	90,44	91,71
	60-70	91,11	92,96	88,61	90,89
	70-80	91,14	94,35	90,58	92,02
	80-90	92,62	92,32	92,59	92,51
	90-100	92,96	92,62	93,99	93,19
	0-30	87,86	91,81	82,33	87,33
	30-50	89,29	91,80	86,09	89,06
	50-100	91,75	93,20	91,24	92,06
	0-100	90,09	92,50	87,54	90,04
3	0-10	86,24	87,94	86,72	86,97
	10-20	86,51	87,27	89,57	87,78
	20-30	87,13	85,23	89,34	87,23
	30-40	87,97	88,64	91,18	89,26
	40-50	86,59	89,34	91,84	89,26
	50-60	88,98	89,55	91,78	90,10
	60-70	89,62	90,73	92,95	91,10
	70-80	89,86	93,23	92,03	91,71
	80-90	92,37	93,61	93,64	93,21
	90-100	91,65	91,20	92,85	91,90
	0-30	86,63	86,82	88,54	87,33
	30-50	87,28	88,99	91,51	89,26
	50-100	90,50	91,66	92,65	91,60
	0-100	88,69	89,67	91,19	89,85

К фазе налива семян на контрольном варианте степень насыщенности почв основаниями увеличилась в сравнении с предыдущим периодом вегетации растений сои на 6,82%, достигнув показателя 87,57%. Из всех вариантов только на системе с безотвальным рыхлением к этому моменту произошло снижение V , на 5,37% и насыщенность основаниями составила 87,54%, что оказалось очень незначительно меньше контроля – на 0,04%. При системе с дискованием, как и при системе со вспашкой, V к периоду налива семян увеличилась на 1,69% и составила 91,19%, и этот показатель был выше контроля на 4,13%.

Видно, что на всех исследуемых вариантах в среднем в горизонте почв 0...100 см в течение периода вегетации растений сои степень насыщенности основаниями оказалась выше 70%, таким образом не выявлено потребности в известковании почвы. Отсутствие нуждаемости почв в известковании при использовании различных систем обработки может быть связано с тем, что значения рН и содержание обменных оснований находятся в оптимальных пределах, обеспечивающих нормальное развитие растений.

На всех вариантах от слоя 0...10 см, где была наиболее низкая степень насыщенности основаниями, к слою 90...100 см наблюдалось преимущественно увеличение этого показателя. Это, вероятно, обусловлено тем, что в более глубоких слоях почвы происходит накопление оснований, которые могут не быть доступны в верхних слоях из-за вымывания, потребления растениями. С увеличением глубины уменьшается влияние внешних факторов, что позволяет основаниям накапливаться (Табл. 14).

Заключение к главе 3. В ходе проведенного исследования было проанализировано влияние различных систем обработки почвы на агрофизические и агрохимические показатели.

Установлено, что увеличение глубины обработки способствует разрыхлению, что, в свою очередь, дает в результате снижение плотности выщелоченного чернозема. На протяжении периода вегетации растений наблюдалось увеличение плотности почвы, вызванное процессом

самоуплотнения. Наиболее оптимальные условия в слое 0...50 см были получены на системах с применением глубоких способов обработки почвы (при вспашке – 1,11 г/см³, при безотвальном рыхлении – 1,14 г/см³) в сравнении с более мелкой (при дисковании – 1,22 г/см³), что подтверждается статистическими данными ($НСР_{05} = 0,01$ г/см³).

В среднем за годы исследований уровень доступной влаги в исследуемом горизонте почв в слое 0...50 см на контроле был 42,99 мм, что было меньше, чем при системе с безотвальным рыхлением (52,49 мм) или системе с дискованием (44,94 мм) на соответственно 22,09 и 4,53%. Однако в результате проведенного дисперсионного анализа значимых различий между исследуемыми факторами не установлено ($F_{\phi} < F_{05}$).

Применение системы, включающей вспашку (3,13%), способствовало накоплению в метровом слое почвы большего количества гумуса в сравнении с системами с безотвальным рыхлением (2,77%) и дискованием (2,88%). На всех вариантах от слоя 0...10 см, где было наиболее высокое содержание гумуса, наблюдалось его уменьшение, при котором к слою 90...100 см его количество в почве становилось минимальным. Влияние на обеспеченность почвы гумусом исследуемых систем обработки было достоверно отличалось, что подтверждают данные дисперсионного анализа ($НСР_{05} = 0,06$ %).

Система с отвальной обработкой создала более благоприятные условия для процессов минерализации и образования азота, что, в свою очередь, привело к увеличению концентрации нитратов в верхних слоях почвы. Однако, несмотря на эти преимущества, уровень нитратов в метровом слое почвы на контрольном варианте (9,21 мг/кг) незначительно превышал показатели систем с безотвальным рыхлением (8,18 мг/кг) и дискованием (9,00 мг/кг). Это может быть связано с условиями увлажнения почвы, которые сложились в исследуемый период (ГТК в среднем с мая по II декаду сентября в 2020-2022 гг. составил 1,97, что говорит об избыточном увлажнении). Проведенным дисперсионным анализом установлено, что в среднем

достоверных различий между системами обработки почвы в исследуемый период не было ($F_{\phi} < F_{05}$).

Применение вспашки увеличивает аэрацию почвы, что может способствовать окислению органических веществ и, как следствие, потере подвижного фосфора в виде летучих соединений. Таким образом, уровень фосфора в течение периода вегетации растений в исследуемом горизонте почв 0...100 см на контрольном варианте (48,16 мг/кг) был ниже, чем при системах с безотвальным рыхлением (51,45 мг/кг) и дискованием (49,66 мг/кг) (при $НСР_{05} = 1,13$ мг/кг).

Применение систем с глубокими обработками почвы обеспечило более благоприятные условия для накопления обменного калия в слое 0...100 см по сравнению с системой, включающей дискование. Системы со вспашкой (75,63 мг/кг) и безотвальным рыхлением (77,59 мг/кг), вероятно, способствовали лучшей аэрации, перемешиванию слоев почвы, сохранению влаги и стимуляции корневой активности. В то же время система с дискованием (70,53 мг/кг) могла способствовать уплотнению, недостаточному перемешиванию слоев и потере органического вещества (при $НСР_{05} = 2,19$ мг/кг).

Виды кислотности почвы – актуальная, обменная и гидролитическая, – представляют собой отдельные аспекты кислотно-щелочного состояния почвы, и их одновременное определение позволяет получить полное представление о ее состоянии.

Актуальная кислотность в метровом слое почвы при применении системы со вспашкой (6,14 ед.) была выше, чем при системах с безотвальным рыхлением (6,30 ед.) и дискованием (6,27 ед.) (при $НСР_{05} = 0,07$ ед.). Обменная кислотность pH_{KCl} в исследуемом горизонте почв на контрольном варианте (5,29 ед.) была также выше систем с безотвальным рыхлением (5,51 ед.) и дискованием (5,65 ед.) (при $НСР_{05} = 0,18$ ед.). Гидролитическая кислотность $pH_{г}$ в среднем в течение периода вегетации на контроле была слабокислой с показателем 3,71 ед., в то время как на системах с безотвальным рыхлением и дискованием она составила соответственно 2,89 ед. 3,30 ед. (при $НСР_{05} = 0,26$

ед.). От слоя 0...10 см к слою 90...100 см, независимо от системы обработки почвы, наблюдалось увеличение значения рН почвенного раствора от слабокислого показателя в сторону нейтральных значений.

В среднем в течение периода вегетации растений сои на контроле значение суммы обменных оснований (S) 22,44 мг-экв/100 г почвы было самым низким среди исследуемых вариантов. Выше, чем на системе со вспашкой, сумма обменных оснований была при системах с безотвальным рыхлением (25,93 мг-экв/100 г почвы) и дискованием (29,71 мг-экв/100 г почвы) (при $НСР_{05} = 0,60$ мг-экв/100 г почвы). Однако в результате определения степени насыщенности основаниями установлено, что на всех исследуемых вариантах в среднем в горизонте почв 0...100 см в течение периода вегетации V оказалась выше 70%, таким образом не выявлено потребности в известковании почвы.

ГЛАВА 4 ЗАСОРЕННОСТЬ ПОСЕВОВ СОИ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ СИСТЕМАХ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ

Засоренность посевов разнообразными видами сорняков наносит большой вред и препятствует получению высоких урожаев. От плотности сорняков в посевах культурных растений зависит качество выращенной продукции, стоимость затрат на труд и средства производства.

Таблица 15 – Видовой состав, максимальная численность и биологическая характеристика сорных растений в посевах сои в 2020-2022 гг.

Русские названия	Латинские названия	Макс. числ., экз/м ²	Тип по росту и развитию	Срок прораст.	ЭПВ в посевах сои, шт./м ² [4]
Многолетние двудольные					
Вьюнок полевой	<i>Convolvulus arvensis</i>	12	Мн. ко. отпр.	КГ	2-3
Многолетние злаковые					
Пырей ползучий	<i>Elytrigia repens/ Agropyron repens</i>	3	Мн. корнев.	КГ	4-5
Многолетние хвощевые					
Хвощ полевой	<i>Equisetum arvense</i>	3	Мн., корнев. споров.	КГ	5-8
Однолетние двудольные					
Щирица запрокинутая	<i>Amaranthus retroflexus</i>	11	Мал., яп	В	5-15
Марь белая	<i>Chenopodium album</i>	22	Мал., яр	В-О	1-3
Редька дикая	<i>Raphanus raphanistrum</i>	12	Мал., яр	В	1-10
Ромашка непахучая	<i>Matricaria perforata</i>	11	Мал., яп (з)	О-В	5-7
Пикульник обыкновенный	<i>Galeopsis tetrahit</i>	7	Мал., яр	В	2-3
Горец вьюнковый	<i>Polygonum convolvulus</i>	7	Мал., яр	В	2-3
Горец почечуйный	<i>Polygonum persicaria</i>	5	Мал., яр	В-Л	2-3
Подмаренник цепкий	<i>Galium aparine</i>	8	Мал., яп (з)	О-В	3-5
Однолетние злаковые					
Овсюг обыкновенный	<i>Avena fatua</i>	26	Мал., яр	В	5-15
Щетинники	<i>Setaria</i>	14	Мал., яп	Л	4-5

Условные обозначения к таблице 15: Мн. корнев. - многолетний корневищный; Мн. корнев. споров. – многолетний корневищный споровый; Мн. ко. отпр. – многолетний корнеотпрысковый; Мал. яр – малолетний яровой; Мал., яп (з) – малолетний яровой поздний, зимующий. КГ – круглый год; В – весна; Л – лето; О – Осень [179].



Рисунок 22 – Видовой состав сорных растений в посевах сои до обработки гербицидом и в фазе налив семян в 2020-2022 гг.

Есть несколько факторов, доказывающих негативное влияние на культурные растения наличия в посевах сорняков. Сорная растительность является конкурентом культурной в борьбе за влагу, элементы минерального питания, а также способствует массовому развитию болезней и вредителей [84].

Общая характеристика видового состава сорной растительности в 2020-2022 гг. вне зависимости от способа обработки почвы и фазы культурного растения представлена в таблице 15. Биологические особенности сорняков указаны согласно классификации Д. Шпаара, У. Бурта, Т. Ветцеля [179, с. 297-300].

Многолетние корневищные двудольные сорняки, представляющие наибольшую опасность для посевов сои, были представлены вьюнком

полевым (*Convolvulus arvensis*), максимальная численность которого на отдельных учетных площадках была до 12 шт./м². Среди однолетних двудольных сорняков основную угрозу культурным растениям несли марь белая (*Chenopodium album*) – до 22 шт./м², редька дикая (*Raphanus raphanistrum*) – до 12 шт./м², пикульник обыкновенный (*Galeopsis tetrahit*) – до 7 шт./м², подмаренник цепкий (*Galium aparine*) – до 8 шт./м², а также щирица запрокинутая (*Amaranthus retroflexus*), ромашка непахучая (*Matricaria inodora*), горец вьюнковый (*Polygonum convolvulus*), горец почечуйный (*Polygonum persicaria*). Многолетние злаковые сорные растения были представлены пыреем ползучим (*Elytrigia repens*) – до 3 шт./м². Большая численность была однолетних злаковых, представленных овсюгом обыкновенным (*Avena fatua*) – до 26 шт./м² и щетинниками (*Setaria*) – до 14 шт./м². Кроме того, на учетных делянках встречалось многолетнее споровое травянистое растение – хвощ полевой (*Equisetum arvense* L.), до 3 шт./м² (Табл. 15, Рис. 22).

Обилие сорной растительности в посевах сои делает использование гербицидов обязательным приемом, без которого невозможно получить здоровый урожай.

Таблица 16 – Система защиты посевов сои, в зависимости от системы обработки почвы в 2020-2022 гг.

Система обработки почвы	Опрыскивание по вегетации №1 (против двудольных сорняков)	Опрыскивание по вегетации №2 (против злаковых сорняков)
	Фаза 1-3 тройчатого листа	Ветвление
1 (контроль)	Базагран, ВР (бентазон, 480 г/л) 2,0 л/га + Хармони Про, ВДГ (тифенсульфурон-метил, 750 г/кг) 0,01 кг/га + Тренд 90, Ж (водный р-р этоксилата изодецилового спирта, 900 г/л) 0,2 л/га	Пантера, КЭ (квизалофоп-П-тефурил, 40 г/л) 1 л/га
2		
3		

Первая обработка посевов сои проводилась в фазе 1-3 тройчатого листа культуры. По всем вариантам против двудольных сорняков использовалась баковая смесь: Базагран, ВР 2,0 л/га – послевсходовый контактный гербицид

против двудольных сорняков, Хармони Про, ВДГ 0,01 кг/га – системный гербицид против широколиственных сорняков, Тренд 90, Ж 0,2 л/га – поверхностно-активное вещество.

Вторая обработка посевов проводилась против злаковых сорняков по всем вариантам в фазу ветвление сои. Использовался препарат Пантера, КЭ 1 л/га – противозлаковый селективный гербицид (Табл. 16).

В течение исследуемого периода как до обработок гербицидами в фазе 1-3 тройчатого листа, так и к периоду уборки однолетних сорных растений в посевах сои было больше, чем многолетних.

Таблица 17 – Численность сорных растений в фазе 1-3 тройчатый лист по годам исследования и в среднем за 2020-2022 гг., шт./м²

Фаза вегетации: 1-3 тройчатый лист (до обработки гербицидами)		Система обработки почвы			НСР ₀₅
		1 (контроль)	2	3	
2020	Однолетние	50,25	57,00	67,50*	12,19
	Многолетние	4,50	5,00	7,50	F _φ < F ₀₅
	Всего:	54,75	62,00	75,00*	12,52
2021	Однолетние	56,25	62,25	80,75*	9,26
	Многолетние	3,75	7,50*	10,00*	3,62
	Всего:	60,00	69,75	90,75*	11,49
2022	Однолетние	43,00	63,50	85,00*	21,89
	Многолетние	3,00	8,00*	10,75*	2,69
	Всего:	46,00	71,50*	92,75*	22,61
2020- 2022	Однолетние	49,83	60,92*	77,75*	8,05
	Многолетние	3,75	6,83*	9,42*	2,19
	Всего:	53,58	67,65*	87,17*	9,99

В фазе 1-3-го тройчатого листа на контрольном варианте было отмечено меньше всего однолетних сорняков – 49,83 шт./м², в то время как на системах с безотвальным рыхлением и дискованием их было больше соответственно в 1,22 и 1,56 раза. Разница между вариантами по численности этого компонента агрофитоценоза была существенной (при НСР₀₅ = 8,05 шт./м²). Многолетних сорных растений на системе со вспашкой (3,75 шт./м²) было значительно

меньше, чем на других вариантах, и достоверно от них отличалось: в 1,82 раза меньше системы с безотвальным рыхлением и в 2,51 раза меньше системы с дискованием (при $НСР_{05} = 2,19$ шт./м²) (Табл. 17).

Таблица 18 – Численность сорных растений в фазе налива семян по годам исследования и в среднем за 2020-2022 гг., шт./м²

Фаза вегетации: наливание семян (после обработки гербицидами)		Система обработки почвы			НСР ₀₅
		1 (контроль)	2	3	
2020	Однолетние	2,50	2,25	7,50*	4,39
	Многолетние	1,25	1,50	2,75	$F_{\phi} < F_{05}$
	Всего:	3,75	3,75	10,25*	5,39
2021	Однолетние	3,00	3,00	5,00	$F_{\phi} < F_{05}$
	Многолетние	2,00	2,50	3,25	$F_{\phi} < F_{05}$
	Всего:	5,00	5,50	8,25	$F_{\phi} < F_{05}$
2022	Однолетние	2,75	4,00	5,75	$F_{\phi} < F_{05}$
	Многолетние	1,75	1,75	2,75	$F_{\phi} < F_{05}$
	Всего:	4,50	5,75	8,50	$F_{\phi} < F_{05}$
2020- 2022	Однолетние	2,75	3,08	6,08*	1,92
	Многолетние	1,67	1,92	2,92	$F_{\phi} < F_{05}$
	Всего:	4,42	5,00	9,00*	2,98

В результате гербицидных обработок численность однолетних сорных растений на контрольном варианте снизилась на 94,49%, при системе с безотвальным рыхлением на – 94,94%, на системе с дискованием на – 92,18%. При этом на варианте с системой, включающей вспашку, оказалось меньше всего сорняков (2,75 шт./м²) – на системе с безотвальным рыхлением их было больше в 1,12 раз, а на системе с дискованием в – 2,21 раза, и это различие между вариантами оказалось статистически значимым (при $НСР_{05} = 1,92$ шт./м²). Многолетних сорных растений на варианте с системой со вспашкой к концу периода вегетации растений сои стало меньше на 55,6%, на системе с безотвальным рыхлением на – 73,85%, при системе с дискованием на – 69,03%. На контроле многолетних сорных растений (1,67 шт./м²) было в 1,15 раза меньше, чем на системе с безотвальным рыхлением, и в 1,52 раза меньше, чем

на системе с дискованием. Однако статистически достоверных различий между вариантами выявлено не было ($F_{\phi} < F_{05}$) (Табл. 18).

Кроме того, в результате проведенного дисперсионного анализа установлено, что как до гербицидных обработок все исследуемые варианты различались по количеству всего сорного агрофитоценоза в посевах сои (при $НСР_{05} = 9,99$ шт./м²), так и к моменту налива семян между исследуемыми вариантами были статистически достоверные различия (при $НСР_{05} = 2,98$ шт./м²) (Табл. 17, 18).

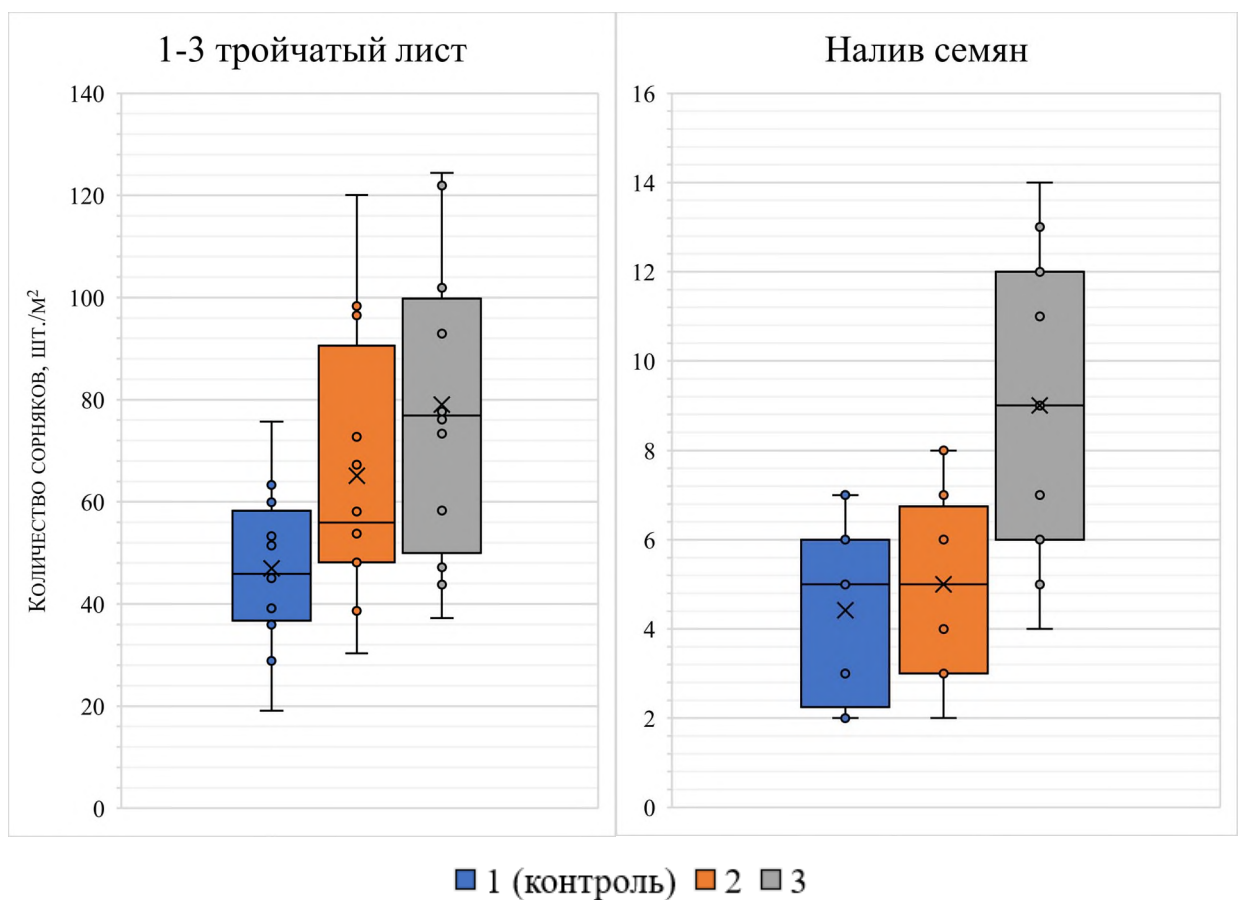


Рисунок 23 – Варьирование численности сорных растений в период исследования, 2020-2022 гг.

В фазе 1-3-го тройчатого листа наименьшим размахом варьирования численности сорных растений среди изучаемых систем обработки характеризовалась система с безотвальным рыхлением ($R = 22,0$ шт./м²), в сравнении с системой с дискованием ($R = 50,0$ шт./м²) и контрольным

вариантом ($R = 32,0$ шт./м²). К фазе налива семян на системах со вспашкой ($R = 5,0$ шт./м²) и безотвальным рыхлением ($R = 6,0$ шт./м²) размах варьирования был меньше в сравнении с системой с дискованием ($R = 10,0$ шт./м²) (Рис. 23).

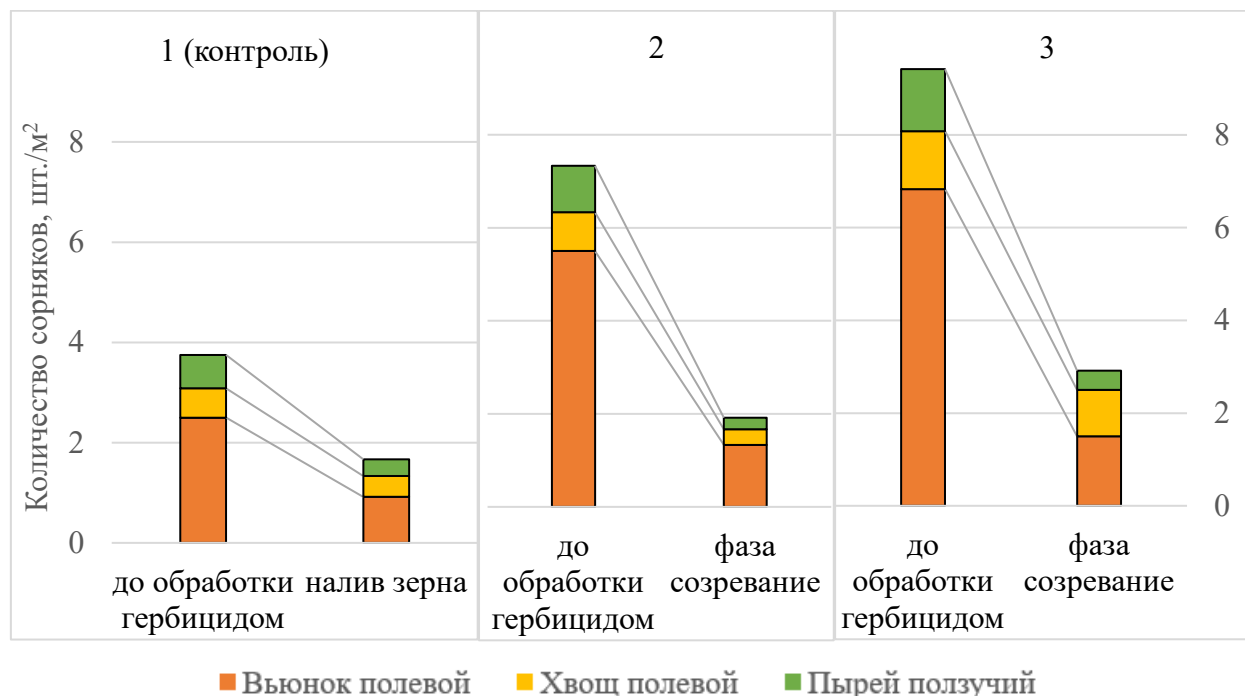


Рисунок 24 – Снижение численности многолетних сорных растений, в 2020-2022 гг.

Среди встречающихся многолетних сорняков вьюнок, ЭПВ которого в посевах сои 2-3 шт./м², полевой снизил численность к моменту налива семян на системе со вспашкой с 2,50 до 0,92 шт./м², на системе с безотвальным рыхлением с 5,50 до 1,33 шт./м², при системе с дискованием с 6,83 до 1,50 шт./м². Пырей ползучий, ЭПВ которого 4-5 шт./м², уменьшал свою численность в посевах на фоне системы, включающей вспашку, с 0,67 до 0,33 шт./м², при системе с безотвальным рыхлением с 1,0 до 0,25 шт./м², на варианте с системой с дискованием с 1,33 до 0,42 шт./м². Хвоц полевой, ЭПВ у которого 5-8 шт./м², ближе к концу периода вегетации растений сои на системе со вспашкой уменьшил свою численность с 0,58 до 0,42 шт./м², при системе с безотвальным рыхлением – с 0,83 до 0,33 шт./м², на системе с дискованием с – 1,25 до 1,00 шт./м² (Рис. 24).

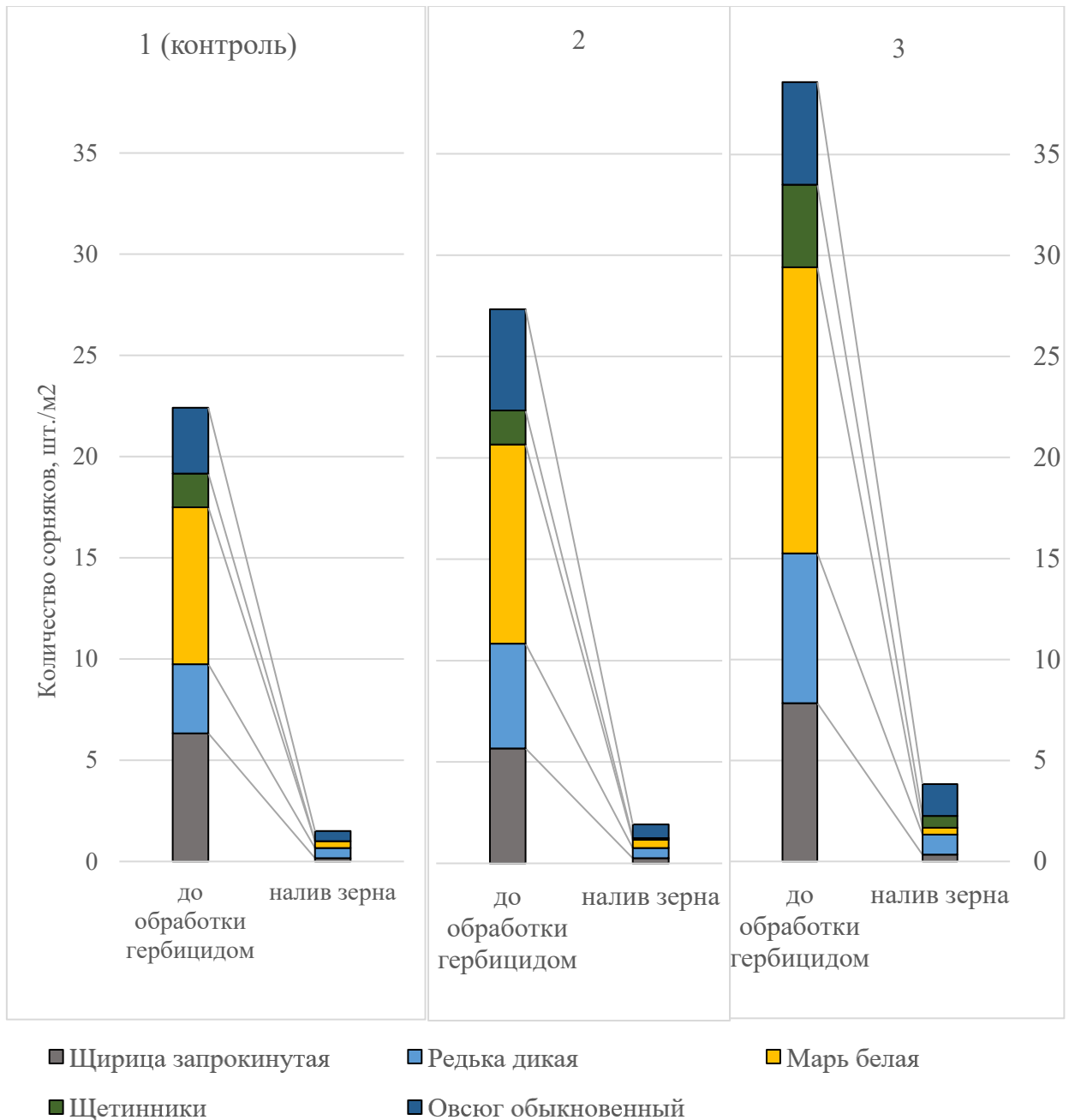


Рисунок 25 – Снижение численности однолетних сорных растений, представляющих основную опасность для посевов сои, в 2020-2022 гг.

Однолетние двудольные, представляющие особую опасность для посевов сои, были представлены щирицей запрокинутой, редькой дикой и марью белой. На контрольном варианте засоренность щирицей запрокинутой, ЭПВ которой в посевах сои 5-15 шт./м² и распространение которой приводит к ослаблению растений сои и приостановке их развития, в течение периода вегетации уменьшилась с 6,33 до 0,17 шт./м², при системе с безотвальным

рыхлением – с 5,67 до 0,25 шт./м², на системе с дискованием с – 7,83 до 0,33 шт./м². Численность редьки дикой, которая для сои является сильным конкурентом и ЭПВ которой 1-10шт./м², на системе со вспашкой уменьшилась с 3,42 до 0,50 шт./м², при системе с безотвальным рыхлением – с 5,17 до 0,50 шт./м², на системе с дискованием – с 7,42 до 1,00 шт./м². Один из ключевых сорняков в посевах сои – марь белая, ЭПВ которой 1-3 шт./м², на системе со вспашкой уменьшилась с 3,42 до 0,50 шт./м², при системе с безотвальным рыхлением с на контрольном варианте уменьшилась с 7,75 до 0,33 шт./м², на системе с безотвальным рыхлением с 9,83 до 0,42 шт./м², при системе с дискованием – с 14,17 до 0,33 шт./м² (Рис. 25).

Показатель воздушно-сухой массы сорных растений позволяет оценить динамику их роста и является важным критерием, определяющим конкурентные взаимоотношения с культурой за факторы жизни [86].

Таблица 19 – Воздушно-сухая масса сорных растений в фазе 1-3 тройчатый лист по годам исследования и в среднем за 2020-2022 гг., г/м²

Фаза вегетации: 1-3 тройчатый лист (до обработки гербицидами)	Система обработки почвы			НСР ₀₅
	1 (контроль)	2	3	
2020	48,98	67,17	63,76	F _φ < F ₀₅
2021	52,01	45,97	83,07	F _φ < F ₀₅
2022	39,90	82,11	90,30	F _φ < F ₀₅
2020-2021	46,96	65,08	79,04	F_φ < F₀₅

В начале периода вегетации сои воздушно-сухая масса сорных растений на контрольном варианте (46,96 г/м²) была меньше, чем на системе с безотвальным рыхлением (65,08 г/м²), в 1,39 раза и меньше, чем на системе с дискованием (79,04 г/м²), в 1,68 раза, однако достоверных различий между вариантами опыта не оказалось (Табл. 19).

К моменту налива семян сухая масса сорняков стала меньше при системе со вспашкой на 72,89%, на варианте с системой, включающей безотвальное рыхление на – 68,07%, на системе с дискованием на – 64,74%. При этом на

контрольном варианте ($12,73 \text{ г/м}^2$) вес сорняков был меньше, чем на системе с безотвальным рыхлением ($20,78 \text{ г/м}^2$), в 1,63 раза и меньше, чем на системе с дискованием ($34,87 \text{ г/м}^2$), в 2,19 раза (при $\text{НСР}_{05} = 11,17 \text{ г/м}^2$) (Табл. 20).

Таблица 20 – Воздушно-сухая масса сорных растений в фазе налива семян по годам исследования и в среднем за 2020-2022 гг., г/м^2

Фаза вегетации: налив семян (после обработки гербицидами)	Система обработки почвы			НСР ₀₅
	1 (контроль)	2	3	
2020	10,49	11,41	39,37*	18,04
2021	13,94	26,09	21,50	$F_{\phi} < F_{05}$
2022	13,77	24,84	22,75	$F_{\phi} < F_{05}$
2020-2021	12,73	20,78	27,87*	11,17

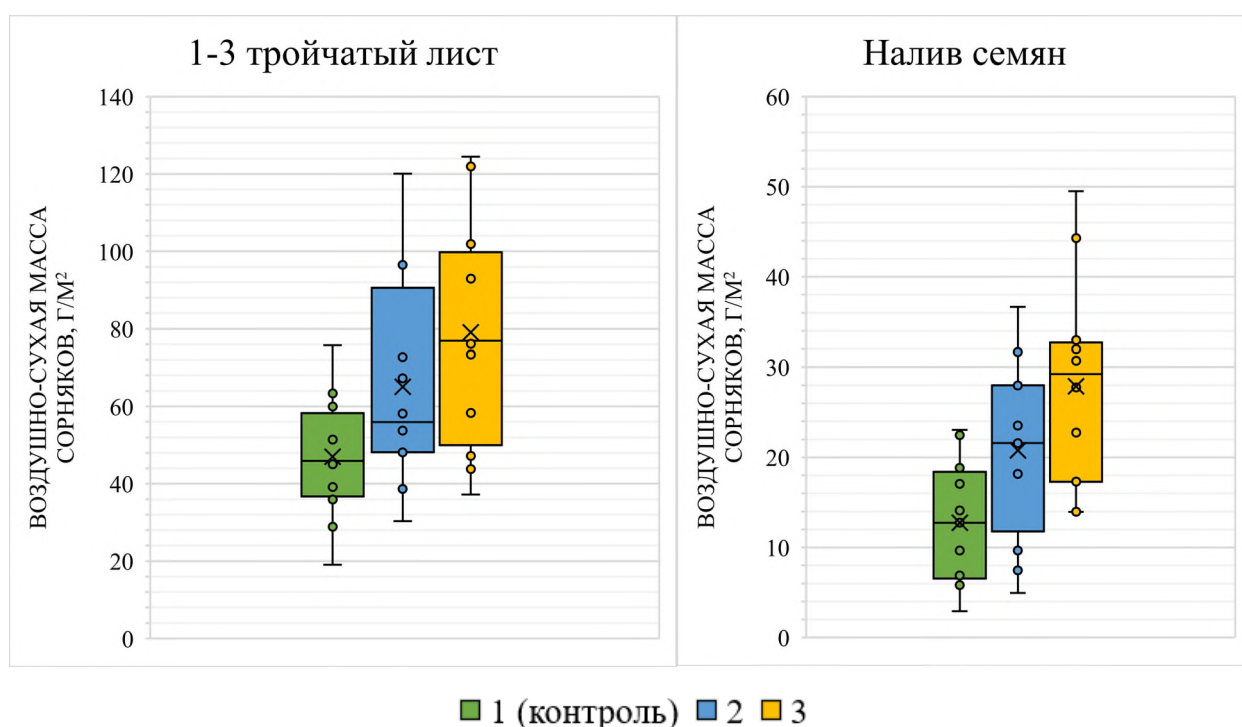


Рисунок 26 – Варьирование воздушно-сухой массы сорных растений в посевах сои в 2020-2022 гг.

Воздушно-сухая масса сорных растений в фазе 1-3-го тройчатого листа на контрольном варианте характеризовалась наименьшим размахом варьирования ($R = 56,7 \text{ г/м}^2$) в сравнении с системами с безотвальным рыхлением ($R = 89,7 \text{ г/м}^2$) и дискованием ($R = 87,2 \text{ г/м}^2$). Данные, полученные

ближе к концу периода вегетации растений сои, при системе со вспашкой ($R = 20,13 \text{ г/м}^2$) варьировались значительно меньше, чем на системах с безотвальным рыхлением ($R = 31,7 \text{ г/м}^2$) или дискованием ($R = 35,5 \text{ г/м}^2$) (Рис. 26).

Таблица 21 – Связь численности и воздушно-сухой массы сорных растений в среднем по годам исследования 2020-2022 гг., г/м^2

Система обработки почвы	Уравнение регрессии	r	r ²	p
фаза 1-3-го тройчатого листа				
1 (контроль)	$y = 0,44x + 32,82$	0,68	0,47	0,0143
2	$y = 0,01x + 67,23$	0,04	0,01	0,9101
3	$y = 0,04x + 84,16$	0,08	0,01	0,8137
налив семян				
1 (контроль)	$y = 0,26x + 1,15$	0,88	0,78	0,0001
2	$y = 0,09x + 3,05$	0,44	0,19	0,1531
3	$y = 0,19x + 3,69$	0,64	0,42	0,0237

В ходе исследований установлена умеренная значимая корреляционная связь ($r = 0,68$; $p = 0,0143$) между общей численностью сорных растений и их воздушно-сухой массой на контрольном варианте до обработки гербицидом. К фазе налива семян на варианте с системой со вспашкой установилась сильная значимая корреляция между этими параметрами ($r = 0,88$; $p = 0,0001$). Значимая умеренная корреляционная связь между количеством сорняков и их массой в этот период была при системе с дискованием ($r = 0,64$; $p = 0,0237$) (Табл. 21).

Заключение к главе 4. Двудольные сорняки, представляющие наибольшую опасность для посевов сои, были представлены вьюнком полевым (*Convolvulus arvensis*), максимальная численность которого на отдельных учетных площадках была до 12 шт./м², марью белой (*Chenopodium album*) – до 22 шт./м², редькой дикой (*Raphanus raphanistrum*) – до 12 шт./м², пикульником обыкновенным (*Galeopsis tetrahit*) – до 7 шт./м², подмаренником цепким (*Galium aparine*) – до 8 шт./м². Злаковые сорные растения были

представлены пыреем ползучим (*Elytrigia repens*) – до 3 шт./м², овсюгом обыкновенным (*Avena fatua*) – до 26 шт./м² и щетинниками (*Setaria*) – до 14 шт./м². Кроме того, на учетных делянках встречалось многолетнее споровое травянистое растение – хвощ полевой (*Equisetum arvense* L.) – до 3 шт./м².

От начала к концу периода вегетации растений сорняки снижали свою численность: вьюнок полевой на системе со вспашкой с 2,50 до 0,92 шт./м², на системе с безотвальным рыхлением с 5,50 до 1,33 шт./м², при системе с дискованием с 6,83 до 1,50 шт./м². Пырей ползучий уменьшал свою численность в посевах на фоне системы со вспашкой с 0,67 до 0,33 шт./м², при системе с безотвальным рыхлением с 1,0 до 0,25 шт./м², на варианте с системой с дискованием с 1,33 до 0,42 шт./м². Хвоща полевого при системе со вспашкой становилось меньше с 0,58 до 0,42 шт./м², при системе с безотвальным рыхлением – с 0,83 до 0,33 шт./м², на системе с дискованием – с 1,25 до 1,00 шт./м².

Среди двудольных сорных растений на контрольном варианте численность щирицы запрокинутой в течение периода вегетации растений уменьшилась с 6,33 до 0,17 шт./м², при системе с безотвальным рыхлением – с 5,67 до 0,25 шт./м², на системе с дискованием – с 7,83 до 0,33 шт./м². Редьки дикой на системе, включающей вспашку, стало меньше с 3,42 до 0,50 шт./м², при системе с безотвальным рыхлением – с 5,17 до 0,50 шт./м², на системе с дискованием – с 7,42 до 1,00 шт./м². Засоренность марью белой на контрольном варианте уменьшилась с 7,75 до 0,33 шт./м², на системе с безотвальным рыхлением – с 9,83 до 0,42 шт./м², при системе с дискованием – с 14,17 до 0,33 шт./м².

Воздушно-сухая масса сорных растений в начале периода вегетации на контрольном варианте (46,96 г/м²) была меньше, чем на системе с безотвальным рыхлением (65,08 г/м²), в 1,39 раза и меньше, чем на системе с дискованием (79,04 г/м²), в 1,68 раза. К моменту налива семян сухая масса сорняков стала меньше при системе со вспашкой на 72,89%, на варианте с системой, включающей безотвальное рыхление, на 68,07%, на системе с

дискованием на 64,74%. При этом на контрольном варианте (12,73 г/м²) вес сорняков был меньше системы с безотвальным рыхлением (20,78 г/м²) в 1,63 раза и меньше системы с дискованием (27,87 г/м²) в 2,19 раза (при НСР₀₅ = 11,17 г/м²)

Таким образом, система обработки почвы оказала значительное влияние на число сорняков в посевах сои: минимальное их количество было зафиксировано на системе, включающей вспашку, а максимальное – на системе с дискованием. При этом применяемая схема защиты способствовала снижению количества и массы сорного агрофитоценоза в посевах сои.

ГЛАВА 5 РАЗВИТИЕ РАСТЕНИЙ СОИ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ СИСТЕМАХ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ

5.1 Динамика прохождения фенологических фаз

Фенологические фазы – это последовательные стадии развития растений, которые имеют важное значение для полевых исследований. Понимание и мониторинг этих фаз позволяет оптимизировать условия для роста, повысить урожайность и улучшить качество продукции.

Несмотря на различия метеорологических условий за годы исследований и неодновременные календарные сроки начала работ, которые, в свою очередь, зависели от погоды, можно выявить некоторые основные особенности фенологии.

Фенологические фазы позволяют точно определить оптимальные сроки посева и сбора урожая. Знание времени, когда растение проходит через ключевые стадии (например у сои – всходы, цветение, налив бобов), помогает избежать потерь урожая из-за неблагоприятных погодных условий. Разные сорта имеют различные сроки прохождения фенологических фаз. Понимание этих различий помогает выбирать наиболее подходящие для конкретных условий сорта, что может значительно повысить эффективность производства. Фенологические наблюдения позволяют исследовать, как климатические условия (температура, влажность, солнечное освещение) влияют на развитие растений. Это может быть полезно для прогнозирования урожайности в условиях изменения климата. Наблюдения за фенофазами могут быть использованы для изучения влияния конкретного сорта на окружающую среду и взаимодействия с другими видами. Это важно для устойчивого сельского хозяйства и сохранения биоразнообразия (Рис. 27).

Несмотря на то, что условия вегетационных периодов в течение 2020-2022 гг. не всегда были благоприятными для начала развития растений – в III декаде 2021 г. выпало суммарно только 8,3 мм осадков, посев по всем вариантам проводили 21 мая, когда среднесуточные температуры были

стабильно выше +10 °С. В то же время в годы исследований в I-II декаде мая выпадало 25-73 мм осадков, что обеспечивало размещение семян во влажном слое почвы, отсутствие затяжных или существенных похолоданий исключило задержку появления всходов.

Фаза VE (появление всходов) – это первая фаза вегетативного развития сои, когда семена прорастают и видны нераскрытые примордиальные листья. Эта фаза на всех исследуемых вариантах длилась 9,0 дней. Важность этой фазы заключается в том, что она задает темп дальнейшего роста растения. Успешное завершение фазы VE зависит от условий, таких как температура почвы, влажность и доступность кислорода. В период прохождения этой фазы среднесуточные температуры воздуха были оптимальными в пределах 11,3-14°С. Сумма осадков была 8,3-45 мм. При системе со вспашкой, где почва была более рыхлая, растения легче пробивались на поверхность. В условиях систем с безотвальным рыхлением и дискованием, где структура почвы была более плотной, равномерность всходов в начале фазы VE уступала контролю.

Фаза VC (раскрытие примордиальных листьев) обеспечивают растению успешный старт для дальнейшего роста и развития. В примордиальном листе происходит синтез биохимических компонентов, которые растение затем распределяет в иные органы, формирующиеся по мере роста. В условиях оптимального увлажнения и оптимальной температуры эта фаза проходит быстрее, что способствует более раннему началу вегетативных фаз. На всех исследуемых вариантах в среднем за 2020-2022 г. эта фаза длилась 3,3 дня. При этом неблагоприятные условия в виде недостатка осадков (0,3-7,7 мм в за I декаду июня) в 2021-2022 гг. способствовали более продолжительному прохождению растениями этой фазы – 4 дня, в то время как в 2020 г. при достаточном уровне увлажнения (47,0 мм в за I декаду июня) примордиальные листья раскрылись за 2 дня.

Фаза V1-3 (формирование 1-3 тройчатых листьев) является важным этапом в развитии сои. Дружное появление первого тройчатого, а затем и второго-третьего листьев является индикатором того, что растение успешно

адаптировалось к условиям окружающей среды и начинает активно развиваться. В этот период происходит формирование корневой системы, что критически важно для последующего роста и развития. На этой стадии происходит активное поглощение воды и питательных веществ из почвы. С появлением первого тройчатого листа растение начинает поглощать солнечную энергию. Чем быстрее и качественнее пройдет эта фаза, тем лучше будет развиваться растение в дальнейшем. Прохождение этой фазы длилось одинаково на всех вариантах опыта, каждый новый лист появлялся в среднем через 4,3 дня, таким образом третий тройчатый лист появился на 13 день после завершения фазы VС. Оптимальные условия, такие как достаточное количество влаги, питательных веществ и солнечного света, способствуют более быстрому и здоровому развитию растения, что в конечном итоге сказывается на урожайности. Средняя температура воздуха была в этот период оптимальной – 14,7-17,9 °С. В то же время условия увлажнения в I декаде июня, как уже было отмечено выше, благоприятными были только в 2020 г. при выпадении 47 мм осадков – каждый следующий тройчатый лист появлялся в среднем через 4 дня, тогда как начало июня в 2021-2022 гг. было засушливым. При этом если при выпадении 7,7 мм осадков в 2021 г. каждый следующий лист все же появлялся преимущественно через 4 дня, то в 2022 г. лист появлялся уже в среднем через 5 дней – при выпадении 0,3 мм осадков.

Фаза V4-5 период развития растений сои, когда они наращивают вегетативную массу, что способствует увеличению фотосинтетической активности, что, в свою очередь, способствует накоплению питательных веществ и энергии, необходимых для последующих репродуктивных фаз. Растения начинают активно ветвиться, определяется количество будущих узлов, на которых будут формироваться цветы и бобы. Фаза V4 на всех вариантах опыта наступала в среднем через 8,3 дня после завершения фазы V3. Фаза V5 завершалась через 7 дней после завершения фазы V4. Недостаток влаги или питательных веществ может негативно отразиться на ветвлении и, следовательно, на урожайности. Средняя температура воздуха во II-III декадах

июня в годы исследований была 18-24,6 °С – при том, что в период вегетативного роста наиболее благоприятная температура для сои 18-22 °С, она незначительно выходила за пределы оптимальных значений, но было это только в III декаде 2021 г. Условия увлажнения сложились таким образом, что во II-III декадах в 2021 г. влаги выпало в пределах 28,1-64,0 мм.

Фазы R1-2 (начало цветения и цветение) критически важный для растений сои период, когда происходит формирование репродуктивных органов. Важным условием успешного прохождения растением этой фазы является оптимальное соотношение температуры воздуха и влажности. Оптимальные условия при цветении способствуют увеличению количества цветков, что, в свою очередь, увеличивает потенциал урожайности. В I декаде июля в 2020 и 2022 гг. ГТК был оптимальный – соответственно 1,65 и 1,97. Аналогичный период 2021 г. характеризовался как засушливый с ГТК 0,37. Таким образом, в зависимости от варианта опыта длительность этой фазы варьировалась: в среднем на контрольном варианте 14 дней, при системе с безотвальным рыхлением 13,3 дня, при системе с дискованием 13 дней. Вероятно, это связано с тем, что более рыхлая структура почвы при применении вспашки способствовала лучшему развитию корневой системы, что, в свою очередь, обеспечивало более длительное цветение за счет более эффективного усвоения питательных веществ и обеспечения влагой растений. В то же время достоверных существенных различий между исследуемыми вариантами не обнаружено ($F_{\phi} < F_{05}$).

Фазы R3-4 (начало формирования и сформированные бобы) наравне с фазой цветения, являются важными для растений сои. В этот период происходит наиболее интенсивное потребление питательных веществ. В это время растения поглощают 65% азота, фосфора и калия. При дефиците влаги в этот период на растениях не образуются новые и сбрасываются имеющиеся бобы. Во II-III декаде июля метеорологические условия были наиболее оптимальны в 2020 и 2022 гг. (ГТК в среднем 0,86 и 1,44) в сравнении с 2021 г. (ГТК 0,31). Длительность этой фазы при системе с дискованием (в среднем

15,7 дней) оказалась больше, чем при системах со вспашкой и безотвальным рыхлением, где этот период длился 15,0 дней. Однако в результате дисперсионного анализа достоверного различия между вариантами не обнаружено ($F_{\phi} < F_{05}$).

Фазы R5-6 начало (налива и полное выполнение зерна) – период, с началом которого вегетативный рост растения прекращается. Это время накопления пластических веществ в семенах. К концу фазы полностью завершается прирост сухого вещества. В этот период соя очень чувствительна к температуре среды. Снижение среднесуточной температуры ниже +13 °С полностью останавливает налив семян. В годы исследований средняя температура в I-II декадах августа была оптимальной – в пределах от +15,5 до +22,7 °С. Длительность этой фазы имеет большое значение, так как более продолжительный период налива позволяет растениям накопить больше питательных веществ, что, в свою очередь, увеличивает массу бобов и улучшает их качество. На контрольном варианте и системе с безотвальным рыхлением длительной этой фазы была в среднем 20,3 дня, в то время как на системе с дискованием – 18,0 дней (при $НСР_{05} = 1,54$ день). Вероятно, это связано с ухудшением условий для роста корневой системы. Более плотная структура почвы могла ограничивать доступ к влаге и питательным веществам, что приводило к стрессу у растений и более быстрому переходу к фазе налива семян.

Фаза R7-8 – начало налива семян и налив семян. Началом фазы считается побурение нижних единичных бобов. Полная физиологическая зрелость наступает, когда семена по всему растению становятся твёрдыми и приобретают свойственную им окраску. К концу налива семян сохранившиеся листья быстро желтеют и опадают, сначала с нижнего яруса, а затем верхнего. В этот период соя достигает полной зрелости, и происходит активное накопление масла и белка в семенах. Удлинение этой фазы способствует более высокому содержанию масла и белка в семенах, что делает их более ценными

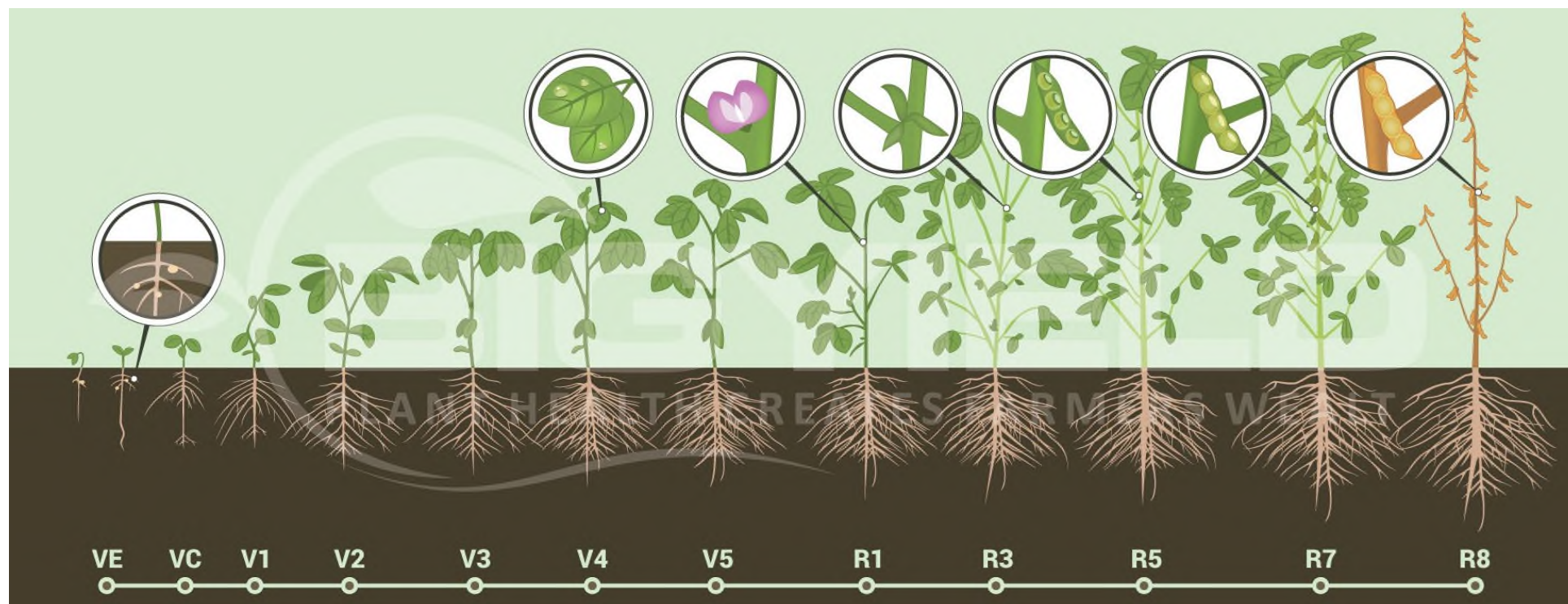


Рисунок 27 – Наблюдаемые фенологические фазы развития сои в 2020-2022 гг. [158]

Таблица 22 – Фенологические наблюдения за развитием сои в 2020-2022 гг.

Система обработки почвы		ФАЗЫ ВЕГЕТАЦИИ												ИТОГО, ДНЕЙ ВЕГЕТАЦИИ	
		посев	вегетативные						репродуктивные						
			VE	VC	V1	V2	V3	V4	V5	R1-2	R3-4	R5-6	R-7		R-8
2020	1 (контроль)	21 мая	7,0	2,0	3,0	5,0	4,0	14,0	10,0	19,0	13,0	13,0	10,0	16,0	116,0
	2		7,0	2,0	3,0	5,0	4,0	14,0	10,0	17,0	15,0	13,0	10,0	13,0	113,0
	3		7,0	2,0	3,0	5,0	4,0	14,0	10,0	17,0	13,0	10,0	12,0	12,0	109,0
2021	1 (контроль)		10,0	4,0	4,0	3,0	5,0	7,0	6,0	11,0	18,0	18,0	6,0	19,0	111,0
	2		10,0	4,0	4,0	3,0	5,0	7,0	6,0	11,0	18,0	18,0	6,0	16,0	108,0
	3		10,0	4,0	4,0	3,0	5,0	7,0	6,0	10,0	18,0	17,0	8,0	13,0	105,0
2022	1 (контроль)		10,0	4,0	6,0	5,0	4,0	4,0	5,0	12,0	14,0	30,0	6,0	19,0	119,0
	2		10,0	4,0	6,0	5,0	4,0	4,0	5,0	12,0	14,0	30,0	6,0	18,0	118,0
	3		10,0	4,0	6,0	5,0	4,0	4,0	5,0	12,0	14,0	27,0	6,0	18,0	115,0
2020-2022	<i>1 (контроль)</i>		9,0	3,3	4,3	4,3	4,3	8,3	7,0	14,0	15,0	20,3	7,3	18,0	115,3
	<i>2</i>		9,0	3,3	4,3	4,3	4,3	8,3	7,0	13,3	15,7	20,3	7,3	15,7	113,0*
	<i>3</i>		9,0	3,3	4,3	4,3	4,3	8,3	7,0	13,0	15,0	18,0*	8,7	14,3*	109,7*
	<i>НСР₀₅</i>	-	-	-	-	-	-	-	$F_{\phi} < F_{05}$	$F_{\phi} < F_{05}$	1,51	$F_{\phi} < F_{05}$	2,93	1,85	

для переработки. Среди исследуемых вариантов наиболее продолжительным этот период оказался на контрольном варианте – 25,3 дня, в то время как на системах с дискованием и безотвальным рыхлением он длился одинаково – 23,0 дня (при $F_{\phi} < F_{05}$).

В результате, наиболее продолжительным период вегетации был на варианте системой, включающей вспашку (115,3 дня), в то время как при системе с безотвальным рыхлением период налива семян в сравнении с контролем оказался на 2,02% менее продолжительным (113,0 дней), а на системе с дискованием длился меньше, чем на системе со вспашкой, на 4,91% (109,7 дней) (при $НСР_{05} = 1,85$ дня). Видно, что применение вспашки обеспечило наилучшие условия для роста и развития корней, способствующие более длительному периоду вегетации и, как следствие, более высокой потенциальной урожайности. Безотвальное рыхление и дискование, вероятно, могли ограничивать развитие растений из-за более плотной структуры почвы – соответственно 1,14 и 1,22 г/см³, в то время как на вспашке было 1,11 г/см³ (при $НСР_{05} = 0,02$ г/см³), что влияло на доступность влаги и питательных веществ (Табл. 22).

5.2 Динамика высоты, площади листовой поверхности, высоты прикрепления нижнего боба и накопления воздушно-сухой массы растениями сои

Определение высоты растений является важным аспектом в исследовании урожайности сои, так как этот параметр может служить индикатором их общего состояния, здоровья и продуктивности. Высота соевых растений может влиять на фотосинтетическую активность, доступ к солнечному свету и, соответственно, на количество произведенных фотосинтезом органических веществ. По данным С. Katti, есть закономерность повышения урожая семян при увеличении высоты растений, а по сведениям Т. Wilcox, Т. Sedijama, увеличение высоты растений на каждые 10 см

сопровождается ростом продуктивности на 1,12 ц/га. Отмечено, что высота растений у сои во многом определяется продолжительностью периода вегетации [32].

Таблица 23 – Высота растений сои в зависимости от системы обработки почвы по годам исследования и в среднем за 2020-2022 гг.

Вегетационный период		Система обработки почвы			НСР ₀₅
		1 (контроль)	2	3	
2020	Ветвление	75,00	52,68*	57,88*	4,01
	Начало формирования бобов	83,05	74,08*	72,63*	7,71
	Налив семян	85,45	80,93*	77,40*	3,43
2021	Ветвление	70,18	55,40*	54,30	3,37
	Начало формирования бобов	83,80	77,20*	69,88*	5,61
	Налив семян	85,35	76,85*	73,33*	7,06
2022	Ветвление	73,15	59,05*	57,70*	2,63
	Начало формирования бобов	86,03	79,00*	73,45*	4,13
	Налив семян	90,38	80,53*	78,45*	5,95
2020-2022	Ветвление	72,78	55,71*	56,63*	2,36
	Начало формирования бобов	84,29	76,76*	71,98*	3,15
	Налив семян	87,06	79,43*	76,39*	2,29

В начале периода вегетации на контрольном варианте высота растений сои (72,78 см) была значительно больше, чем на системах с безотвальным рыхлением (55,71 см) и дискованием (56,63 см), соответственно на 23,45 и 22,19%, (при НСР₀₅ = 2,36 см). К фазе начала формирования бобов на всех вариантах опыта высота растений увеличилась: на контроле на 15,82%, при системе с безотвальным рыхлением на 37,79%, на системе с дискованием на 21,12%. При этом высота на контрольном варианте (84,29) см была больше системы с безотвальным рыхлением (76,76 см) на 8,94% и больше системы с дискованием (71,98 см) на 14,60% (при НСР₀₅ = 3,15 см). Ближе к концу периода вегетации высота растений сои на системе со вспашкой увеличилась еще на 3,28%, при системе с безотвальным рыхлением стала больше на 3,48%, на системе с дискованием – на 6,12%. Таким образом, к фазе налива семян на контрольном варианте высота растений достигла показателя 87,06 см, что

оказалось больше, чем на системах с безотвальным рыхлением (79,43 см) на 8,76%, и дискованием (76,39 см) на 12,25% (при $НСР_{05} = 2,29$ см) (Табл. 23).

Вероятно, такие различия в высоте растений можно объяснить тем, что применение вспашки создает более благоприятные условия для развития корневой системы, обеспечивая наилучший доступ к влаге и питательным веществам. Кроме того, отвальная обработка может более эффективно уничтожать корни сорняков и предотвращать их рост, что снижает конкуренцию за ресурсы (воду, свет, питательные вещества) между культурными и сорными растениями.

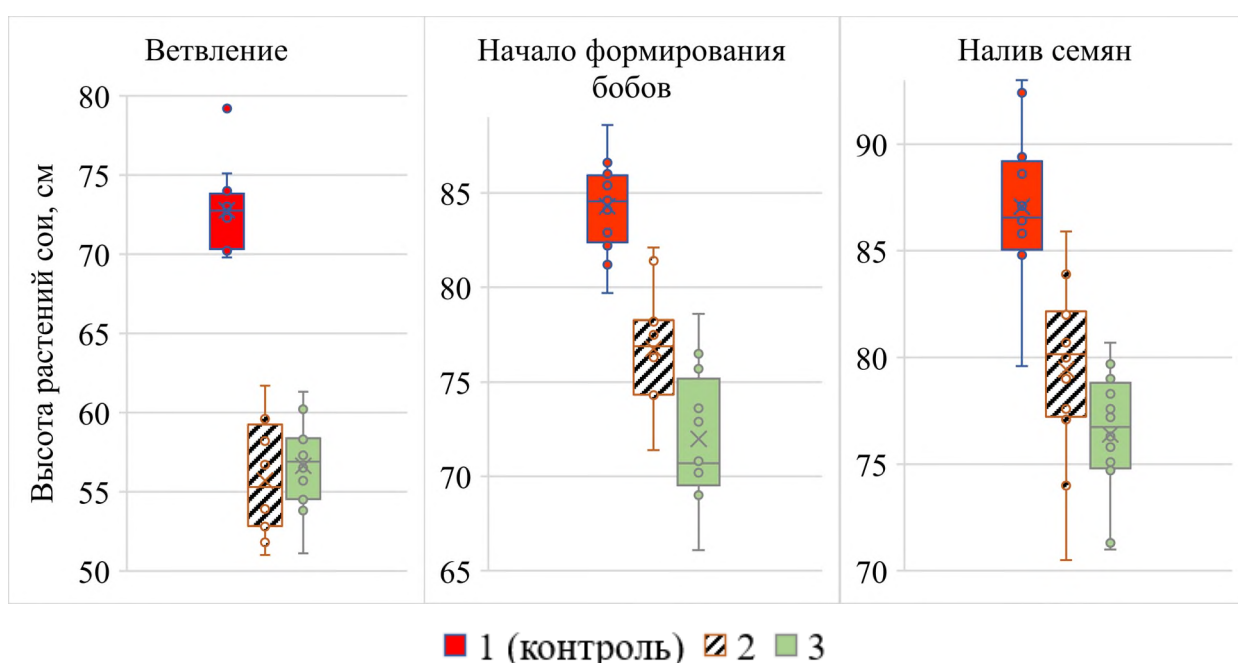


Рисунок 28 – Варьирование высоты растений сои в период исследования 2020-2022 гг., см

В начале вегетационного периода наименьшим размахом варьирования высоты растений среди изучаемых систем обработки ($R = 9,40$) см характеризовался контрольный вариант в сравнении с системами с безотвальным рыхлением ($R = 10,70$ см) и дискованием ($R = 10,20$ см). В фазе начала формирования бобов такая тенденция продолжалась: при системе, включающей вспашку, варьирование показателя высоты растений ($R = 8,90$

см) было меньше систем с безотвальным рыхлением ($R = 10,70$ см) и дискованием ($R = 12,50$ см). Ближе к концу вегетации данные высоты растений на контрольном варианте ($R = 13,40$ см) варьировались меньше, чем при системе с безотвальным рыхлением ($R = 15,40$ см), но больше, чем на системе с дискованием ($R = 9,70$ см) (Рис. 28).

Таблица 24 – Связь высоты растений сои с площадью листовой поверхности (мм^2 на 1 растение) в период исследования 2020-2022 гг.

Система обработки почвы	Уравнение регрессии	r	r ²	p
ветвление				
1 (контроль)	$y = 0,01x + 67,95$	0,38	0,14	0,2226
2	$y = 0,01x + 53,01$	0,10	0,01	0,7623
3	$y = 0,01x + 52,90$	0,23	0,05	0,4799
начало формирования бобов				
1 (контроль)	$y = -0,01x + 90,82$	0,31	0,10	0,3277
2	$y = -0,01x + 81,10$	0,33	0,11	0,3026
3	$y = -0,003x + 74,36$	0,11	0,01	0,7232
налив семян				
1 (контроль)	$y = 0,03x + 57,29$	0,41	0,17	0,1883
2	$y = -0,01x + 91,59$	0,43	0,18	0,1682
3	$y = 0,03x + 57,64$	0,62	0,38	0,0324

В ходе исследований умеренная значимая корреляционная связь ($r = 0,62$; $p = 0,0324$) установлена между высотой растений сои и площадью их листовой поверхности только на варианте с системой, включающей дискование в фазе налива семян (Табл. 24).

Корреляционная умеренная связь между высотой растений и их воздушно-сухой массой в начале периода вегетации выявлена на варианте с системой со вспашкой ($r = 0,69$; $p = 0,0139$), в то время как при системе с безотвальным рыхлением в этот период она оказалась значимой сильной ($r = 0,81$; $p = 0,0015$). В фазе начала формирования бобов значимая зависимость между этими параметрами оказалась на всех исследуемых вариантах: при системе со вспашкой слабая ($r = 0,60$; $p = 0,0374$), на системах с безотвальным рыхлением ($r = 0,77$; $p = 0,0031$) и дискованием ($r = 0,74$; $p = 0,0061$) умеренная.

Таблица 25 – Связь высоты растений сои с массой сухого вещества в период исследования 2020-2022 гг.

Система обработки почвы	Уравнение регрессии	r	r ²	p
ветвление				
1 (контроль)	$y = 1,28x + 60,71$	0,69	0,47	0,0139
2	$y = 4,70x + 27,91$	0,81	0,65	0,0015
3	$y = 2,29x + 45,35$	0,33	0,11	0,2956
начало формирования бобов				
1 (контроль)	$y = 1,10x + 70,51$	0,60	0,37	0,0374
2	$y = 2,88x + 45,47$	0,77	0,60	0,0031
3	$y = 4,09x + 33,66$	0,74	0,55	0,0061
налив семян				
1 (контроль)	$y = 1,97x + 63,58$	0,73	0,54	0,0065
2	$y = 2,82x + 49,07$	0,84	0,71	0,0006
3	$y = 0,78x + 69,14$	0,19	0,04	0,5562

Таблица 26 – Связь высоты растений сои с высотой прикрепления нижнего боба в период исследования 2020-2022 гг.

Система обработки почвы	Уравнение регрессии	r	r ²	p
налив семян				
1 (контроль)	$y = -0,23x + 92,95$	0,34	0,12	0,2775
2	$y = -0,22x + 84,45$	0,16	0,02	0,6284
3	$y = -0,98x + 101,10$	0,69	0,47	0,0135

Ближе к концу периода вегетации значимая умеренная связь была на контрольном варианте ($r = 0,73$; $p = 0,0065$) и значимая сильная при системе с безотвальным рыхлением ($r = 0,84$; $p = 0,0006$) (Табл. 25).

Значимая корреляционная связь между высотой растений и высотой прикрепления нижнего боба установлена только на фоне системы с дискованием, где она оказалась умеренной ($r = 0,69$; $p = 0,0135$) (Табл. 26).

Одним из важнейших физиологических процессов, который определяет уровень урожайности сельскохозяйственных культур, является фотосинтетическая деятельность растений, благодаря которой, по мнению И.С. Шатилова, образуется до 90-95% сухого вещества [175]. Действительно, площадь листа определяет, сколько света и углекислого газа может быть

использовано для фотосинтеза. При достаточном количестве света и питательных веществ растения могут накапливать значительное количество сухого вещества.

Чем больше площадь листьев, тем больше солнечной энергии может быть поглощено и использовано для синтеза органических веществ. По данным А.А. Ничипоровича, поглощение солнечной энергии увеличивается только при возрастании площади листьев до определенных размеров (30-40 тыс. м²/га), на высокоплодородных почвах – до 50-60 тыс. м²/га. Недостаточно быстрое увеличение площади листьев в первые фазы развития может быть причиной низкого урожая [113].

Листовая поверхность также играет ключевую роль в транспирации – процессе, при котором растения теряют воду через устьица. Понимание динамики роста площади листовой поверхности в течение периода вегетации может помочь определить, как растение управляет своим водным балансом, что особенно важно в условиях ограниченной влаги. Соя как культура, требующая определенного уровня влажности, может быть более устойчивой к засухе при оптимальном соотношении площади листьев и доступной влаги [155].

В фазе 1-3-го тройчатого листа контрольный вариант отличался наибольшей площадью листовой поверхности – 329,70 мм² на 1 растение (22,42 тыс. м²/га), в то время как этот показатель составлял на системах с безотвальным рыхлением 321,37 мм² на 1 растение (21,09 тыс. м²/га) и дискованием 268,56 мм² на 1 растение (16,92 тыс. м²/га), то есть площадь листьев оказалась меньше контроля соответственно на 2,53 и 18,54%. В результате проведенного дисперсионного анализа установлено, что площадь листьев на 1 га при системе с дискованием достоверно отличалась от контроля (при НСР₀₅ = 3,1 тыс. м²/га).

К фазе начала формирования бобов в сравнении с фазой ветвления площадь листовой поверхности увеличилась на всех вариантах опыта: на системе со вспашкой в 2,8 раза, на вариантах, включающих безотвальное

рыхление и дискование, в 2,5 раза. При этом на контрольном варианте площадь поверхности листьев (937,49 мм² на 1 растение или 58,43 тыс. м²/га) была больше систем с безотвальным рыхлением (797,106 мм² на 1 растение или 45,69 тыс. м²/га) на 14,98% и дискованием (664,87 мм² на 1 растение или 37,45 тыс. м²/га) на 29,08% (при НСР₀₅ = 171,68 мм² на 1 растение).

Таблица 27 – Площадь листовой поверхности растений сои в зависимости от системы обработки почвы, среднее за 2020-2022 гг.

Вегетационный период		Ед. изм.	Система обработки почвы			НСР ₀₅
			1 (контроль)	2	3	
2020	Ветвление	мм ² на 1 растение	350,60	349,77	276,14	F _φ < F ₀₅
		тыс. м ² /га	23,84	22,74	17,40	F _φ < F ₀₅
	Начало формирования бобов	мм ² на 1 растение	911,19	763,17	654,76*	150,04
		тыс. м ² /га	57,41	44,26*	37,32*	8,82
	Налив семян	мм ² на 1 растение	1026,84	911,32	637,20*	179,48
		тыс. м ² /га	64,69	52,86*	36,80*	10,13
2021	Ветвление	мм ² на 1 растение	316,17	284,69	251,37	F _φ < F ₀₅
		тыс. м ² /га	21,50	18,79	15,84	F _φ < F ₀₅
	Начало формирования бобов	мм ² на 1 растение	919,63	779,82	582,40	F _φ < F ₀₅
		тыс. м ² /га	57,02	44,45	32,61*	15,05
	Налив семян	мм ² на 1 растение	1026,98	908,14	587,49*	172,16
		тыс. м ² /га	63,67	51,76*	32,90*	9,79
2022	Ветвление	мм ² на 1 растение	322,33	329,64	278,17	F _φ < F ₀₅
		тыс. м ² /га	21,92	21,76	17,52	F _φ < F ₀₅
	Начало формирования бобов	мм ² на 1 растение	981,66	848,19	757,45	F _φ < F ₀₅
		тыс. м ² /га	60,86	48,35*	42,42*	12,36
	Налив семян	мм ² на 1 растение	1101,75	937,31	668,00*	196,09
		тыс. м ² /га	68,31	53,43*	36,30*	9,84
2020-2022	<i>Ветвление</i>	<i>мм² на 1 растение</i>	<i>329,70</i>	<i>321,37</i>	<i>268,56</i>	<i>F_φ < F₀₅</i>
		<i>тыс. м²/га</i>	<i>22,42</i>	<i>21,09</i>	<i>16,92*</i>	<i>3,81</i>
	<i>Начало формирования бобов</i>	<i>мм² на 1 растение</i>	<i>937,49</i>	<i>797,06</i>	<i>664,87*</i>	<i>171,68</i>
		<i>тыс. м²/га</i>	<i>58,43</i>	<i>45,69*</i>	<i>37,45*</i>	<i>9,94</i>
	<i>Налив семян</i>	<i>мм² на 1 растение</i>	<i>1051,86</i>	<i>918,92</i>	<i>630,90*</i>	<i>196,09</i>
		<i>тыс. м²/га</i>	<i>65,56</i>	<i>52,68*</i>	<i>35,33*</i>	<i>9,84</i>

От середины к концу периода вегетации растений сои площадь листовой поверхности на всех варианта незначительно увеличилась: в 1,1 раза на контрольном варианте, в 1,2 раза при системе с безотвальным рыхлением и в

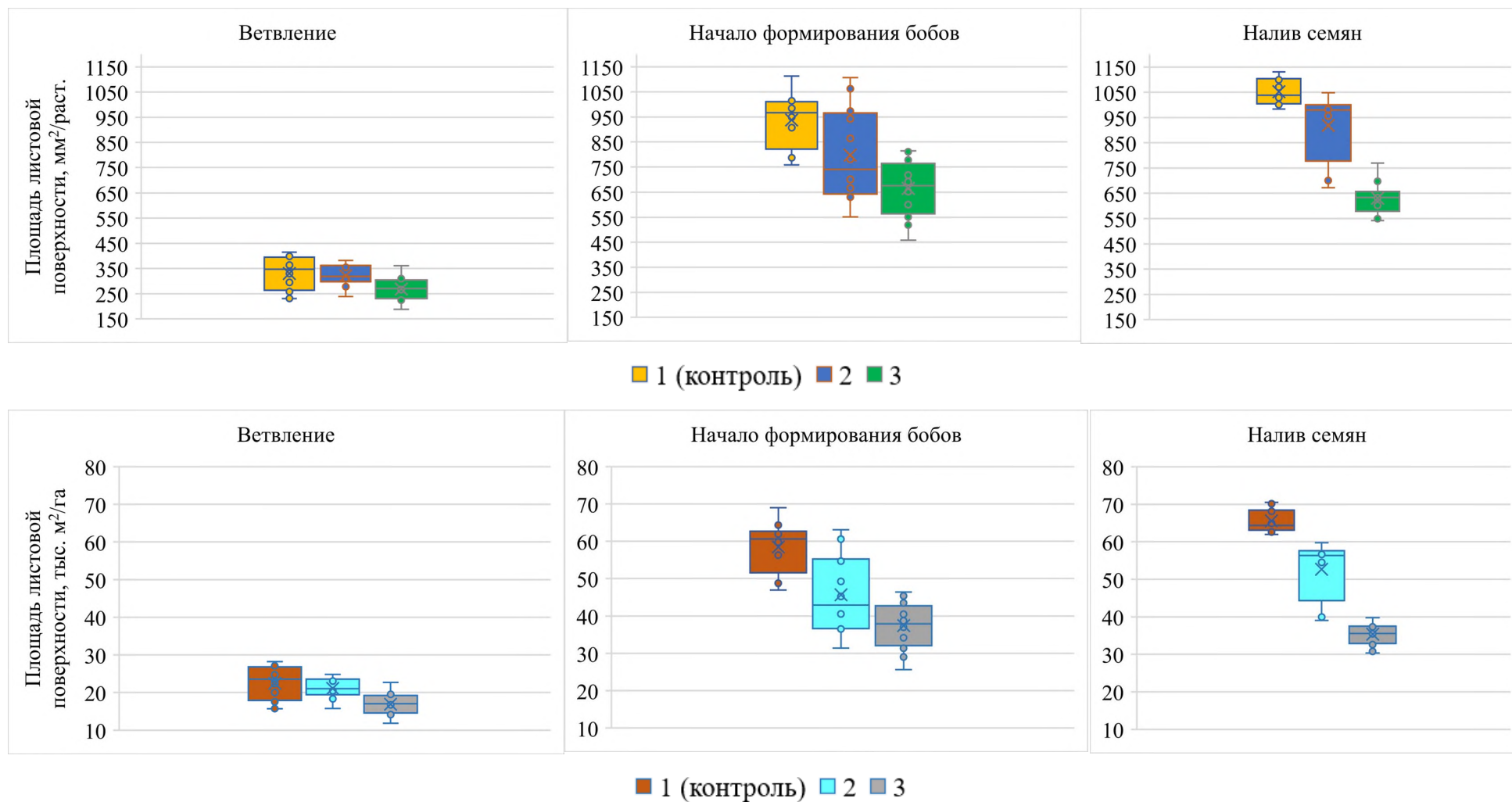


Рисунок 29 – Варьирование площади листовой поверхности растений сои в период исследования 2020-2022 гг., мм^2 на 1 растение и $\text{тыс. м}^2/\text{га}$

0,9 раза на системе с дискованием. При системе со вспашкой площадь поверхности листьев $1051,86 \text{ мм}^2$ на 1 растение ($65,56 \text{ тыс. м}^2/\text{га}$) превышала по этому показателю другие варианты: систему с безотвальным рыхлением ($918,92 \text{ мм}^2$ на 1 растение или $52,68 \text{ тыс. м}^2/\text{га}$) на 12,6%, систему с дискованием ($630,90 \text{ мм}^2$ на 1 растение или $35,33 \text{ тыс. м}^2/\text{га}$) на 40,0% (при $\text{НСР}_{05} = 196,09 \text{ мм}^2$ на 1 растение). Таким образом, на протяжении периода вегетации наблюдалось значительное увеличение площади листовой поверхности, особенно на контрольном варианте. Вероятно, такие значительные различия при росте площади листовой поверхности связаны со способностью отвальной обработки способствовать лучшему структурированию почвы, улучшать её аэрацию и водопроницаемость (Табл. 27).

В фазе ветвления наибольшим размахом варьирования площади листовой поверхности среди изучаемых систем обработки ($R = 184,30 \text{ мм}^2$ на 1 растение или $R = 12,53 \text{ тыс. м}^2/\text{га}$) характеризовался контрольный вариант в сравнении с системами с безотвальным рыхлением ($R = 142,64 \text{ мм}^2$ на 1 растение или $R = 9,03 \text{ тыс. м}^2/\text{га}$) и дискованием ($R = 172,83 \text{ мм}^2$ на 1 растение или $R = 10,89 \text{ тыс. м}^2/\text{га}$). К середине периода вегетации в фазе начала формирования бобов варьирование этого показателя при системах со вспашкой ($R = 354,94 \text{ мм}^2$ на 1 растение или $R = 22,01 \text{ тыс. м}^2/\text{га}$) и дискованием ($R = 356,62 \text{ мм}^2$ на 1 растение или $R = 20,79 \text{ тыс. м}^2/\text{га}$) было значительно меньше, чем при системе с безотвальным рыхлением ($R = 555,51 \text{ мм}^2$ на 1 растение или $R = 31,66 \text{ тыс. м}^2/\text{га}$). В фазе налива семян на фоне системы со вспашкой варьирование площади поверхности листьев ($R = 147,51 \text{ мм}^2$ на 1 растение или $R = 8,55 \text{ тыс. м}^2/\text{га}$) было значительно меньше системы с безотвальным рыхлением ($R = 375,78 \text{ мм}^2$ на 1 растение или $R = 20,75 \text{ тыс. м}^2/\text{га}$) и меньше системы с дискованием ($R = 227,69 \text{ мм}^2$ на 1 растение или $R = 9,41 \text{ тыс. м}^2/\text{га}$) (Рис. 29).

В ходе исследований умеренная значимая корреляционная связь ($r = 0,63$; $p = 0,0293$) установлена между площадью листовой поверхности

растений сои (мм^2 на 1 растение) и их воздушно-сухой массой (г на 1 растение) только в фазе налив семян на контрольном варианте (Табл. 28).

Таблица 28 – Связь площади листовой поверхности растений сои (мм^2 на 1 растение) с их воздушно-сухой массой (г на 1 растение) в 2020-2022 гг.

Система обработки почвы	Уравнение регрессии	r	r ²	p
ветвление				
1 (контроль)	$y = 1,78x + 312,884$	0,04	0,00	0,9097
2	$y = 5,41x + 289,34$	0,08	0,01	0,8052
3	$y = 15,35x + 192,90$	0,14	0,02	0,6743
начало формирования бобов				
1 (контроль)	$y = -1,58x + 957,26$	0,02	0,00	0,9520
2	$y = -68,64x + 1542,84$	0,31	0,10	0,3278
3	$y = -7,95x + 739,35$	0,04	0,00	0,8901
налив семян				
1 (контроль)	$y = 24,15x + 763,41$	0,63	0,39	0,0293
2	$y = -59,48x + 1559,58$	0,55	0,31	0,0616
3	$y = -25,62x + 869,17$	0,30	0,09	0,3451

Важнейший показатель, определяющий технологичность сорта – высота прикрепления нижнего боба. У многих сортов основная масса урожая сосредоточена в нижнем ярусе. Размещение бобов ниже 12 см приводит к потере 8% урожая [131].

Высота прикрепления нижнего боба напрямую связана с количеством бобов, которые растение может сформировать и сохранить. Более высокое прикрепление может способствовать лучшему доступу к солнечному свету и увеличению фотосинтетической активности, что, в свою очередь, может привести к повышению урожайности. Низко расположенные бобы подвержены большему риску поражения грибными и бактериальными заболеваниями, так как они находятся ближе к земле, где влажность выше и условия для распространения патогенов более благоприятные. Исследования показывают, что оптимальная высота прикрепления может способствовать снижению заболеваемости и, соответственно, потерь урожая.

На высоту прикрепления нижних бобов оказывают влияние географическая широта места возделывания, влажность почвы и воздуха, площадь питания, норма высева и другие факторы, причём изменчивость признака только на 28% определяется агротехническими условиями возделывания [138].

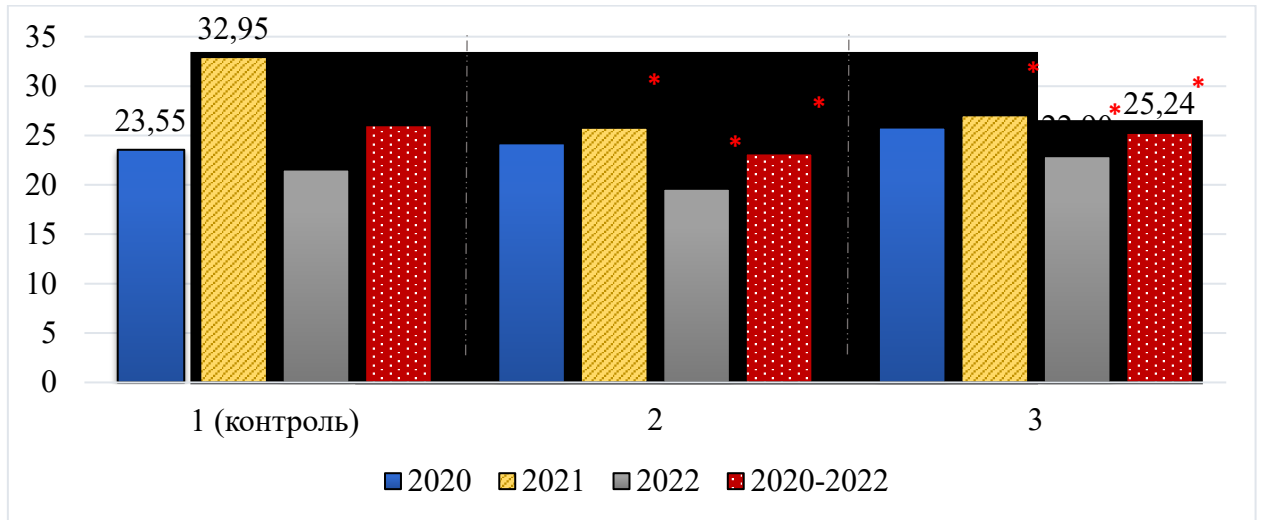


Рисунок 30 – Высота прикрепления нижнего боба в зависимости от системы обработки почвы (НСР₀₅ в 2021 г. = 2,16 см, НСР₀₅ в 2022 г. = 1,06 см, НСР₀₅ в среднем за 2020-2022 гг. = 0,66 см). Примечание – Здесь (и далее) на рисунках – * достоверно отличается от контроля на 5-% уровне.

В результате проведенных исследований установлено, что на контрольном варианте высота прикрепления нижнего боба была наибольшей – 26,02 см. При применении системы с безотвальным рыхлением боб находился в среднем на высоте 23,19 см, что ниже контроля на 10,86%. На варианте с системой с дискованием высота прикрепления нижнего боба составила 25,24 см – меньше системы со вспашкой на 2,98% (при НСР₀₅ = 0,66 см). Вероятно, при применении вспашки переворачивание почвы способствовало лучшей аэрации и оптимизации водного режима. Это создало более благоприятные условия для корней растений, которые получали доступ к большему количеству питательных веществ и влаги. При безотвальном

рыхлении почва не переворачивается, а лишь рыхлится, что приводит к образованию более плотного верхнего слоя, который может ограничивать рост корней и их доступ к ресурсам. На системе с дискованием количество бобов было наименьшим среди исследуемых вариантов, таким образом растения могли более эффективно использовать доступные ресурсы для их формирования, что могло способствовать увеличению высоты прикрепления в сравнении с безотвальным рыхлением (Рис. 30).

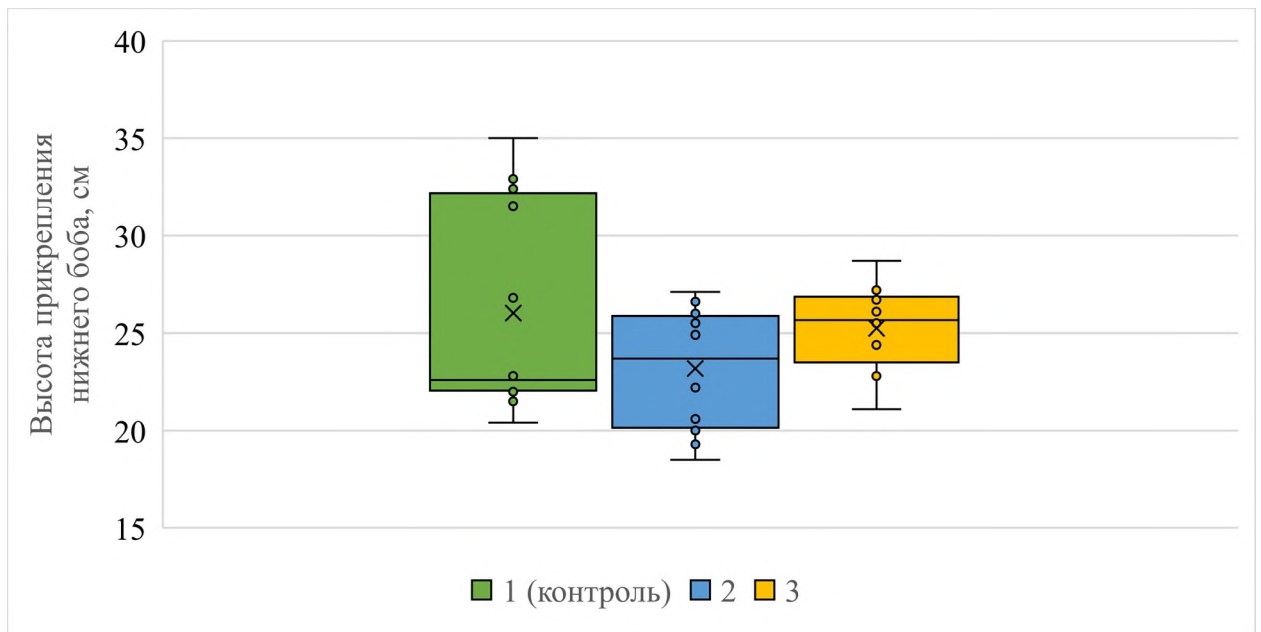


Рисунок 31 – Варьирование высоты прикрепления нижнего боба в период исследования 2020-2022 гг., см

В характеристиках сорта Волма от производителя (оригинатор ООО «Соя-Север КО») заявленная высота прикрепления нижнего боба в центральном регионе – 12,2 см. Таким образом понятно, что при достоверном существенном отличии исследуемых вариантов сложились благоприятные условия, позволившие избежать значительных потерь при уборке урожая.

Наибольшим размахом варьирования высоты прикрепления нижнего боба среди изучаемых систем обработки ($R = 14,60$ см) характеризовался контрольный вариант в сравнении с системами с безотвальным рыхлением ($R = 8,60$ см) или дискованием ($R = 7,60$ см) (Рис. 31).

Накопление органического вещества в развитии растений сои в период активной вегетации является основной производной процесса фотосинтеза. Она характеризует продуктивность посевов [38]. Поэтому с целью получения объективной оценки показателей потенциала продуктивности посевов сои в зависимости от изучаемых факторов в исследованиях была изучена и проанализирована динамика накопления сухого органического вещества растениями сои в зависимости от системы обработки почвы.

Таблица 29 – Воздушно-сухая масса растений сои в зависимости от системы обработки почвы, г на 1 растение

Вегетационный период		Система обработки почвы			НСР ₀₅
		1 (контроль)	2	3	
2020	Ветвление	9,64	5,59*	5,00*	1,61
	Начало формирования бобов	11,70	10,26*	9,18*	1,17
	Налив семян	11,33	10,96	9,62	F _φ < F ₀₅
2021	Ветвление	8,14	5,78*	4,71*	0,72
	Начало формирования бобов	11,58	10,85	9,28*	0,80
	Налив семян	11,48	10,23	9,11*	1,67
2022	Ветвление	10,57	6,37*	5,08*	1,37
	Начало формирования бобов	14,15	11,48*	9,80*	1,62
	Налив семян	13,02	11,13	9,67	F _φ < F ₀₅
2020-2022	<i>Ветвление</i>	<i>9,45</i>	<i>5,92*</i>	<i>4,93*</i>	<i>0,65</i>
	<i>Начало формирования бобов</i>	<i>12,48</i>	<i>10,87*</i>	<i>9,42*</i>	<i>0,61</i>
	<i>Налив семян</i>	<i>11,94</i>	<i>10,77*</i>	<i>9,47*</i>	<i>0,59</i>

В фазе ветвления контрольный вариант отличался наибольшей воздушно-сухой массой растений сои (9,45 г на 1 растение), в то время как на системах с безотвальным рыхлением (5,59 г на 1 растение) и дискованием (5,00 г на 1 растение) сухая масса оказалась меньше контроля соответственно на 37,38 и 47,84%, (при НСР₀₅ = 0,65 г на 1 растение). К фазе начала формирования бобов в сравнении с фазой ветвления, воздушно-сухая масса увеличилась на всех вариантах опыта: на системе со вспашкой в 1,32 раза, на варианте с системой, включающей безотвальное рыхление, в 1,84 раза, при системе с дискованием в 1,90 раза. При этом на контрольном варианте данный

показатель (12,48 г на 1 растение) был больше систем с безотвальным рыхлением (10,87 г на 1 растение) на 12,92% и дискованием (9,42 г на 1 растение) на 24,95% (при $НСР_{05} = 0,61$ г на 1 растение). От середины к концу периода вегетации воздушно-сухая масса растений сои на всех вариантах незначительно уменьшилась – в 0,95 раза на контрольном варианте, в 0,99 раза при системах с безотвальным рыхлением и дискованием. При системе со вспашкой сухая масса (11,94 г на 1 растение) превышала по этому показателю другие варианты: систему с безотвальным рыхлением (10,77 г на 1 растение) на 9,80%, систему с дискованием (9,47 г на 1 растение) на 22,12% (при $НСР_{05} = 0,59$ г на 1 растение). Таким образом, вероятно, при применении системы со вспашкой сложились такие наиболее оптимальные условия, при которых активизировались микробиологические процессы в почве, что способствовало более эффективному разложению органических веществ и увеличению доступности питательных веществ для роста растений. Кроме того, в сравнении с системами с безотвальным рыхлением и дискованием, на контрольном варианте количество сорняков, которые конкурировали с соей за ресурсы (свет, вода и питательные вещества), было меньшим (Табл. 29).

В фазе ветвления наибольшим размахом варьирования воздушно-сухой массы растений сои среди изучаемых систем обработки ($R = 4,34$ г на 1 растение) характеризовался контрольный вариант в сравнении с системами с безотвальным рыхлением ($R = 1,97$ г на 1 растение) и дискованием ($R = 1,26$ г на 1 растение). К середине периода вегетации в фазе начала формирования бобов варьирование этого показателя при системе со вспашкой ($R = 4,11$ г на 1 растение) также было больше систем с безотвальным рыхлением ($R = 2,92$ г на 1 растение) и дискованием ($R = 2,21$ г на 1 растение). В фазе налива семян на фоне системы со вспашкой варьирование площади поверхности листьев ($R = 4,56$ г на 1 растение) было незначительно меньше системы с безотвальным рыхлением ($R = 4,34$ г на 1 растение), но существенно меньше системы с дискованием ($R = 2,67$ г на 1 растение) (Рис. 32).

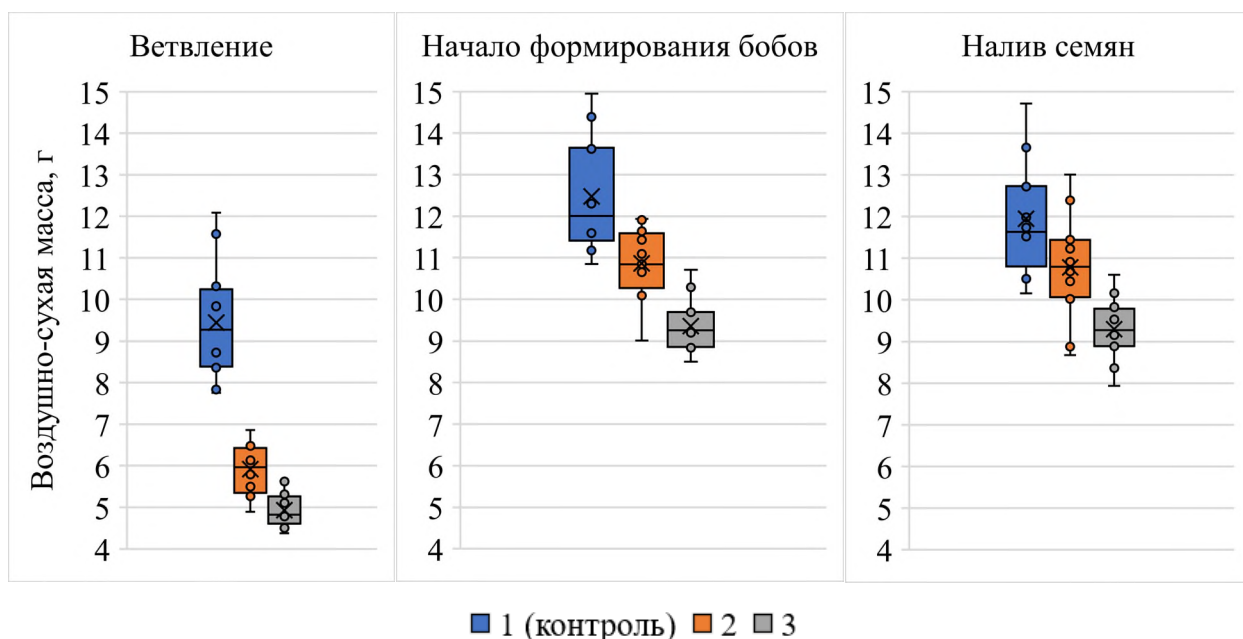


Рисунок 32 – Варьирование воздушно-сухой массы растений сои в период исследования 2020-2022 гг., г на 1 растение

Система обработки почвы оказала влияние на накопление сухого вещества растениями сои: с самых ранних периодов вегетации оно происходило более активно на варианте с системой, включающей вспашку, чем на системах с безотвальным рыхлением и дискованием. Критическим периодом накопления сухого вещества растениями сои оказалась фаза цветения, когда происходило интенсивное наращивание вегетативной массы растений и формирование генеративных органов, в результате чего сухая масса растений увеличивалась в несколько раз.

5.3 Формирование растениями сои симбиотического аппарата

На сегодняшний день опубликовано много исследований на тему продуктивности работы бобово-ризобияльной системы растений сои. Всем известно, что атмосфера Земли содержит более 78% азота. Бобовые растения обладают уникальной способностью формировать симбиотические отношения с бактериями рода *Rhizobium* и *Bradyrhizobium*, в результате работы которых атмосферный азот преобразуется в аммонийный, который

может поглощаться растениями. Растения формируют ткани, которые представляют собой защитную оболочку для бактерий. При этом образуются клубеньки.

Исследования Е.Б. Захарова и К.А. Никульчева показали, что средняя масса одного клубенька напрямую зависит от их количества на определённых этапах развития растений сои. При увеличении количества клубеньков на растениях сои происходят увеличение общей массы клубеньков и снижение массы одного клубенька, и наоборот, при уменьшении общего количества клубеньков увеличивается масса одного клубенька [66].

В процессе азотфиксации растения сои поставляют в клубеньки, где находятся бактерии, продукты фотосинтеза, а клубеньки фиксируют атмосферный азот (N_2), переводя его в доступную аммонийную форму NH_4^+ . Таким образом, растение кормит бактерии, а бактерии дают растению азотное питание. Бактерии способны фиксировать от 70 до 300 кг/га атмосферного азота [35, 36].

Для повышения продуктивности посредством формирования симбиотического аппарата перед посевом семена обрабатывали препаратом Хайкоут супер соя с содержанием бактерий *Bradyrhizobium japonicum* (2,4 л/т) с добавлением Хайкоут супер экстендер (1,42 л/т) (Табл. 30).

Таблица 30 – Схема инокуляции семян сои перед посевом

Система обработки почвы	Состав смеси	Действующее вещество	Норма препарата, л/т
1 (контроль)	д.в.	<i>Bradyrhizobium japonicum</i>	2,84
	питательная среда	олигосахариды	1,42
2	д.в.	<i>Bradyrhizobium japonicum</i>	2,84
	питательная среда	олигосахариды	1,42
3	д.в.	<i>Bradyrhizobium japonicum</i>	2,84
	питательная среда	олигосахариды	1,42

Для защиты зерна от семенных и почвенных инфекций перед инокуляцией проводили протравливание семян с добавлением фунгицида Максим XL (мефеноксам + флудиоксонил, 1,5 л/т).

Учет клубеньков проводили в фазе начала формирования бобов. Результаты исследований показали, что наибольшая масса клубеньков была сформирована при системе обработки почвы со вспашкой – в среднем 24,78 клубеньков на растении массой 0,374 г. На варианте с системой с безотвальным рыхлением бобово-ризобияльная система была развита несколько меньше – зафиксировано в среднем 18,53 клубенька на растении весом 0,234 г. На варианте с системой, включающей дискование, клубеньки были развиты сравнительно плохо – в среднем отмечено 7,92 клубенька на растении с массой 0,092 г (при $НСР_{05} = 2,59$ шт. на 1 растение и $НСР_{05} = 0,051$ г на 1 растение) (Табл. 31).

Таблица 31 – Количество клубеньков, сформированных в посевах сои, в зависимости от системы обработки почвы в 2020-2022 гг.

Вегетационный период		Система обработки почвы			НСР ₀₅
		1 (контроль)	2	3	
2020	Число активных клубеньков, шт. на 1 растение	26,20	20,25*	8,75*	4,59
	Масса активных клубеньков, г на 1 растение	0,438	0,293*	0,108*	0,127
2021	Число активных клубеньков, шт. на 1 растение	23,40	17,90*	7,50*	2,11
	Масса активных клубеньков, г на 1 растение	0,318	0,194*	0,069*	0,038
2022	Число активных клубеньков, шт. на 1 растение	24,75	17,45*	7,50*	5,28
	Масса активных клубеньков, г на 1 растение	0,368	0,217*	0,100*	0,067
2020-2022	Число активных клубеньков, шт. на 1 растение	24,78	18,53*	7,92*	2,59
	Масса активных клубеньков, г на 1 растение	0,374	0,234*	0,092*	0,051

Важное значение имеет расположение клубеньков: расположенные на главном корне и на толстых боковых корнях, они наиболее эффективно фиксируют азот и по ксилеме транспортируют его в наземные части растения. Расположение клубеньков в верхнем пахотном слое на вариантах, включающих вспашку и безотвальное рыхление, – преимущественно на

центрального корне. На системе с дискованием клубеньки располагались по всей корневой системе и, следовательно, были менее продуктивны для растения ввиду их отдаленности от центрального корня.

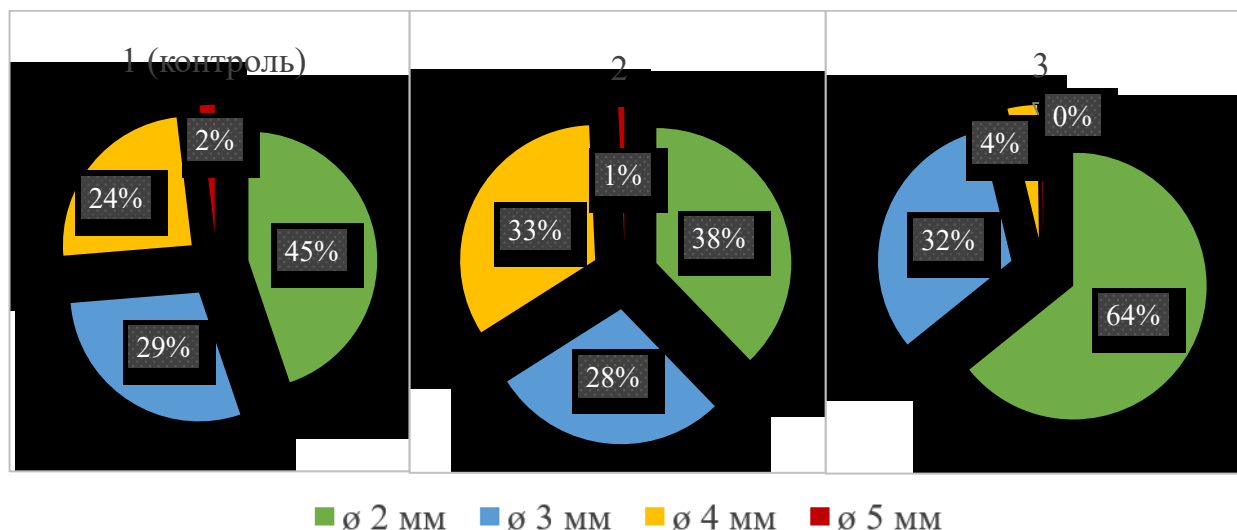


Рисунок 33 – Размер активных клубеньков на растении при различных системах обработки почвы, в среднем за 2020-2022 гг.

Клубеньки на корнях сои образуются на самых ранних стадиях развития, по разным данным – начиная с фазы семядольных листьев до 1-го тройчатого листа. На разницу в формировании клубеньков по вариантам оказали влияние такие факторы, как: плотность почвы и аэрация – недостаточно разрыхленная почва при дисковании заметно уступает вспашке и безотвальному рыхлению, которые обеспечили более глубокое проникновение в почву азотфиксирующих бактерий; недостаточная аэрация вследствие избыточной влажности также отрицательно влияет на живущие в почве клубеньковые бактерии, которые лучше размножаются при доступе кислорода [161].

Система со вспашкой, осуществляемой на глубину 22-24 см, показала наибольшее количество активных клубеньков на растении. Для клубеньков диаметром 2 см было зафиксировано 11,1 шт./растение (или 45%), для 3 см – 7,17 шт./растение (или 29%), для 4 см – 6,05 шт./растение (или 24%), а для 5 см – 0,47 шт./растение (или 2%). Такое количество клубеньков можно

объяснить тем, что применение вспашки способствовало более глубокому и равномерному рыхлению почвы, что, в свою очередь, улучшало доступ корневой системы растений к кислороду и питательным веществам. Вспашка также способствует лучшему дренажу и уменьшает застой влаги, что является важным фактором для корнеобразования и, соответственно, для формирования клубеньков. Более того, вспашка разрушает почвенные пласты, что позволяет корням свободнее развиваться. Это создает более благоприятные условия для симбиотических микроорганизмов, таких как клубеньковые бактерии.

Система с безотвальным рыхлением на глубину 22-24 см показала меньшие результаты по сравнению с контролем. Количество клубеньков диаметром 2 см составило 7,0 шт./растение, для 3 см – 5,23 шт./растение, для 4 см – 6,17 шт./растение, а для 5 см – 0,13 шт./растение. Вероятно, применение безотвального рыхления менее эффективно в сравнении со вспашкой, так как оно не разрушало почвенные пласты так же глубоко и не обеспечивало такой же степени аэрации почвы. Несмотря на то, что этот метод также способствует рыхлению, он не обеспечивает такой же уровень доступа корней к кислороду и питательным веществам, что может ограничивать рост и развитие клубеньков.

Система с дискованием на глубину 16-18 см показала наименьшее количество активных клубеньков. Для клубеньков диаметром 2 см было зафиксировано 5,08 шт./растение, для 3 см – 2,53 шт./растение, для 4 см – 0,28 шт./растение, а для 5 см – 0,02 шт./растение. Дискование в первую очередь направлено на поверхностное рыхление, что не обеспечивает должного доступа корней к глубоким слоям почвы. По всей видимости, это могло приводить к тому, что растения испытывали дефицит кислорода и питательных веществ, что, в свою очередь, сказалось на количестве образуемых клубеньков. Кроме того, дискование может создавать условия для уплотнения почвы на глубине, что препятствует нормальному развитию корневой системы (Рис. 33).

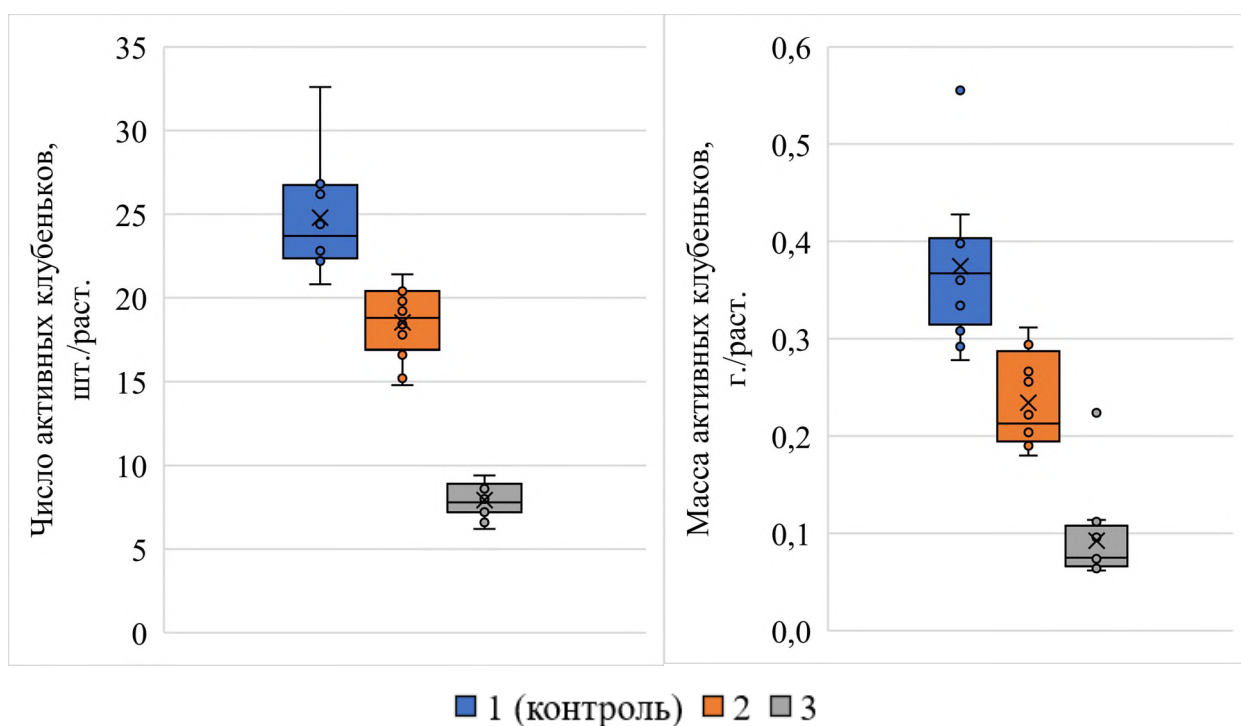


Рисунок 34 – Варьирование численности и массы активных клубеньков на растениях сои в период исследования 2020-2022 гг.

На контрольном варианте количество клубеньков на растении и их масса варьировалось больше в сравнении с другими исследуемыми вариантами – $R = 11,80$ шт. на 1 растение (или $R = 0,28$ г на 1 растение), в то время как при системе с безотвальным рыхлением варьирование было $R = 6,60$ шт. на 1 растение (или $R = 0,13$ г на 1 растение), а на системе с дискованием – $R = 3,20$ шт. на 1 растение (или $R = 0,16$ г на 1 растение) (Рис. 34).

Сильная значимая корреляционная связь между численностью активных клубеньков и их массой установлена при применении системы со вспашкой ($r = 0,90$; $p < 0,001$). Значимая, умеренной силы корреляционная связь между этими параметрами была при системе с безотвальным рыхлением ($r = 0,75$; $p = 0,005$). Корреляционная связь умеренной силы установлена также между численностью активных клубеньков и высотой прикрепления нижнего боба у растений сои ($r = 0,74$; $p = 0,006$) (Табл. 32).

Таблица 32 – Связь численности активных клубеньков с их массой в период исследования 2020-2022 гг.

Система обработки почвы	Уравнение регрессии	r	r ²	p
с массой активных клубеньков				
1 (контроль)	$y = 39,55x + 9,97$	0,90	0,81	< 0,001
2	$y = 33,17x + 10,76$	0,75	0,57	0,005
3	$y = 6,65x + 7,30$	0,30	0,09	0,353
с высотой прикрепления нижнего боба у растений сои				
1 (контроль)	$y = 0,52x + 19,88$	0,23	0,05	0,4804
2	$y = -2,59x + 33,86$	0,74	0,55	0,0060
3	$y = -0,07x + 8,28$	0,03	0,00	0,9258

Заключение к главе 5. В результате проведенного исследования установлено, что наиболее продолжительным период вегетации растений сои был на контрольном варианте (115,3 дня), в то время как при системе с безотвальным рыхлением период налива семян в сравнении с контролем оказался на 2,02% менее продолжительным (113,0 дней), а на системе с дискованием длился меньше системы со вспашкой на 4,91% (109,7 дней) (при $НСР_{05} = 1,85$ дня).

Высота растений, которая может служить индикатором их общего состояния, здоровья и продуктивности, на контрольном варианте к фазе налива семян достигла показателя 87,1 см, что оказалось больше системы с безотвальным рыхлением (79,4 см) на 8,76% и системы с дискованием (76,4 см) на 12,25% (при $НСР_{05} = 2,29$ см).

Площадь листовой поверхности, которая определяет эффективность фотосинтетической деятельности растений, в течение периода вегетации наиболее активно нарастала при контроле и к фазе налива семян была на этом варианте 1051,9 мм² на 1 растение (или 65,6 тыс. м²/га), таким образом превышая по этому показателю другие варианты: систему с безотвальным рыхлением (918,9 мм² на 1 растение или 52,7 тыс. м²/га) на 12,6%, систему с дискованием (630,9 мм² на 1 растение или 35,3 тыс. м²/га) на 40,0% (при $НСР_{05} = 196,09$ мм² на 1 растение).

Важный показатель, определяющий технологичность сорта, – высота прикрепления нижнего боба. На контрольном варианте она была наибольшей – 26,02 см. При применении системы с безотвальным рыхлением боб находился в среднем на высоте 23,19 см, что ниже контроля на 10,86%. На варианте с системой, включающей дискование, высота прикрепления нижнего боба составила 25,24 см – меньше системы со вспашкой на 2,98% (при $НСР_{05} = 0,66$ см).

Воздушно-сухая масса растений сои, которая характеризует продуктивность посева, от начала к середине периода вегетации увеличивалась, но к фазе налива семян незначительно уменьшалась на всех исследуемых вариантах. Таким образом, наибольшая масса растений была зафиксирована в фазе начала формирования бобов. На контрольном варианте этот показатель (12,50 г на 1 растение) был больше систем с безотвальным рыхлением (10,90 г на 1 растение) на 12,92% и дискованием (9,40 г на 1 растение) на 24,95% (при $НСР_{05} = 0,60$ г на 1 растение).

Наибольшая масса клубеньков была сформирована при системе обработки почвы со вспашкой – в среднем 24,78 клубеньков на растении массой 0,374 г. На варианте с системой с безотвальным рыхлением бобово-ризобиальная система была развита несколько меньше – зафиксировано в среднем 18,53 клубенька на растении весом 0,234 г. На варианте с системой, включающей дискование, клубеньки были развиты сравнительно плохо – в среднем отмечено 7,92 клубенька на растении с массой 0,092 г (при $НСР_{05} = 2,59$ шт. на 1 растение и $НСР_{05} = 0,051$ г на 1 растение).

ГЛАВА 6 УРОЖАЙНОСТЬ СОИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СИСТЕМЫ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ

6.1 Структура урожая в зависимости от системы обработки почвы

Число бобов на растении сои зависит от густоты стояния растений, обеспеченности элементами питания и влагой, и прямо пропорционально равномерности освещения при цветении. Опытным путем установлено, что в период образования бобов для сои необходимо равномерное освещение всего растения, особенно нижнего яруса агроценоза, где сконцентрирована наибольшая масса ассимиляционного аппарата [14, 191, 193].

Количество бобов на растении очень переменчивый признак, значительно изменяется под воздействием факторов внешней среды и приемов возделывания сои. На контрольном варианте бобов на растениях сои в среднем за исследуемый период оказалась больше всего – 14,69 шт. При системе с безотвальным рыхлением их было 13,67 шт., что оказалось меньше системы со вспашкой на 6,98%, при том, что на системе с дискованием их было 11,68 шт. – меньше контроля на 20,53% (при $НСР_{05} = 1,22$ шт.) (Табл. 33).

Число семян в бобе – один из элементов структуры урожая, являющийся составной частью общей семенной продуктивности. Этот показатель почти не подвержен изменчивости внешней среды, обладает слабым коэффициентом вариации. Замечено, что даже аномально высокие температуры на фоне отсутствия осадков в течение продолжительного времени незначительно сказываются на числе семян в бобе. Однако чаще всего такие семена остаются несформированными, иногда редуцируются или абортируются [176].

Контрольный вариант характеризовался наибольшим количеством семян на растении – их здесь было в среднем 35,00 шт. Применение системы с безотвальным рыхлением способствовало незначительному снижению количества их на растениях – в среднем до 33,15 шт., что меньше системы со вспашкой на 5,29%. На фоне системы с дискованием количество зерен на

растении снижалось в среднем до 29,84 шт. – меньше контроля на 14,74% (при $НСР_{05} = 3,08$ шт.) (Табл. 33).

Таблица 33 – Структура урожая сои в зависимости от системы обработки почвы в период исследования 2020-2022 гг.

Вегетационный период		Система обработки почвы			НСР ₀₅
		1 (контроль)	2	3	
2020	Число бобов на растении, шт.	14,75	14,23	11,85	$F_{\phi} < F_{05}$
	Число семян на растении, шт.	36,10	34,38	30,83	$F_{\phi} < F_{05}$
	Масса семян на растении, г	4,91	4,56	4,22	$F_{\phi} < F_{05}$
2021	Число бобов на растении, шт.	14,13	12,78	11,23*	1,46
	Число семян на растении, шт.	32,43	30,98	27,75	$F_{\phi} < F_{05}$
	Масса семян на растении, г	4,64	4,02	3,79	$F_{\phi} < F_{05}$
2022	Число бобов на растении, шт.	15,20	14,00	11,95	$F_{\phi} < F_{05}$
	Число семян на растении, шт.	36,48	34,10	30,95	$F_{\phi} < F_{05}$
	Масса семян на растении, г	4,98	4,43	4,13	$F_{\phi} < F_{05}$
2020-2022	<i>Число бобов на растении, шт.</i>	<i>14,69</i>	<i>13,67</i>	<i>11,68*</i>	<i>1,22</i>
	<i>Число семян на растении, шт.</i>	<i>35,00</i>	<i>33,15</i>	<i>29,84*</i>	<i>3,08</i>
	<i>Масса семян на растении, г</i>	<i>4,85</i>	<i>4,34*</i>	<i>4,05*</i>	<i>0,43</i>

Однако количество семян с одного растения не показывает точной картины продуктивности, так как одно и тоже количество семян может иметь различную массу. Масса семян с растения является одним из основных элементов структуры урожая, определяющих семенную продуктивность, которая увеличивается при благоприятных условиях фазы налива семян, способствующих удлинению периода вегетации.

Масса семян с растения – это сложный количественный признак, в значительной степени зависящий от условий произрастания, его составных частей (число бобов на растении, число семян с растения, число семян в бобе, масса 1000 семян). Даже в пределах одной делянки с одинаковым агротехнологическим фоном в полевом опыте растения, относящиеся к одному и тому же генотипу, имеют различия по семенной продуктивности до 56% [17].

На варианте с системой, включающей вспашку, масса семян на растении была 4,85 г – больше других исследуемых вариантов. При том, что на фоне

системы с безотвальным рыхлением их масса оказалась 4,34 г – на 10,49% меньше контроля, а при системе с дискованием 4,05 г – на 16,46% меньше системы со вспашкой (при $НСР_{05} = 0,43$ г) (Табл. 33).

Число бобов на растении варьировалось на контрольном варианте ($R = 4,3$ шт.) больше системы с безотвальным рыхлением ($R = 3,9$ шт.), но меньше системы с дискованием ($R = 4,8$ шт.). Варьирование числа семян на растении сохраняло эту тенденцию: при системе со вспашкой размах варьирования ($R = 10,3$ шт.) оказался больше системы с безотвальным рыхлением ($R = 10,2$ шт.), но меньше системы с дискованием ($R = 15,1$ шт.). Наименьшим размахом варьирования массы семян на растении среди изучаемых систем обработки ($R = 1,37$ г) характеризовался контрольный вариант в сравнении с системами с безотвальным рыхлением ($R = 1,64$ г) или дискованием ($R = 1,87$ г) (Рис. 35).

Корреляционная умеренная связь между массой семян на растении и числом бобов выявлена на варианте с системой со вспашкой ($r = 0,77$; $p = 0,0035$), в то время как при системах с безотвальным рыхлением ($r = 0,93$; $p < 0,001$) и дискованием ($r = 0,98$; $p < 0,001$) связь между этими параметрами была сильная. На всех исследуемых вариантах оказалась сильная зависимость между массой семян и их числом на растении: и при системе со вспашкой ($r = 0,88$; $p < 0,001$), и на системе с безотвальным рыхлением ($r = 0,98$; $p < 0,001$), и на фоне системы с дискованием ($r = 0,99$; $p < 0,001$). При применении системы со вспашкой ($r = 0,58$; $p = 0,0459$) установлена слабая зависимость между массой семян и высотой растения, в то время как на фоне системы с безотвальным рыхлением ($r = 0,86$; $p < 0,001$) связь этих параметров была сильная. Кроме того, масса семян на растении при применении системы с безотвальным рыхлением ($r = 0,83$; $p < 0,001$) имела сильную корреляционную связь с воздушно-сухой массой растений сои (Табл. 34).

Число бобов на растении на фоне системы с безотвальным рыхлением ($r = 0,74$; $p < 0,0058$) имело слабую корреляционную связь с высотой растений, а при применении системы со вспашкой ($r = 0,59$; $p < 0,0429$) очень слабо коррелировало с площадью листовой поверхности растений сои (Табл. 35).

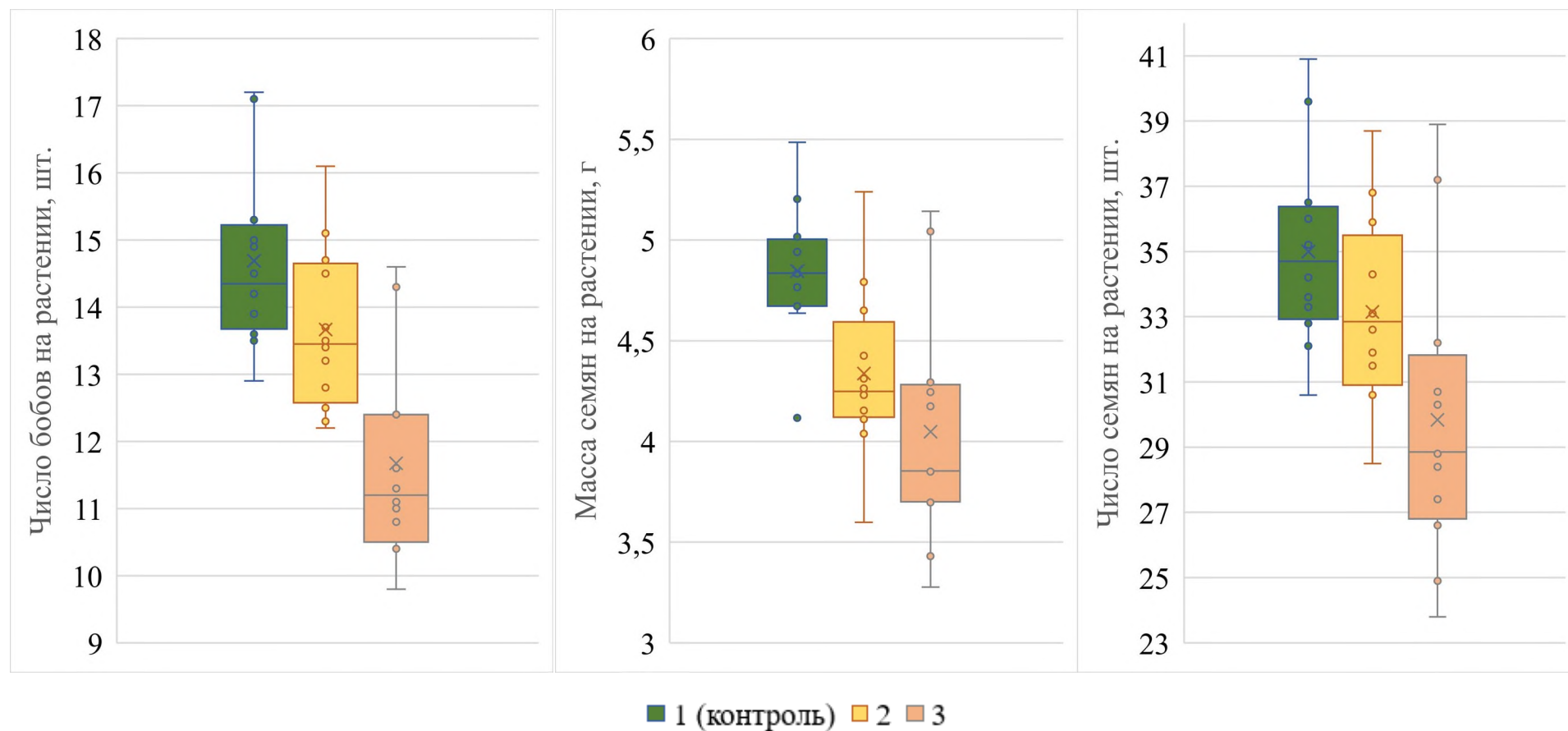


Рисунок 35 – Варьирование компонентов структуры урожая сои в период исследования в 2020-2022 гг.

Таблица 34 – Зависимость между массой семян и параметрами растений сои в период исследования 2020-2022 гг.

Система обработки почвы	Уравнение регрессии	r	r ²	p
с числом бобов на растениях сои				
1 (контроль)	$y = 0,19x + 2,02$	0,77	0,59	0,0035
2	$y = 0,32x + 0,02$	0,93	0,86	0,0000
3	$y = 0,37x - 0,31$	0,98	0,96	0,0000
с числом семян на растениях сои				
1 (контроль)	$y = 0,10x + 1,40$	0,88	0,77	0,0002
2	$y = 0,14x - 0,29$	0,98	0,95	0,0000
3	$y = 0,13x + 0,28$	0,99	0,98	0,0000
с высотой растений сои				
1 (контроль)	$y = 0,05x + 0,08$	0,58	0,34	0,0459
2	$y = 0,08x - 2,33$	0,86	0,74	0,0003
3	$y = 0,004x + 3,77$	0,02	0,00	0,9524
с массой сухого вещества растений сои				
1 (контроль)	$y = 0,09x + 3,75$	0,37	0,14	0,2397
2	$y = 0,27x + 1,42$	0,83	0,69	0,0008
3	$y = 0,13x + 2,87$	0,16	0,03	0,6137

Таблица 35 – Зависимость между числом бобов и параметрами растений сои в период исследования 2020-2022 гг.

Система обработки почвы	Уравнение регрессии	r	r ²	p
с высотой растений сои				
1 (контроль)	$y = 0,15x + 1,90$	0,39	0,16	0,2053
2	$y = 0,21x - 3,22$	0,74	0,55	0,0058
3	$y = -0,03x + 13,94$	0,06	0,00	0,8533
с площадью листовой поверхности растений сои (мм ² на 1 растение)				
1 (контроль)	$y = 0,26x - 2,15$	0,59	0,35	0,0429
2	$y = -0,07x + 17,44$	0,46	0,21	0,1319
3	$y = -0,17x + 17,73$	0,34	0,11	0,2811

Число семян на растении имело сильную корреляционную связь с высотой растений сои ($r = 0,82$; $p = 0,0010$) при применении системы с безотвальным рыхлением. На этом же варианте зависимость слабой силы выявлена между числом семян на растении и площадью листовой поверхности растений сои ($r = 0,59$; $p = 0,0425$). Кроме того, на варианте, который включал безотвальное рыхление, сильная зависимость оказалась между числом семян

на растении и воздушно-сухой массой растений сои ($r = 0,87$; $p < 0,0002$) (Табл. 36).

Таблица 36 – Зависимость между числом семян и параметрами растений сои в период исследования 2020-2022 гг.

Система обработки почвы	Уравнение регрессии	r	r ²	p
с высотой растений сои				
1 (контроль)	$y = 0,42x - 1,26$	0,50	0,25	0,0976
2	$y = 0,56x - 11,41$	0,82	0,68	0,0010
3	$y = 0,10x + 22,34$	0,07	0,00	0,8379
с площадью листовой поверхности растений сои (мм ² на 1 растение)				
1 (контроль)	$y = 0,03x + 5,33$	0,49	0,24	0,1074
2	$y = -0,01x - 44,70$	0,59	0,35	0,0425
3	$y = -0,01x + 38,80$	0,20	0,04	0,5352
с воздушно-сухой массой растений сои				
1 (контроль)	$y = 0,82x + 25,24$	0,37	0,13	0,2408
2	$y = 1,98x + 11,78$	0,87	0,76	0,0002
3	$y = 0,84x + 22,03$	0,14	0,02	0,6701

6.2 Качество зерна сои при применении различных систем обработки почвы

Натура зерна сои – это важный показатель, который отражает его качество и пригодность для дальнейшей переработки и использования. Высокая натура зерна сои говорит о том, что зерно полноценно и хорошо развито. Низкое значение этого показателя, в свою очередь, свидетельствует о недостатке питательных веществ в почве, неблагоприятных погодных условиях в течение периода вегетации или болезни растений [130]. Контрольный вариант отличался наивысшим значением этого показателя – 738,67 г/л. При применении системы с безотвальным рыхлением натура зерна была незначительно ниже системы со вспашкой (на 0,39%) и составила 735,75 г/л. На варианте с системой, включающей дискование, этот показатель был ниже контроля на 0,93% и оказался в среднем 731,83 г/л (при НСР₀₅ = 3,0 г/л).

Масса 1000 семян – показатель крупности и выполненности семян, учитываемый в граммах. Неравномерность в размере семян является

следствием формировавшихся в период вегетации условий окружающей среды, и напрямую связана с урожайностью. Высокая масса 1000 зерен обычно указывает на более крупные и качественные семена, что может свидетельствовать о высокой генетической стабильности и жизнеспособности растений [130]. Полученные результаты исследований указывают, что самая высокая продуктивность получена на варианте, включающем вспашку, – 139,67 г. На варианте с системой с безотвальным рыхлением этот показатель хоть и незначительно, но оказался меньше контроля на 2,39%, и составил 136,33 г. На фоне системы с дискованием масса 1000 семян была в среднем 132,75 г – меньше системы со вспашкой на 4,95% (при $НСР_{05} = 1,38$ г) (Табл. 37).

Таблица 37 – Качество зерна сои в зависимости от различных систем обработки почвы 2020-2022 гг.

Вегетационный период		Система обработки почвы			НСР ₀₅
		1 (контроль)	2	3	
2020	Натура, г/л	738,00	736,00	732,50	$F_{\phi} < F_{05}$
	Масса 1000 зерен, г	136,75	135,75	132,00*	2,50
	Содержание протеина, %	36,38	36,13	35,90	$F_{\phi} < F_{05}$
	Содержание жира, %	18,18	18,23	18,63	$F_{\phi} < F_{05}$
2021	Натура, г/л	737,00	733,75	729,00*	3,40
	Масса 1000 зерен, г	140,50	135,75*	129,75*	1,71
	Содержание протеина, %	34,85	33,43*	32,35*	0,39
	Содержание жира, %	21,40	21,95	22,63*	0,57
2022	Натура, г/л	741,00	737,50	734,00*	3,56
	Масса 1000 зерен, г	141,75	137,50	136,50	$F_{\phi} < F_{05}$
	Содержание протеина, %	34,98	34,18*	33,18*	0,55
	Содержание жира, %	21,30	21,40	21,93*	0,36
2020-2022	Натура, г/л	738,67	735,75	731,83	3,00
	Масса 1000 зерен, г	139,67	136,33	132,75	1,38
	Содержание протеина, %	35,40	34,58	33,81	0,39
	Содержание жира, %	20,29	20,53	21,06	0,20

Белок сои – это высококачественный растительный протеин, который содержит все незаменимые аминокислоты, что делает его ценным источником питания для людей и животных. На содержание белка в зернах сои влияют различные факторы, включая генетические характеристики сорта, климатические условия (температура, влажность), тип почвы и используемые агроприемы (удобрения, полив, севооборот). Недостаток влаги в период цветения может привести к снижению содержания белка, в то время как оптимальные условия роста способствуют его увеличению [130]. Содержание белка в зерне было больше при системе со вспашкой (35,4%), по сравнению с системами с безотвальным рыхлением (34,6%) и дискованием (33,8%) соответственно в 1,02 и 1,05 раза, (при $НСР_{05} = 0,39\%$).

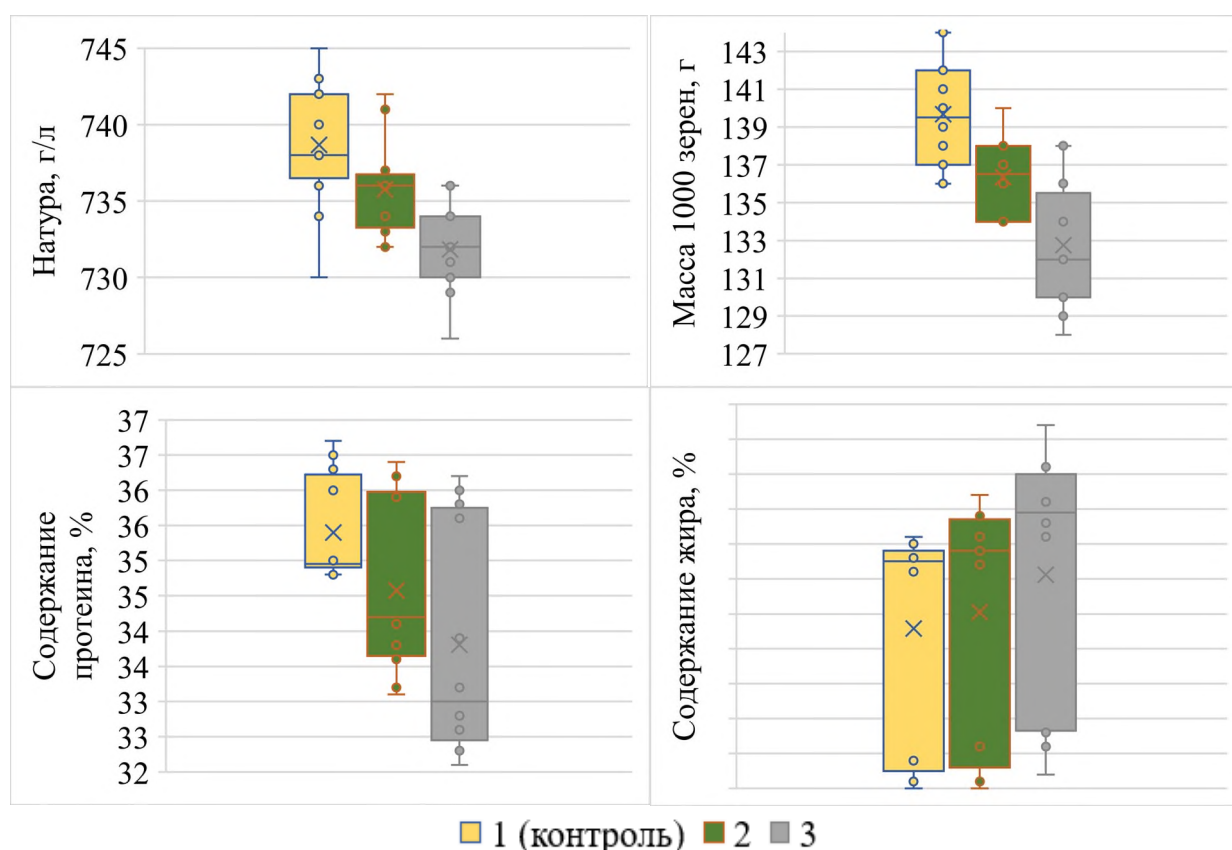


Рисунок 36 – Варьирование показателей качества зерна сои в зависимости от различных систем обработки почвы

Содержание жира в соевых бобах, также, как и белка, варьируется в зависимости от различных факторов (условия выращивания, климат,

агротехнические методы выращивания) [130]. Количество жира при применении системы со вспашкой было в среднем 20,3%, в то время как при системах с безотвальным рыхлением (20,5%) и дискованием (21,1%), уровень содержания этого элемента в семенах сои был выше соответственно в 1,01 и 1,04 раза (при $НСР_{05} = 0,20\%$). Видно, что изучаемые системы обработки почвы оказывали определенное влияние на главные показатели качества семян сои. При минимизации системы обработки почвы несколько снижалась белковость и повышалось содержание жира в семенах сои (Табл. 37).

Таблица 38 – Зависимость между натурой зерна и параметрами растений сои в зависимости от систем обработки почвы 2020-2022 гг.

Система обработки почвы	Уравнение регрессии	r	r ²	p
с высотой растений, см				
1 (контроль)	$y = 0,76x + 672,82$	0,65	0,43	0,0213
2	$y = -0,16x + 749,66$	0,23	0,05	0,4640
3	$y = 0,50x + 693,33$	0,53	0,28	0,0791
с площадью листовой поверхности, мм ² на 1 растение				
1 (контроль)	$y = -0,01x + 750,981$	0,15	0,02	0,6517
2	$y = 0,005x + 731,271$	0,21	0,04	0,5135
3	$y = 0,03x + 711,92$	0,68	0,47	0,0141
с площадью листовой поверхности, тыс. м ² /га				
1 (контроль)	$y = -0,24x + 754,38$	0,18	0,03	0,5806
2	$y = 0,9x + 731,17$	0,21	0,05	0,5035
3	$y = 0,68x + 707,69$	0,70	0,49	0,0116
высотой прикрепления нижнего боба, см				
1 (контроль)	$y = -0,15x + 742,66$	0,20	0,04	0,5337
2	$y = -0,67x + 751,32$	0,65	0,42	0,0231
3	$y = -0,45x + 743,18$	0,33	0,11	0,2958

Таблица 39 – Зависимость между массой 1000 зерен и высотой прикрепления нижнего боба в зависимости от систем обработки почвы 2020-2022 гг.

Система обработки почвы	Уравнение регрессии	r	r ²	p
1 (контроль)	$y = 0,03x + 138,94$	0,05	0,00	0,8749
2	$y = -0,29x + 143,02$	0,44	0,19	0,1564
3	$y = -1,12x + 160,97$	0,72	0,51	0,0086

Натура зерна на контрольном варианте ($R = 15,00$ г/л) варьировалось больше систем с безотвальным рыхлением и дискованием, где варьирование было одинаковым ($R = 10,00$ г/л). Варьирование массы 1000 зерен при применении системы со вспашкой ($R = 8,00$ г) было больше, чем при системе с безотвальным рыхлением ($R = 6,00$ г), но меньше, чем при системе с дискованием ($R = 10,00$ г). Наименьшим размахом варьирования содержания белка в соевых бобах среди изучаемых систем обработки ($R = 1,90\%$) характеризовался контрольный вариант в сравнении с системами с безотвальным рыхлением ($R = 3,30\%$) или дискованием ($R = 4,10\%$). Варьирование содержания жира в семенах сохраняло эту тенденцию: при системе со вспашкой размах варьирования ($R = 3,60\%$) оказался наименьшим, в то время как при системах с безотвальным рыхлением $R = 4,20\%$ и дискованием $R = 5,00\%$ он был больше (Рис. 36).

В результате проведенных исследований установлено, что при применении системы со вспашкой натура зерна сои имела умеренную корреляционную связь с высотой растений ($r = 0,65$; $p = 0,0213$). На фоне системы с безотвальным рыхлением натура умеренно коррелировала с высотой прикрепления нижнего боба ($r = 0,65$; $p = 0,0231$). На варианте с системой с безотвальным рыхлением натура зерна имела умеренную корреляционную связь с площадью листовой поверхности растений сои ($r = 0,68 \dots 0,70$; $p = 0,0141 \dots 0,0116$) (Табл. 38).

Масса 1000 зерен имела умеренную корреляционную связь с высотой прикрепления нижнего боба ($r = 0,72$; $p = 0,0086$) на варианте с системой с дискованием (Табл. 39).

6.3 Урожайность сои и ее зависимость от изучаемых показателей

Урожайность сои – это ключевой показатель, отражающий количество зерна, получаемого с единицы площади, подтверждающий эффективность того или иного приема возделывания. На урожайность сои влияют такие

факторы, как уровень питания растений, наличие влаги, погодные условия. Оптимизация этих факторов в сочетании с правильным выбором метода обработки почвы может значительно повысить этот показатель продуктивности растений [11].

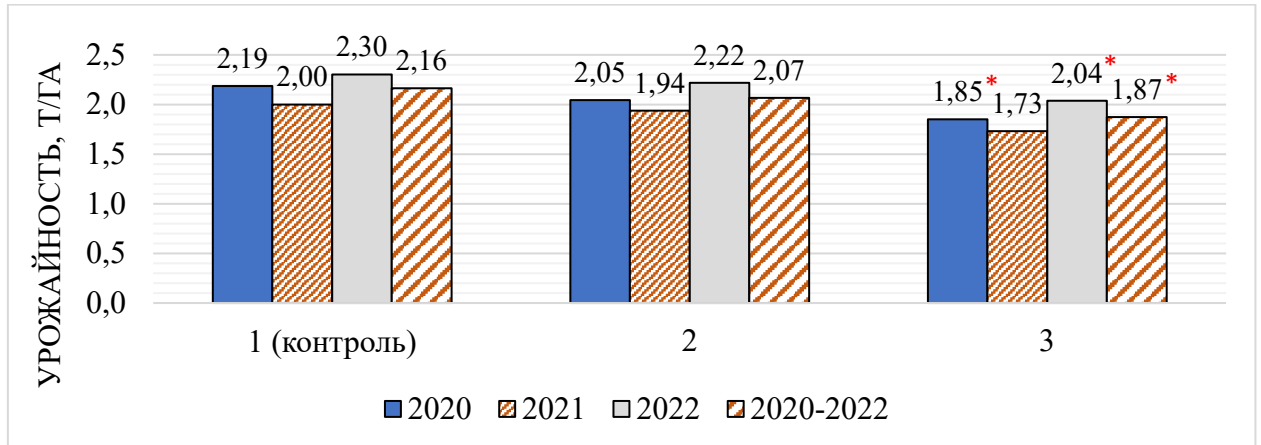


Рисунок 37 – Урожайность сои при различных системах обработки почвы в 2020-2022 гг., т/га ($НСР_{05}$ в 2020 г. = 0,25 т/га, $НСР_{05}$ в 2022 г. = 0,17 т/га, $НСР_{05}$ в среднем за 2020-2022 гг. = 0,15 т/га)

Контрольный вариант характеризовался наиболее высокой урожайностью – она здесь была в среднем 2,16 т/га. Применение системы с безотвальным рыхлением способствовало незначительному ее снижению в среднем до 2,07 т/га – меньше системы со вспашкой на 4,43%. На фоне системы с дискованием урожайность снижалось в среднем до 1,87 т/га, что меньше контроля на 13,37% (при $НСР_{05} = 0,15$ т/га) (Рис. 37).

Наибольшим размахом варьирования урожайности сои с единицы площади среди изучаемых систем обработки ($R = 0,64$ т/га) характеризовался контрольный вариант в сравнении с системами с безотвальным рыхлением ($R = 0,51$ т/га) и дискованием ($R = 0,47$ т/га) (Рис. 38).

Урожайность сои при применении различных методов обработки почвы зависит от сочетания множества факторов. Оптимальный выбор системы

обработки может существенно повысить урожайность, улучшить здоровье почвы и обеспечить устойчивость агроэкосистемы [106].

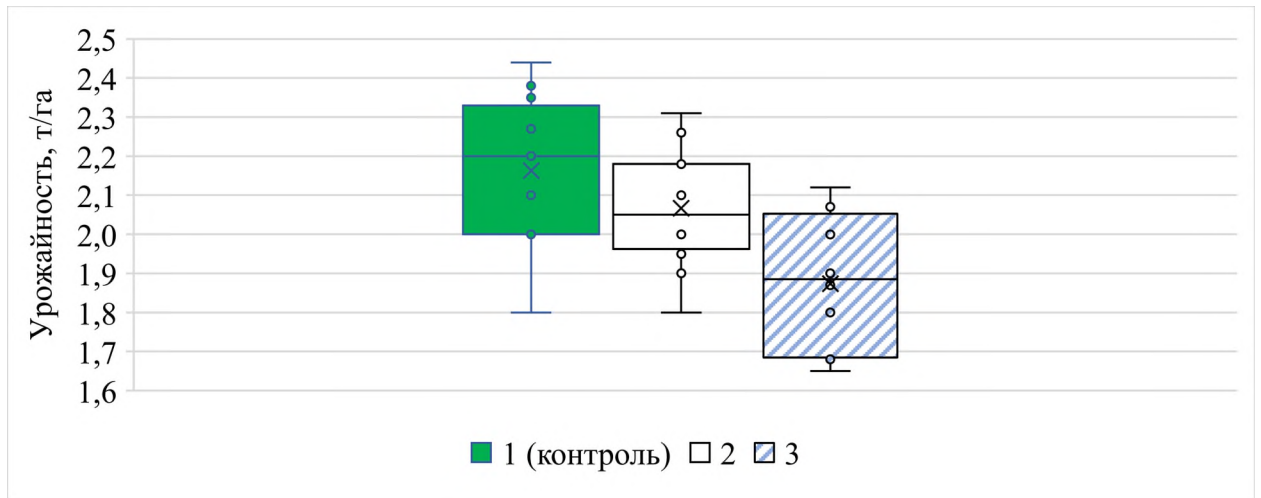


Рисунок 38 – Варьирование урожайности сои при различных системах обработки почвы в 2020-2022 гг., т/га

В наибольшей степени урожайность изучаемой культуры зависела от агрофизических и агрохимических показателей плодородия почвы. Так, на фоне системы со вспашкой корреляционно-регрессионный анализ установил наличие умеренной связи между урожайностью сои и уровнем подвижного фосфора, причем во всем исследуемом горизонте почв: в слое 0...30 см – $r = 0,64$, $p = 0,0258$; в слое 30...50 см – $r = 0,63$, $p = 0,0267$; в слое 50...100 см – $r = 0,69$, $p = 0,0134$; в слое 0...100 см – $r = 0,66$, $p = 0,0190$. С количеством обменного калия в верхнем пахотном слое почвы 0...30 см урожайность на контрольном варианте имела умеренную корреляционную связь ($r = 0,69$, $p = 0,0124$), в то время как с уровнем этого элемента в среднем по слою 0...100 см связь оказалась слабой ($r = 0,58$, $p = 0,0469$). Обменная кислотность почвы в верхнем пахотном слое почвы и урожайность имели слабую корреляционную зависимость ($r = 0,58$, $p = 0,0497$), в то время как в других слоях исследуемого горизонта эта связь была умеренной: в слое 30...50 см – $r = 0,78$, $p = 0,0030$; в слое 50...100 см – $r = 0,73$, $p = 0,0073$; в слое 0...100 см – $r = 0,70$, $p = 0,0116$. Гидролитическая кислотность на этом варианте только в слое 30...50 см

Таблица 40 – Связь урожайности сои с агрофизическими и агрохимическими показателями плодородия почвы

Показатель	Слой почвы	1 (контроль)				2				3			
		Уравнение регрессии	r	r ²	p	Уравнение регрессии	r	r ²	p	Уравнение регрессии	r	r ²	p
Плотность	0-30 см	$y = 0,21x + 1,94$	0,03	0,00	0,9384	$y = -3,23x + 5,64$	0,38	0,15	0,2200	$y = -0,93x + 2,97$	0,09	0,01	0,7795
	30-50 см	$y = 4,25x - 2,82$	0,37	0,14	0,2317	$y = 0,41x + 1,57$	0,07	0,01	0,8215	$y = 3,72x - 2,90$	0,48	0,23	0,1122
	0-50 см	$y = 2,83x - 1,00$	0,21	0,04	0,5211	$y = -2,23x + 4,61$	0,22	0,05	0,4899	$y = 2,19x - 0,80$	0,21	0,04	0,5161
Доступная влага	0-30 см	$y = 0,002x + 2,00$	0,51	0,26	0,0926	$y = 0,002x + 1,86$	0,65	0,43	0,0216	$y = 0,002x + 1,73$	0,59	0,35	0,0440
	30-50 см	$y = 0,003x + 2,02$	0,55	0,31	0,0625	$y = 0,004x + 1,80$	0,77	0,59	0,0037	$y = 0,002x + 1,74$	0,51	0,26	0,0874
	0-50 см	$y = 0,001x + 2,01$	0,53	0,28	0,0785	$y = 0,002x + 1,82$	0,72	0,52	0,0081	$y = 0,001x + 1,72$	0,59	0,34	0,0447
Гумус	0-30 см	$y = 0,11x + 1,65$	0,52	0,27	0,0842	$y = 0,10x + 1,62$	0,75	0,57	0,0048	$y = 0,10x + 1,43$	0,68	0,47	0,0145
	30-50 см	$y = 0,09x + 1,80$	0,46	0,21	0,1346	$y = 0,11x + 1,71$	0,73	0,53	0,0074	$y = 0,20x + 1,18$	0,69	0,47	0,0137
	50-100 см	$y = 0,20x + 1,79$	0,56	0,31	0,0594	$y = 0,20x + 1,75$	0,73	0,53	0,0076	$y = 0,26x + 1,42$	0,62	0,39	0,0308
	0-100 см	$y = 0,14x + 1,72$	0,53	0,28	0,0782	$y = 0,14x + 1,68$	0,74	0,55	0,0058	$y = 0,17x + 1,38$	0,67	0,45	0,0178
NH ₄	0-30 см	$y = -0,01x + 2,33$	0,14	0,02	0,6684	$y = -0,01x + 2,25$	0,16	0,03	0,6219	$y = -0,008x + 2,01$	0,18	0,03	0,5698
	30-50 см	$y = 0,02x + 2,00$	0,14	0,02	0,6614	$y = -0,004x + 2,10$	0,05	0,00	0,8723	$y = -0,05x + 2,24$	0,47	0,23	0,1189
	50-100 см	$y = -0,02x + 2,26$	0,16	0,03	0,6232	$y = -0,07x + 2,39$	0,53	0,28	0,0744	$y = -0,13x + 2,45$	0,59	0,35	0,0433
	0-100 см	$y = -0,02x + 2,31$	0,12	0,01	0,7070	$y = -0,05x + 2,50$	0,38	0,14	0,2261	$y = -0,04x + 2,19$	0,36	0,13	0,2564
P ₂ O ₅	0-30 см	$y = 0,007x + 1,81$	0,64	0,41	0,0258	$y = 0,008x + 1,66$	0,67	0,44	0,0179	$y = 0,006x + 1,56$	0,76	0,57	0,0043
	30-50 см	$y = 0,006x + 1,91$	0,63	0,40	0,0267	$y = 0,008x + 1,66$	0,75	0,56	0,0048	$y = 0,008x + 1,49$	0,73	0,54	0,0065
	50-100 см	$y = 0,01x + 1,63$	0,69	0,47	0,0134	$y = 0,01x + 1,35$	0,75	0,56	0,0053	$y = 0,01x + 1,41$	0,74	0,55	0,0060
	0-100 см	$y = 0,008x + 1,76$	0,66	0,44	0,0190	$y = 0,01x + 1,52$	0,74	0,55	0,0060	$y = 0,008x + 1,48$	0,75	0,57	0,0046
K ₂ O	0-30 см	$y = -0,005x + 2,64$	0,69	0,48	0,0124	$y = -0,004x + 2,42$	0,79	0,62	0,0024	$y = -0,006x + 2,35$	0,70	0,48	0,0119
	30-50 см	$y = -0,006x + 2,56$	0,57	0,32	0,0530	$y = -0,005x + 2,41$	0,77	0,60	0,0033	$y = -0,01x + 2,43$	0,72	0,51	0,0086
	50-100 см	$y = -0,005x + 2,53$	0,48	0,23	0,1139	$y = -0,006x + 2,47$	0,73	0,53	0,0069	$y = -0,008x + 2,40$	0,75	0,57	0,0046
	0-100 см	$y = -0,006x + 2,59$	0,58	0,34	0,0469	$y = -0,005x + 2,45$	0,77	0,59	0,0037	$y = -0,007x + 2,39$	0,73	0,54	0,0068

Продолжение таблицы 40

Показатель	Слой почвы	1 (контроль)				2				3			
		Уравнение регрессии	r	r ²	p	Уравнение регрессии	r	r ²	p	Уравнение регрессии	r	r ²	p
pH	0-30 см	$y = 0,43x - 0,43$	0,53	0,28	0,0785	$y = 0,83x - 2,94$	0,73	0,53	0,0070	$y = 0,58x - 1,60$	0,35	0,12	0,2689
	30-50 см	$y = 0,74x - 2,33$	0,29	0,08	0,3627	$y = 0,55x - 1,33$	0,58	0,34	0,0467	$y = 0,49x - 1,14$	0,61	0,37	0,0363
	50-100 см	$y = 0,41x - 0,41$	0,26	0,07	0,4184	$y = 0,81x - 3,21$	0,53	0,28	0,0743	$y = 0,46x - 1,13$	0,70	0,49	0,0116
	0-100 см	$y = 0,68x - 1,98$	0,45	0,20	0,1453	$y = 1,03x - 4,39$	0,71	0,50	0,0096	$y = 0,61x - 1,95$	0,67	0,45	0,0166
pH _{KCL}	0-30 см	$y = 0,26x + 0,79$	0,58	0,33	0,0497	$y = 0,31x + 0,38$	0,82	0,67	0,0011	$y = 0,27x + 0,42$	0,32	0,10	0,3061
	30-50 см	$y = 0,51x - 0,54$	0,78	0,60	0,0030	$y = 0,37x + 0,008$	0,77	0,59	0,0034	$y = 0,32x + 0,10$	0,63	0,40	0,0280
	50-100 см	$y = 0,35x + 0,31$	0,73	0,53	0,0073	$y = 0,31x + 0,35$	0,62	0,39	0,0303	$y = 0,18x + 0,81$	0,68	0,46	0,0152
	0-100 см	$y = 0,35x + 0,29$	0,70	0,49	0,0116	$y = 0,35x + 0,12$	0,75	0,57	0,0048	$y = 0,27x + 0,37$	0,66	0,43	0,0200
pH _г	0-30 см	$y = -0,04x + 2,36$	0,46	0,21	0,1361	$y = -0,09x + 2,43$	0,61	0,38	0,0341	$y = -0,07x + 2,16$	0,61	0,37	0,0345
	30-50 см	$y = -0,07x + 2,44$	0,63	0,40	0,0273	$y = -0,09x + 2,36$	0,56	0,31	0,0589	$y = -0,06x + 2,10$	0,66	0,44	0,0186
	50-100 см	$y = -0,08x + 2,41$	0,55	0,30	0,0655	$y = -0,09x + 2,26$	0,52	0,27	0,0845	$y = -0,09x + 2,13$	0,74	0,54	0,0065
	0-100 см	$y = -0,07x + 2,41$	0,54	0,29	0,0684	$y = -0,10x + 2,35$	0,58	0,33	0,0500	$y = -0,08x + 2,14$	0,69	0,47	0,0138
Сумма обменных оснований	0-30 см	$y = -0,13x + 5,43$	0,34	0,11	0,2824	$y = 0,06x + 0,60$	0,72	0,52	0,0083	$y = 0,02x + 1,16$	0,76	0,58	0,0040
	30-50 см	$y = 0,003x + 2,09$	0,03	0,00	0,9326	$y = 0,05x + 0,86$	0,71	0,50	0,0099	$y = 0,02x + 1,34$	0,66	0,44	0,0185
	50-100 см	$y = 0,13x - 0,76$	0,69	0,47	0,0138	$y = 0,04x + 0,98$	0,74	0,55	0,0059	$y = 0,02x + 1,43$	0,70	0,49	0,0109
	0-100 см	$y = 0,32x - 5,34$	0,72	0,52	0,0084	$y = 0,05x + 0,82$	0,74	0,55	0,0059	$y = 0,02x + 1,34$	0,71	0,51	0,0092

оказывала умеренное влияние на сбор зерна с единицы площади ($r = 0,63$, $p = 0,0273$). Сумма обменных оснований имела умеренную корреляционную связь с урожайностью: в слое 50...100 см – $r = 0,69$, $p = 0,0138$; в слое 0...100 см – $r = 0,72$, $p = 0,0084$).

При применении системы с безотвальным рыхлением урожайность имела умеренную корреляционную связь с количеством доступной влаги в течение периода вегетации: в слое 0...30 см – $r = 0,65$, $p = 0,0216$; в слое 30...50 см – $r = 0,77$, $p = 0,0037$; в слое 0...50 см – $r = 0,72$, $p = 0,0081$. С количеством гумуса связь урожайности в исследуемом горизонте почв была умеренной силы: в слое 0...30 см – $r = 0,75$, $p = 0,0048$; в слое 30...50 см – $r = 0,73$, $p = 0,0074$; в слое 50...100 см – $r = 0,73$, $p = 0,0076$; в слое 0...100 см – $r = 0,74$, $p = 0,0058$. На этом варианте корреляционно-регрессионный анализ установил наличие умеренной связи между урожайностью сои и уровнем подвижного фосфора, причем во всем исследуемом горизонте почв: в слое 0...30 см – $r = 0,67$, $p = 0,0179$; в слое 30...50 см – $r = 0,75$, $p = 0,0048$; в слое 50...100 см – $r = 0,75$, $p = 0,0053$; в слое 0...100 см – $r = 0,74$, $p = 0,0060$). Количество обменного калия так же имело умеренную корреляционную связь с урожайностью: в слое 0...30 см – $r = 0,79$, $p = 0,0024$; в слое 30...50 см – $r = 0,77$, $p = 0,0033$; в слое 50...100 см – $r = 0,73$, $p = 0,0069$; в слое 0...100 см – $r = 0,77$, $p = 0,0037$). Актуальная кислотность в верхнем пахотном слое почвы 0...30 см ($r = 0,73$, $p = 0,0070$) и в среднем по исследуемому горизонту почв 0...100 см ($r = 0,71$, $p = 0,0096$) имела умеренную корреляционную зависимость с урожайностью, в то время как в слое 30...50 см эта связь была слабой ($r = 0,58$, $p = 0,0467$). На варианте с системой, включающей безотвальное рыхление, между урожайностью и обменной кислотностью почвы в слое 0...100 см также установлена значимая корреляция, причем в слое 0...30 см сильная ($r = 0,82$, $p = 0,0011$), а в других слоях умеренная: в слое 30...50 см – $r = 0,77$, $p = 0,0034$; в слое 50...100 см – $r = 0,62$, $p = 0,0303$; в слое 0...100 см – $r = 0,75$, $p = 0,0048$. Гидролитическая кислотность на этом варианте только в слое 0...30 см оказывала умеренное влияние на сбор зерна с единицы площади ($r = 0,61$, $p =$

0,0341). Во всем исследуемом горизонте почв на этом варианте оказалась умеренная связь между урожайностью сои и суммой обменных оснований в почве: в слое 0...30 см – $r = 0,72$, $p = 0,0083$; в слое 30...50 см – $r = 0,71$, $p = 0,0099$; в слое 50...100 см – $r = 0,74$, $p = 0,0059$; в слое 0...100 см – $r = 0,74$, $p = 0,0059$.

На варианте с системой с дискованием урожайность слабо коррелировала с уровнем доступной влаги в почве: в слое 0...30 см – $r = 0,59$, $p = 0,0440$; в слое 0...50 см – $r = 0,59$, $p = 0,0447$. Умеренную корреляционную связь с количеством органического вещества во всем исследуемом горизонте почв урожайность имела с гумусом: в слое 0...30 см – $r = 0,68$, $p = 0,0145$; в слое 30...50 см – $r = 0,69$, $p = 0,0137$; в слое 50...100 см – $r = 0,62$, $p = 0,0308$; в слое 0...100 см – $r = 0,67$, $p = 0,0178$. Слабо от уровня нитратного азота на этом варианте урожайность зависела в слое почвы 50...100 см ($r = 0,59$, $p = 0,0433$). Умеренная связь между урожайностью сои и уровнем подвижного фосфора оказалась во всем исследуемом горизонте почв: в слое 0...30 см – $r = 0,76$, $p = 0,0043$; в слое 30...50 см – $r = 0,73$, $p = 0,0065$; в слое 50...100 см – $r = 0,74$, $p = 0,0060$; в слое 0...100 см – $r = 0,75$, $p = 0,0046$. Количество обменного калия также имело умеренную корреляционную связь с урожайностью в слое 0...100 см: в слое 0...30 см – $r = 0,70$, $p = 0,0119$; в слое 30...50 см – $r = 0,72$, $p = 0,0086$; в слое 50...100 см – $r = 0,75$, $p = 0,0046$; в слое 0...100 см – $r = 0,73$, $p = 0,0068$. Актуальная кислотность почвы во всех слоях исследуемого горизонта почв, кроме слоя 0...30 см, имела умеренную корреляционную связь с урожайностью: в слое 30...50 см – $r = 0,61$, $p = 0,0363$; в слое 50...100 см – $r = 0,70$, $p = 0,0116$; в слое 0...100 см – $r = 0,67$, $p = 0,0166$. Также на этом варианте умеренная зависимость имела между обменной кислотностью почвы и урожайностью в слоях, кроме верхнего 0...30 см: в слое 30...50 см – $r = 0,63$, $p = 0,0280$; в слое 50...100 см – $r = 0,68$, $p = 0,0152$; в слое 0...100 см – $r = 0,66$, $p = 0,0200$. Гидролитическая кислотность при системе с дискованием в исследуемых слоях оказывала умеренное влияние на сбор зерна с единицы площади: в слое 0...30 см – $r = 0,61$, $p = 0,0345$; в слое 30...50 см – $r = 0,66$, $p =$

Таблица 41 – Связь урожайности сои с изучаемыми показателями

Показатель		1 (контроль)				2				2			
		Уравнение регрессии	r	r ²	p	Уравнение регрессии	r	r ²	p	Уравнение регрессии	r	r ²	p
Численность однолетних сорных растений	до обработки гербицидом	$y = -0,002x + 2,28$	0,13	0,02	0,6959	$y = 0,003x + 1,89$	0,10	0,01	0,7648	$y = -0,001x + 1,98$	0,10	0,01	0,7540
	в фазе налив семян	$y = 0,0004x + 2,16$	0,00	0,00	0,9896	$y = 0,04x + 1,94$	0,41	0,17	0,1832	$y = 0,0003x + 1,87$	0,00	0,00	0,9905
Численность многолетних сорных растений	до обработки гербицидом	$y = 0,001x + 2,16$	0,01	0,00	0,9687	$y = 0,01x + 2,00$	0,11	0,01	0,7233	$y = -0,005x + 1,92$	0,10	0,01	0,7662
	в фазе налив семян	$y = -0,000x + 2,16$	0,00	0,00	1,0000	$y = -0,02x + 2,11$	0,20	0,04	0,5268	$y = -0,01x + 1,91$	0,16	0,03	0,6142
Численность сорных растений общая	до обработки гербицидом	$y = -0,002x + 2,29$	0,12	0,02	0,6996	$y = 0,003x + 1,87$	0,12	0,01	0,7209	$y = -0,001x + 1,98$	0,11	0,01	0,7422
	в фазе налив семян	$y = 0,0004x + 2,16$	0,00	0,00	0,9892	$y = 0,01x + 2,00$	0,18	0,03	0,5732	$y = -0,004x + 1,92$	0,09	0,01	0,7758
Воздушно-сухая масса сорных растений	до обработки гербицидом	$y = -0,003x + 2,32$	0,28	0,08	0,3725	$y = 0,0005x + 2,03$	0,09	0,01	0,7692	$y = 0,002x + 1,75$	0,26	0,07	0,4129
	в фазе налив семян	$y = 0,005x + 2,10$	0,19	0,03	0,5617	$y = 0,004x + 1,98$	0,27	0,07	0,4040	$y = -0,0005x + 1,89$	0,04	0,00	0,9059
Площадь листовой поверхности растений сои	мм ² на 1 растение	$y = 0,002x - 0,49$	0,69	0,47	0,0132	$y = -0,0004x + 2,41$	0,34	0,11	0,2818	$y = 0,0005x + 1,56$	0,18	0,03	0,5727
	тыс. м ² /га	$y = 0,05x - 0,80$	0,74	0,54	0,0064	$y = -0,007x + 2,42$	0,35	0,12	0,2710	$y = 0,003x + 1,78$	0,05	0,00	0,8824
Высота растений сои		$y = 0,02x + 0,06$	0,46	0,21	0,1338	$y = 0,02x + 0,45$	0,57	0,33	0,0529	$y = 0,02x + 0,21$	0,38	0,15	0,2168
Высота прикрепления нижнего боба		$y = -0,02x + 2,81$	0,71	0,51	0,0091	$y = -0,04x + 2,91$	0,73	0,53	0,0073	$y = -0,06x + 3,34$	0,72	0,52	0,0080
Воздушно-сухая масса растений сои		$y = 0,09x + 1,14$	0,61	0,37	0,0368	$y = 0,07x + 1,26$	0,63	0,39	0,0289	$y = 0,12x + 0,74$	0,52	0,27	0,0815
Число активных клубеньков		$y = 0,0006x + 2,15$	0,01	0,00	0,9757	$y = -0,002x + 2,10$	0,03	0,00	0,9374	$y = -0,02x + 2,02$	0,11	0,01	0,7351
Масса активных клубеньков		$y = 0,64x - 1,92$	0,25	0,06	0,4341	$y = 0,20x - 2,02$	0,07	0,00	0,8398	$y = 1,98x - 1,69$	0,52	0,27	0,0836

0,0186; в слое 50...100 см – $r = 0,74$, $p = 0,0065$; в слое 0...100 см – $r = 0,69$, $p = 0,0138$. Во всем исследуемом горизонте почв на этом варианте оказалась умеренная связь между урожайностью сои и суммой обменных оснований в почве: в слое 0...30 см – $r = 0,76$, $p = 0,0040$; в слое 30...50 см – $r = 0,66$, $p = 0,0185$; в слое 50...100 см – $r = 0,70$, $p = 0,0109$; в слое 0...100 см – $r = 0,71$, $p = 0,0092$) (Табл. 40).

На контрольном варианте урожайность сои имела значимую умеренную корреляционную зависимость с площадью листовой поверхности растений сои ($r = 0,69...0,74$, $p = 0,0132...0,0064$). Кроме того, при применении этой системы обработки урожайность умеренно зависела от высоты прикрепления нижнего боба ($r = 0,71$, $p = 0,0091$) и воздушно-сухой массы растений сои ($r = 0,61$, $p = 0,0368$).

На фоне системы с безотвальным рыхлением корреляционно-регрессионный анализ установил наличие умеренной связи между урожайностью сои и высотой прикрепления нижнего боба ($r = 0,73$, $p = 0,0073$), а также между урожайностью и воздушно-сухой массой растений сои ($r = 0,63$, $p = 0,0289$).

На варианте с системой с дискованием сбор зерна сои с единицы площади находился в корреляционной зависимости от высоты прикрепления нижнего боба на растениях сои ($r = 0,72$, $p = 0,0080$) (Табл. 41).

Заключение к главе 6. Структура урожая сои является важным агрономическим показателем, который отражает не только количество собранного урожая, но и его качество, а также устойчивость к внешним факторам. При применении различных систем обработки почвы, включающих вспашку, безотвальное рыхление и дискование, структура урожая сои может значительно изменяться, что обусловлено различными факторами, включая физические, химические и биологические свойства почвы.

Количество бобов на растении на контрольном варианте в среднем за исследуемый период оказалась наибольшим – 14,69 шт. При системе с безотвальным рыхлением их было 13,67 шт. – меньше системы со вспашкой

на 6,98%, при том, что на системе с дискованием их было в 11,68 шт. – меньше контроля на 20,53% (при $НСР_{05} = 1,22$ шт.).

Число семян на растении на фоне системы со вспашкой было наибольшим – в среднем 35,00 шт. Применение системы с безотвальным рыхлением характеризовалось незначительным снижением их количества на растениях в среднем до 33,15 шт. – меньше системы со вспашкой на 5,29%. На фоне системы с дискованием количество зерен на растении снижалось в среднем до 29,84 шт., что меньше контроля на 14,74% (при $НСР_{05} = 3,08$ шт.).

Масса семян на растении на варианте, включающем вспашку, была 4,85 г – больше других исследуемых вариантов. При том, что на фоне системы с безотвальным рыхлением их масса оказалась 4,34 г – на 10,49% меньше контроля, а при системе с дискованием 4,05 г – на 16,46% меньше системы со вспашкой (при $НСР_{05} = 0,43$ г).

Качество зерна сои является одним из ключевых факторов, определяющих его конкурентоспособность на рынке. Важность этого показателя невозможно переоценить, так как от него зависят не только экономические показатели, но и безопасность продукции. Качество зерна сои включает в себя такие характеристики, как натура, масса 1000 семян, содержание белка и масла.

Контрольный вариант отличался наивысшим значением натуре – 738,67 г/л. При применении системы с безотвальным рыхлением этот показатель был незначительно ниже системы со вспашкой – на 0,39% и составил 735,75 г/л. На варианте с системой, включающей дискование, этот показатель был ниже контроля на 0,93% и оказался в среднем 731,83 г/л (при $НСР_{05} = 3,0$ г/л).

Самая высокая масса 1000 семян получена на варианте системой со вспашкой – 139,67 г. На варианте с системой с безотвальным рыхлением этот показатель хоть и незначительно, но оказался меньше контроля на (2,39%) и составил 136,33 г. На фоне системы с дискованием масса 1000 семян была в среднем 132,75 г – меньше системы со вспашкой на 4,95% (при $НСР_{05} = 1,38$ г).

Содержание белка в зерне было больше при системе со вспашкой – 35,4%, чем при системах с безотвальным рыхлением (34,6%) и дискованием (33,8%), соответственно в 1,02 и 1,05 раза (при $НСР_{05} = 0,39\%$).

Количество жира при применении системы с отвальной обработкой составляло в среднем 20,3%, в то время как при системах с безотвальным рыхлением (20,5%) и дискованием (21,1%) уровень содержания этого элемента в семенах сои был выше соответственно в 1,01 и 1,04 раза (при $НСР_{05} = 0,20\%$).

Наиболее высокой урожайностью характеризовался контрольный вариант – она здесь была в среднем 2,16 т/га. Применение системы с безотвальным рыхлением давало незначительное ее снижение – в среднем до 2,07 т/га, меньше системы со вспашкой на 4,43%. На фоне системы с дискованием урожайность снижалось в среднем до 1,87 т/га, что меньше контроля на 13,37% (при $НСР_{05} = 0,15$ т/га).

В результате проведенного корреляционного анализа установлено, что при применении системы со вспашкой урожайность имела значимую умеренную связь с уровнем подвижного фосфора в почве в слое 0...100 см ($r = 0,63...0,69$, $p = 0,0267...0,0134$), уровнем обменного калия в пахотном слое почвы 0...30 см ($r = 0,69$, $p = 0,0124$), обменной кислотностью в слое 0...100 см ($r = 0,70...0,78$, $p = 0,0116...0,0030$), гидролитической кислотностью в слое 30...50 см ($r = 0,63$, $p = 0,0273$), суммой обменных оснований в слое 0...100 см ($r = 0,69...0,72$, $p = 0,0138...0,0084$), площадью листовой поверхности растений сои ($r = 0,69...0,74$, $p = 0,0132...0,0064$), высотой прикрепления нижнего боба ($r = 0,71$, $p = 0,0091$), воздушно-сухой массой растений сои ($r = 0,61$, $p = 0,0368$). Слабая зависимость на этом варианте установлена между урожайностью и уровнем обменного калия в среднем в слое 0...100 см ($r = 0,58$, $p = 0,0469$), урожайностью и гидролитической кислотностью в слое 0...30 см ($r = 0,58$, $p = 0,0497$).

На фоне системы с безотвальным рыхлением сильная зависимость выявлена между урожайностью и гидролитической кислотностью в верхнем

пахотном слое 0...30 см ($r = 0,82$, $p = 0,0011$). Умеренная корреляция установлена на этом варианте между урожайностью и количеством доступной влаги в слое почвы 0...50 см ($r = 0,65...0,77$, $p = 0,0216...0,0037$), гумусом в слое 0...100 см ($r = 0,73...0,75$, $p = 0,0076...0,0048$), подвижным фосфором ($r = 0,67...0,75$, $p = 0,0179...0,0048$), обменным калием ($r = 0,73...0,79$, $p = 0,0069...0,0024$), актуальной кислотностью в слое 0...30 см и в среднем по слою 0...100 см ($r = 0,71...0,73$, $p = 0,0096...0,0070$), обменной кислотностью в слое 30...100 см и в среднем по слою 0...100 с ($r = 0,62...0,77$, $p = 0,0303...0,0034$), гидролитической кислотностью в слое 0...30 см ($r = 0,61$, $p = 0,0341$), суммой обменных оснований в слое 0...100 см ($r = 0,71...0,74$, $p = 0,0099...0,0059$), высотой прикрепления нижнего боба ($r = 0,73$, $p = 0,0073$), воздушно-сухой массой растений сои ($r = 0,63$, $p = 0,0289$). Слабая значимая корреляционная связь при системе с безотвальным рыхлением была отмечена между урожайностью и обменной кислотностью почвы только в слое 30...50 см ($r = 0,58$; $p = 0,0467$).

На варианте с системой с дискованием умеренная корреляция установлена между урожайностью и уровнем доступной влаги в слое почвы 0...50 см ($r = 0,59$, $p = 0,0047...0,0440$), гумусом в слое 0...100 см ($r = 0,62...0,69$, $p = 0,0308...0,0137$), подвижным фосфором ($r = 0,73...0,76$, $p = 0,0065...0,0043$), обменным калием ($r = 0,70...0,75$, $p = 0,0119...0,0046$), актуальной кислотностью в слое 30...100 см и в среднем по слою 0...100 см ($r = 0,61...0,70$, $p = 0,0363...0,0116$), гидролитической кислотностью в слое 0...100 см ($r = 0,61...0,74$, $p = 0,0345...0,0065$), суммой обменных оснований в слое 0...100 см ($r = 0,66...0,76$, $p = 0,0185...0,0040$), высотой прикрепления нижнего боба ($r = 0,72$, $p = 0,0080$). Слабая значимая корреляционная связь при системе с дискованием была между урожайностью и нитратным азотом в почве в слое 50...100 см ($r = 0,59$, $p = 0,0433$).

ГЛАВА 7 ЭКОНОМИЧЕСКАЯ И БИОЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ СИСТЕМ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ СОИ

Экономическая эффективность – это показатель, отражающий соотношение между результатами и затратами в процессе производства. Она помогает оценить, насколько рационально используются ресурсы для достижения поставленных целей. В контексте выращивания сои при применении различных систем обработки почвы экономическая эффективность может быть оценена через несколько ключевых параметров: валовая продукция, затраты на производство, себестоимость продукции, а также уровень рентабельности.

Таблица 42 – Экономическая эффективность применения различных систем обработки почвы при выращивании сои, 2020-2022 гг.

Показатели	Система обработки почвы		
	1 (контроль)	2	3
Урожайность с 1 га, т	2,16	2,07	1,87
Цена реализации 1 т, руб.	42 904,78	42 904,78	42 904,78
Валовая продукция с 1 га, руб.	92 781,59	88 669,88	80 374,95
Производственные затраты на 1 га, руб.	58 842,23	57 407,51	57 052,60
Себестоимость 1 т продукции, руб.	27 210,28	27 777,83	30 455,12
Доход с 1 га, руб.	33 939,35	31 262,37	23 322,36
Уровень рентабельности, %	57,68	54,46	40,88

Валовая продукция представляет собой общую стоимость произведенной продукции за определенный период. В контексте вычисления этого показателя при выращивании сельскохозяйственных культур – это количество собранного урожая, умноженное на рыночную цену. Валовая продукция является основным индикатором, так как она напрямую влияет на финансовые результаты. В результате проведенного в 2020-2022 гг. исследования установлено, что применение различных систем обработки почвы оказывало влияние на этот показатель посредством создания различных

условий для роста растений, таких как аэрация, водопроницаемость и содержание питательных веществ. Так, при применении системы со вспашкой показатель валовой продукции с 1 га (92 781,59 руб.) оказался больше систем с безотвальным рыхлением (88 669,88 руб.) и дискованием (80 374,95 руб.) соответственно на 4,43 и 13,37%.

Производственные затраты включают в себя все расходы, связанные с выращиванием сельскохозяйственной культуры, в том числе затраты на обработку почвы, семена, удобрения, средства защиты растений и трудозатраты. Установлено, что разные системы обработки почвы могут существенно различаться по своим затратам. Система с отвальной вспашкой (контроль) требовала значительных расходов на топливо (21,8 л/га) и обслуживание техники (в том числе срезные болты на плуг), в то время как система с дискованием существенно снижала эти расходы за счет уменьшения нормы расхода топлива (до 12,0 л/га) и нагрузки на технику. На фоне системы с безотвальным рыхлением (19,0 л/га) отмечен средний расход топлива в сравнении с другими исследуемыми вариантами. В результате на контрольном варианте производственные затраты (58 842,23 руб./га) были на 2,44% больше системы с безотвальным рыхлением (57 407,51 руб./га) и на 3,04% больше системы с дискованием (57 052,60 руб./га).

Доходность – это показатель, отражающий финансовый результат от реализации продукции. Она рассчитывается как разница между стоимостью валовой продукции и затратами на производство. Для оценки экономической эффективности различных систем обработки почвы необходимо анализировать, как каждый из них влияет на конечный финансовый результат. Так, при применении системы со вспашкой доход с 1 га составил 33 939,35 руб., в то время как на фоне систем с безотвальным рыхлением (31 262,37 руб.) и дискованием (23 322,36 руб.) этот показатель оказался меньше на 7,89 и 31,28%.

Рентабельность – это отношение прибыли к затратам, выраженное в процентах. Этот параметр позволяет оценить, насколько эффективно

используются вложенные ресурсы. Опыт применения различных систем обработки почвы показал, что они могут существенно влиять на рентабельность производства сои. Установлено, что на контрольном варианте уровень рентабельности был самым высоким – 57,68%, на фоне системы с безотвальным рыхлением он оказался 54,46% - меньше системы со вспашкой в 1,06 раза, при применении системы с дискованием рентабельность была 40,88% - также меньше системы со вспашкой, но в 1,41 раза (Табл. 42).

Таблица 43 – Энергетическая эффективность применения различных систем обработки почвы при выращивании сои, 2020-2022 гг.

Параметры расчета энергетической эффективности		1 (контроль)	2	3
Урожайность, т/га		2,16	2,07	1,87
Затраты техногенной энергии, ГДж/га	без учета плодородия почвы	4,2	3,5	2,9
	с учетом плодородия почвы	7,7	9	10,6
Выход энергии с урожаем, ГДж/га		47,0	44,9	40,6
Коэффициент энергетической эффективности	без учета плодородия почвы	11,2	12,8	14,0
	с учетом плодородия почвы	6,1	5,0	3,8

Экономическая эффективность многогранно взаимосвязана биоэнергетической эффективностью. Биоэнергетическая эффективность фокусируется на экологических и энергетических аспектах выращивания сельскохозяйственных культур. Ее высокие показатели могут привести к снижению затрат на ресурсы, улучшению качества продукции и в конечном итоге к повышению экономической эффективности. Например, использование устойчивых методов обработки почвы может снизить необходимость в химических удобрениях и пестицидах, что уменьшает затраты и повышает прибыльность.

Действительно, установлено, что на фоне системы со вспашкой, при наибольшей среди исследуемых вариантов рентабельности, коэффициент энергетической эффективности без учета плодородия почв составил 11,2 – меньше систем с безотвальным рыхлением и дискованием на 14,29 и 25,0%. Однако с учетом плодородия почвы картина несколько менялась: контрольный вариант здесь оказался с наибольшим значением коэффициента энергетической эффективности (6,1) при высокой в сравнении с другими вариантами опыта показателями рентабельности, меньше оказалось значение коэффициента энергетической эффективности при системе с безотвальным рыхлением (5,0), и самое маленькое значение это показателя (3,8) зафиксировано при системе с дискованием (Табл. 43).

Экономическая эффективность также должна учитывать экологические последствия агрономических практик. Методы, которые негативно влияют на окружающую среду, несмотря на высокий уровень доходности и рентабельности в текущем периоде времени, могут привести к долгосрочным затратам, связанным с деградацией почвы, загрязнением водоемов и снижением биологического разнообразия. Сравнение экологической устойчивости различных систем обработки почвы может помочь определить, какие из них не только экономически выгодны, но и безопасны для окружающей среды.

При применении системы со вспашкой происходит оборот верхнего слоя грунта посредством лемешно-отвального механизма плуга. Этот метод помогает уничтожить сорняки, заделать пожнивные остатки предшествующей культуры – в нашем исследовании это пшеница озимая, улучшить аэрацию и наилучшим образом подготовить посевное ложе для посева. Однако вспашка имеет ряд негативных экологических последствий. Она приводит к разрушению структуры почвы, что может вызвать эрозию и потерю плодородия [162]. Во-вторых, вспашка способствует выбросу углекислого газа в атмосферу, так как нарушает углеродный баланс почвы [58]. Кроме того, постоянное использование вспашки может снизить биологическое

разнообразии почвенной фауны, что негативно сказывается на экосистеме, особенно разложении органических веществ и поддержании плодородия.

Применение системы с безотвальным рыхлением является экологически более устойчивым методом обработки почвы. Оно включает в себя минимальное вмешательство в верхний слой почвы, что позволяет сохранить её структуру и органическое вещество. Этот метод способствует улучшению водоудерживающей способности почвы и минимизирует эрозию [78]. Безотвальное рыхление также поддерживает биоразнообразие почвенных микроорганизмов, что способствует сохранению более здоровой экосистемы [77].

Система с дискованием включает использование дисковых агрегатов для рыхления верхнего слоя почвы без её полного переворота. Этот метод может быть менее эффективен для борьбы с сорняками и для улучшения структуры почвы. Как и в случае со вспашкой, дискование может способствовать уплотнению почвы, что в условиях зоны неустойчивого земледелия Тульской области негативно сказывается на водопроницаемости и аэрации – по уровню доступной влаги в почве эти два варианта уступали безотвальному рыхлению. В то же время по другим показателям плодородия почвы (количество гумуса, сумма обменных оснований, обменная и гидролитическая кислотность, уровень калия и нитратного азота в почве) установлено, что он не уступает безотвальному рыхлению.

Заключение к главе 7. Таким образом, на контрольном варианте уровень рентабельности был самым высоким – 91,69%, на фоне системы с безотвальным рыхлением он оказался 84,32% - меньше системы со вспашкой в 1,09 раза, при применении системы с дискованием рентабельность была 68,32% - также меньше контроля, но в 1,34 раза. Кроме того, в результате расчета коэффициента энергетической эффективности с учетом плодородия почвы выявлено, что контрольный вариант здесь оказался с наибольшим значением коэффициента энергетической эффективности (6,1) при высокой в сравнении с другими вариантами опыта показателями рентабельности,

меньше оказалось значение коэффициента энергетической эффективности при системе с безотвальным рыхлением (5,0), и самое маленькое значение этого показателя (3,8) зафиксировано при системе с дискованием.

С точки зрения экологической устойчивости система с безотвальным рыхлением представляется наиболее предпочтительным методом обработки почвы, поскольку она минимизирует негативное воздействие на почвенную экосистему и способствует сохранению ее здоровья. Системы обработки со вспашкой и дискованием, в свою очередь, могут быть оправданы в определенных агрономических условиях, но их использование должно быть ограничено и тщательно планироваться с учетом возможных последствий для экосистемы. Важно отметить, что выбор системы обработки почвы должен основываться не только на агрономических, но и на экологических принципах, что позволит обеспечить устойчивое развитие сельского хозяйства и сохранение природных ресурсов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Минимизация глубины обработки почвы способствовала увеличению ее плотности в пахотном слое 0...30 см: на фоне системы со вспашкой плотность почвы ($1,08 \text{ г/см}^3$) была меньше системы с безотвальным рыхлением на $0,02 \text{ г/см}^3$ и меньше системы с дискованием на $0,1 \text{ г/см}^3$. В слое 0...50 см плотность почвы на контрольном варианте ($1,11 \text{ г/см}^3$) была меньше в сравнении с системами с безотвальным рыхлением (на $0,03 \text{ г/см}^3$) и дискованием (на $0,11 \text{ г/см}^3$).

На контрольном варианте количество доступной влаги в слое почвы 0...30 см было 28,28 мм – меньше системы с безотвальным рыхлением на 14,07% и меньше системы с дискованием на 8,86%. В слое 0...50 см уровень доступной влаги при применении системы со вспашкой составил 42,99 мм – это было меньше на 22,10%, чем при системе с безотвальным рыхлением, и меньше системы с дискованием на 4,54%.

2. При различных системах обработки почвы с различной интенсивностью происходили физико-химические и биологические процессы, в связи с этим запасы гумуса в пахотном слое 0...30 см на системе, включающей отвальную обработку, были 4,77% – больше, чем на системах с безотвальным рыхлением и дискованием, соответственно в 1,10 и 1,09 раз. В горизонте почвы 0...100 см на контрольном варианте количество органики в почве было 3,13%, что больше, чем на системах с безотвальным рыхлением и дискованием соответственно в 1,13 и 1,09 раза. Уровень гумуса в почве в среднем был низким на всех вариантах опыта.

Количество нитратов в слое 0...30 см на фоне системы со вспашкой оказалось 15,98 мг/кг, в то время как при применении систем с безотвальным рыхлением и дискованием уровень этого элемента в почве был меньше на 7,24 и 11,46%. В горизонте 0...100 см на контрольном варианте уровень нитратного азота составил 9,21 мг/кг, на системе с безотвальным рыхлением – 8,18 мг/кг и – 9,00 мг/кг на системе с дискованием.

Запасы подвижного фосфора в пахотном слое почвы 0...30 см при применении системы с отвальной обработкой составляли 52,42 мг/кг – меньше системы с безотвальным рыхлением на 3,85%, и меньше системы с дискованием на 8,28%. Количество подвижного фосфора в среднем по профилю изучаемого горизонта 0...100 см составляло 48,16 мг/кг на контрольном варианте с системой, включающей вспашку, и было наименьшим в сравнении с системами с безотвальным рыхлением (51,45 мг/кг) и дискованием (49,66 мг/кг).

Уровень обменного калия в слое 0...30 см при применении системы со вспашкой составил 89,83 мг/кг, в то время как на фоне системы с безотвальным рыхлением количество этого элемента в почве было 94,59 мг/кг, а на системе с дискованием – 86,09 мг/кг. В слое 0...100 см на контроле количество обменного калия – 75,63 мг/кг, что было незначительно ниже, чем на системе с безотвальным рыхлением (77,59 мг/кг), но выше в сравнении с системой с дискованием (70,53 мг/кг).

3. В среднем в течение 2020-2022 гг. в исследуемом горизонте почв актуальная кислотность в слое 0...30 см при применении системы со вспашкой была 5,99 ед., на фоне системы с безотвальным рыхлением – 6,05 ед., на системе с дискованием – 5,96 ед.; в среднем по слою 0...100 см на контрольном варианте показатель рН составил 6,14 ед., на системе с безотвальным рыхлением – 6,30 ед., на системе с дискованием – 6,27 ед.

Обменная кислотность в пахотном слое 0...30 см на системе с отвальной обработкой составила 5,27 ед., в то время как при системе с безотвальным рыхлением она была 5,49 ед., а на системе с дискованием – 5,42 ед.; в горизонте почвы 0...100 см на контрольном варианте показатель рН_{КС} оказался 5,29 ед., на системе с безотвальным рыхлением – 5,51 ед., на системе с дискованием – 5,65 ед.

Гидролитическая кислотность в слое 0...30 см на контрольном варианте была 4,85 ед., на варианте с системой, включающей безотвальное рыхление, – 3,92 ед., при применении системы с дискованием – 4,25 ед. В слое почвы

0...100 см на контрольном варианте N_r была 3,71 ед., на фоне системы с безотвальным рыхлением – 2,89 ед., и на системе с дискованием – 3,30 ед.

4. В среднем за годы исследований в слое почвы 0...30 см сумма обменных оснований при применении системы с отвальной вспашкой составила 23,78 мг-экв/100 г почвы, что оказалось меньше систем с безотвальным рыхлением и дискованием, где содержание обменных катионов в почве было 27,13 и 29,78 мг-экв/100 г почвы. В горизонте 0...100 см на контрольном варианте сумма оснований была 22,44 мг-экв/100 г почвы, на системе с безотвальным рыхлением немного больше – 25,93 мг-экв/100 г почвы, на системе с дискованием – 29,71 мг-экв/100 г почвы.

5. Общая засоренность посевов сои сорта Волма в фазе 1-3-го тройчатого листа в среднем за 2020-2022 гг. до обработки гербицидами была 53,58 шт./м² на системе со вспашкой, 67,65 шт./м² на системе с безотвальным рыхлением, 87,17 шт./м² на системе с дискованием. После гербицидных обработок к фазе налива семян на контрольном варианте количество сорняков было 4,42 шт./м², на системе с безотвальным рыхлением – 5,00 шт./м², на системе с дискованием – 9,00 шт./м².

В начале периода вегетации воздушно-сухая масса сорных растений на контрольном варианте (46,96 г/м²) была меньше системы с безотвальным рыхлением (65,08 г/м²) в 1,39 раза и меньше системы с дискованием (79,04 г/м²) в 1,68 раза. К моменту налива семян сухая масса сорняков на контрольном варианте (12,73 г/м²) была меньше системы с безотвальным рыхлением (20,78 г/м²) в 1,63 раза и меньше системы с дискованием (34,87 г/м²) в 2,19 раза.

6. Продолжительность периода вегетации растений сои сорта Волма в условиях юго-востока Тульской области зависела от условий года и варьировалась на контрольном варианте в пределах 115,3 дней, на системе с безотвальным рыхлением 113,0 дней, на системе с дискованием 109,7 дней.

7. К фазе налива семян на контрольном варианте высота растений достигла показателя 87,1 см, что оказалось больше системы с безотвальным

рыхлением (79,4 см) на 8,76% и больше системы с дискованием (76,4 см) на 12,25%.

К фазе полной спелости площадь листовой поверхности была больше на контрольном варианте (65,6 тыс. м²/ га), в то время как на системе с безотвальным рыхлением она достигла 52,7 тыс. м²/ га и на системе с дискованием – 35,3 тыс. м²/ га.

Высота прикрепления нижнего боба различалась незначительно в среднем за годы исследований среди вариантов опыта. На контрольном варианте бобы располагались в среднем на высоте 26,02 см, на системе с безотвальным рыхлением – на 23,19 см, на системе с дискованием – на 25,24 см.

К моменту наступления фазы налива семян на растениях воздушно-сухая масса на контрольном варианте была 11,9 г на 1 растение, на системе с безотвальным рыхлением – 10,8 г на 1 растение, на системе с дискованием – 9,3 г/ на 1 растение.

8. Наибольшая масса активных клубеньков была сформирована при системе обработки почвы, включающем вспашку, – в среднем 24,78 шт. клубеньков на растении массой 0,374 г. На системе с безотвальным рыхлением бобово-ризобияльная система была развита несколько слабее – зафиксировано в среднем 18,53 шт. клубеньков на растении весом 0,234 г, в то время как на системе с дискованием клубеньки были развиты плохо – в среднем отмечено 7,92 шт. клубеньков на растении с массой 0,051 г.

9. Контрольный вариант выделился повышенным количеством бобов на главном стебле (14,69 шт.) – их сформировалось на нем на 1,02 шт. больше, чем на системе с безотвальным рыхлением и на 3,01 шт. больше, чем на системе с дискованием.

Наибольшее число семян на растении зафиксировано на системе со вспашкой – 35,00 шт. с массой 4,85 г. Средний показатель по числу семян был на варианте с системой с безотвальным рыхлением – 33,15 шт. с массой 4,34 г.

Меньше всего семян было на варианте с системой с дискованием – 29,84 шт. с массой 4,05 г.

10. Натура зерна на фоне системы со вспашкой (738,67 г/л) была больше, чем на системах с безотвальным рыхлением и дискованием, соответственно на 0,4 и 0,9%. Масса 1000 семян на контрольном варианте (139,67 г) оказалась наибольшей в сравнении с системами с безотвальным рыхлением (136,33 г) и дискованием (132,75 г). Содержание белка в зерне было больше на системе со вспашкой (35,4%), по сравнению с системами с безотвальным рыхлением (34,6%) и дискованием (33,8%). Содержание жира было меньше на системе со вспашкой 20,3%, увеличиваясь на системах с безотвальным рыхлением до 20,5% и дискованием до 21,1%.

В среднем за годы исследований наибольшая урожайность (2,16 т/га) зафиксирована на контрольном варианте с применением отвальной обработки. На системах с безотвальным рыхлением и дискованием сбор зерна был в среднем меньше на соответственно 0,09 т/га и 0,29 т/га.

В результате проведенного корреляционного анализа установлено, что при применении системы со вспашкой урожайность имела значимую умеренную связь в различных слоях исследуемого горизонта почв: с уровнем подвижного фосфора ($r = 0,63 \dots 0,69$, $p = 0,0267 \dots 0,0134$), уровнем обменного калия ($r = 0,69$, $p = 0,0124$), обменной кислотностью ($r = 0,70 \dots 0,78$, $p = 0,0116 \dots 0,0030$), гидролитической кислотностью ($r = 0,63$, $p = 0,0273$), суммой обменных оснований ($r = 0,69 \dots 0,72$, $p = 0,0138 \dots 0,0084$), а также с площадью листовой поверхности растений сои ($r = 0,69 \dots 0,74$, $p = 0,0132 \dots 0,0064$), высотой прикрепления нижнего боба ($r = 0,71$, $p = 0,0091$), воздушно-сухой массой растений сои ($r = 0,61$, $p = 0,0368$). Слабая зависимость на этом варианте установлена между урожайностью и уровнем обменного калия слое почвы 0...100 см ($r = 0,58$, $p = 0,0469$), урожайностью и гидролитической кислотностью в слое 0...30 см ($r = 0,58$, $p = 0,0497$).

На фоне системы с безотвальным рыхлением сильная зависимость выявлена между урожайностью и гидролитической кислотностью в верхнем

пахотном слое 0...30 см ($r = 0,82$, $p = 0,0011$). Умеренная корреляция урожайности установлена на этом варианте в различных слоях исследуемого горизонта почв с количеством доступной влаги ($r = 0,65...0,77$, $p = 0,0216...0,0037$), гумусом ($r = 0,73...0,75$, $p = 0,0076...0,0048$), подвижным фосфором ($r = 0,67...0,75$, $p = 0,0179...0,0048$), обменным калием ($r = 0,73...0,79$, $p = 0,0069...0,0024$), актуальной кислотностью ($r = 0,71...0,73$, $p = 0,0096...0,0070$), обменной кислотностью ($r = 0,62...0,77$, $p = 0,0303...0,0034$), гидролитической кислотностью ($r = 0,61$, $p = 0,0341$), суммой обменных оснований ($r = 0,71...0,74$, $p = 0,0099...0,0059$), а также с высотой прикрепления нижнего боба ($r = 0,73$, $p = 0,0073$), воздушно-сухой массой растений сои ($r = 0,63$, $p = 0,0289$). Слабая значимая корреляционная связь при системе с безотвальным рыхлением была отмечена между урожайностью и обменной кислотностью почвы только в слое 30...50 см ($r = 0,58$; $p = 0,0467$).

На варианте с системой с дискованием умеренная корреляция в исследуемом горизонте почв установлена между урожайностью и уровнем доступной влаги ($r = 0,59$, $p = 0,0047...0,0440$), гумусом ($r = 0,62...0,69$, $p = 0,0308...0,0137$), подвижным фосфором ($r = 0,73...0,76$, $p = 0,0065...0,0043$), обменным калием ($r = 0,70...0,75$, $p = 0,0119...0,0046$), актуальной кислотностью ($r = 0,61...0,70$, $p = 0,0363...0,0116$), гидролитической кислотностью ($r = 0,61...0,74$, $p = 0,0345...0,0065$), суммой обменных оснований ($r = 0,66...0,76$, $p = 0,0185...0,0040$), а также с высотой прикрепления нижнего боба ($r = 0,72$, $p = 0,0080$). Слабая значимая корреляционная связь при системе с дискованием была между урожайностью и нитратным азотом в почве в слое 50...100 см ($r = 0,59$, $p = 0,0433$).

11. На контрольном варианте уровень рентабельности был самым высоким – 91,69%, на фоне системы с безотвальным рыхлением он оказался 84,32% - меньше системы со вспашкой в 1,09 раза, при применении системы с дискованием рентабельность была 68,32% - также меньше контроля, но в 1,34 раза. В результате расчета коэффициента энергетической эффективности с учетом плодородия почвы выявлено, что контрольный вариант оказался с

наибольшим значением коэффициента энергетической эффективности (6,1) при высокой в сравнении с другими вариантами опыта показателями рентабельности, меньше оказалось значение коэффициента энергетической эффективности при системе с безотвальным рыхлением (5,0), самое маленькое значение этого показателя (3,8) зафиксировано при системе с дискованием.

РЕКОМЕНДАЦИИ ПРОИЗВОДСТВУ

В условиях Тульской области при выращивании сои после озимой пшеницы в зернопаропропашном севообороте рекомендуются системы с применением глубоких способов основной обработки почвы: после уборки предшественника выполнять поверхностную обработку дисковыми орудиями на глубину 3-5 см; по мере отрастания сорняков основную обработку – во влажные годы отвальную на 22-24 см, в засушливые годы – безотвальное рыхление на 22-24 см, при появлении сорных растений проводить дискование на 8-10 см.

Весной на всех участках осуществлять закрытие влаги боронованием на 2-3 см. В день сева проводить предпосевную подготовку почвы на 2,5-3,0 см.

ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕЙ РАЗРАБОТКИ ТЕМЫ

В современных условиях высоких цен на удобрения, пестициды и технику основной задачей сельскохозяйственного производства является снижение затрат на производство сельскохозяйственной продукции, что позволит получать больший денежный доход предприятию. Дальнейшее изучение систем обработки почвы, которые позволят минимизировать затраты на технологию возделывания культур и в полной мере сохранить плодородие как пахотного, так и подпахотного слоев чернозема выщелоченного.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Августов, Е. Ю. Площадь листьев растений сои в зависимости от применения бактериального препарата, стимулятора роста и микроэлементов / Е. Ю. Августов, О. Г. Шабалдас // Аграрная наука, творчество, рост : Сборник научных трудов по материалам IX Международной научно-практической конференции, Ставрополь, 05–08 февраля 2019 года. – Ставрополь: Общество с ограниченной ответственностью «СЕКВОЙЯ», 2019. – С. 3-5. – EDN EVIAQW.

2. Азаров, В. Б. Агроэкологический мониторинг земель сельскохозяйственного назначения юго-западной части ЦЧЗ : специальность 06.01.03 «Агрофизика» : автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора сельскохозяйственных наук / Азаров Владимир Борисович. – Белгород, 2004. – 43 с. - Текст: непосредственный.

3. Александрова, Л. Н. Лабораторно-практические занятия по почвоведению / Л. Н. Александрова. – 2-е изд., перераб. и доп. – Ленинград : Колос. Ленингр. отд-ние, 1967. – 352 с. - Текст: непосредственный.

4. Алехин, В. Т. Экономические пороги вредоносности вредителей, болезней и сорных растений в посевах сельскохозяйственных культур : справочник / [В. Т. Алехин, В. В. Михайликова, Н. Г. Михина] ; М-во сельского хоз-ва Российской Федерации. - Москва : Росинформагротех, 2016. - 73 с. - Текст: непосредственный.

5. Амелин, А. В. Накопление сухой массы надземными органами растений у разных по географическому происхождению коллекционных образцов сои / А. В. Амелин, Е. И. Чекалин, В. В. Заикин, Н. Б. Сальникова // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. – 2019. – № 1. – С. 112-116. – EDN HAFKDU.

6. Артемов, Д. И. Влияние основной обработки почвы на её агрофизические свойства почвы и урожайность сои / Д. И. Артемов // Современные проблемы агропромышленного комплекса : сборник научных

трудов 69-й Международной научно-практической конференции, Кинель, 15 июня 2016 года. – Кинель : Самарская государственная сельскохозяйственная академия, 2016. – С. 90-92. – Текст: непосредственный.

7. Артемьева, Д. Ю. Влияние технологии no-till на спектральную характеристику гумусовых веществ под культурой озимой пшеницы / Д. Ю. Артемьева, К. Е. Стекольников // Вестник Студенческого научного общества. – 2019. – Т. 10, № 1. – С. 5-9. – EDN HZGLVE.

8. Артемьева, Д. Ю. Деградация чернозёма под влиянием технологии No-till / Д. Ю. Артемьева, Д. И. Бережнов, К. Е. Стекольников // Инновационные решения молодых ученых в аграрной науке : Материалы Всероссийской научно-практической конференции, Воронеж, 26 декабря 2018 года. – Воронеж: Воронежский государственный аграрный университет им. Императора Петра I, 2019. – С. 195-201. – EDN CJKIDI.

9. Асмоловский, М. К. Влияние различных способов обработки почвы на ее физические и химические свойства / М. К. Асмоловский, А. А. Овсей // Проблемы лесоведения и лесоводства : сборник научных трудов. - Гомель : Институт леса НАН Беларуси, 2012. - Вып. 72. - С. 157-165.

10. Ашитко, А. А. Влияние системы обработки почвы на урожайность сои / А. А. Ашитко // Образование, наука, производство : VIII Международный молодежный форум, Белгород, 15-16 октября 2016 года. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2016. – С. 2244-2248. – EDN YNAQRL.

11. Бабинец, Л. Е. Влияние основной обработки на агрохимические показатели почвы и урожайность сои / Л. Е. Бабинец // Современные технологии производства и переработки сельскохозяйственных культур : Сборник научных статей по материалам научно-практической конференции (с международным участием), посвящённой 105-летию со дня рождения селекционера, заслуженного агронома РФ, ветерана труда Т.П. Рязанцевой, Благовещенск, 05-06 сентября 2017 года / Редакционная коллегия: В. Т. Синеговская (отв. редактор), Е. Т. Наумченко, М. О. Синеговский, О. В.

Скрипко, О. О. Клеткина, Е. М. Фокина, С. В. Рафальский. – Благовещенск: Всероссийский научно-исследовательский институт сои, 2017. – С. 159-166. – EDN ZDPSYJ.

12. Батудаев, А. П. Теоретические и практические основы продуктивности севооборотов и плодородия почв в Западном Забайкалье : специальность 06.01.01 «Общее земледелие, растениеводство» : диссертация на соискание ученой степени доктора сельскохозяйственных наук / Батудаев Антон Прокопьевич. – Новосибирск, 2003. – 370 с. – EDN NMLFGR.

13. Бегун, С. А. Способы, приемы изучения и отбора эффективных штаммов клубеньковых бактерий сои. Методы аналитической селекции : (методические рекомендации) / Всероссийский научно-исследовательский институт сои. – Благовещенск : Государственное производственно-коммерческое издательство "Зея", 2005. – 70 с. – EDN QKXXEN.

14. Беликов, И. Ф. Соя в Приморском крае / И. Ф. Беликов, И. Г. Ткаченко // Примор. краев. упр. сел. хозяйства. Уссурийский масложиркомбинат. - Владивосток : Примор. кн. изд-во, 1961. - 144 с. 237. Беликов, И. Ф.

15. Белкин, А. А. Влияние обработки почвы на агрофизические, агрохимические свойства почвы и урожайность зерновых культур / А. А. Белкин, Н. В. Беседин // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. – 2010. – № 5. – С. 54-57. – EDN MWLMOX.

16. Бельшкіна, М. Е. Влияние норм высева и способов посева на урожайность и качество семян раннеспелых сортов и форм сои северного экотипа [Текст] / М. Е. Бельшкіна, Т. П. Кобозева, В. А. Шевченко, У. А. Делаев // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. – 2018. – № 4. – С. 182-190. – DOI 10.26897/0021-342X-2018-4-182-190. – EDN YLSYTI.

17. Беккер, Х. Селекция растений / Х. Беккер ; пер. с нем. В. И. Леунова ; под ред. В. И. Леунова и Г. Ф. Монахоса. - Москва : Товарищество науч. изд. КМК, 2015. - 425 с. – Текст: непосредственный.

18. Бендина, Я. Б. Урожайность сои в зависимости от накопления сухой биомассы в условиях южной лесостепи Западной Сибири / Я. Б. Бендина // Аграрная Россия. – 2019. – № 4. – С. 24-28. – DOI 10.30906/1999-5636-2019-4-24-28. – EDN TVMDDD.

19. Берденникова, Ю. А. Анализ кислотности почвы п. Соловецкого / Ю. А. Берденникова, А. Н. Трофимова. — Текст : непосредственный // Молодой ученый. — 2020. — № 2 (292). — С. 341-344.

20. Биологические основы плодородия почвы / О. А. Берестецкий, Ю. М. Возняковская, Л. М. Доросинский [и др.]. – Москва : Издательство "Колос", 1984. – 287 с. – EDN YFNWCX.

21. Бобкова, Ю. А. Изменение урожайности и качества полевых культур в зависимости от приема основной обработки почвы / Ю. А. Бобкова // Вестник аграрной науки. – 2019. – № 3(78). – С. 3-8. – DOI 10.15217/issn2587-666X.2019.3.3. – EDN ULQNJG.

22. Боголепов, С. В., Мушинская, Р. С. Плоскорезная основная обработка почвы / С. В. Боголепов, Р. С. Мушинская // Уральские Нивы. – 1983. – № 3. – С. 23-26. – Текст: непосредственный.

23. Богомолова, Ю. А. Влияние обработки почвы и удобрений на изменения ее агрофизических свойств и урожайность сои в звене зернового севооборота / Ю. А. Богомолова, А. П. Саков, А. В. Ивенин // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. – 2018. – № 3(64). – С. 62-69. – DOI 10.30766/2072-9081.2018.64.3.62-69. – EDN XRKLYL.

24. Брагина, В. В. Особенности роста и развития сортов сои в зависимости от уровня минерального питания / В. В. Брагина, О. В. Мохань, Н. С. Кочева // Кормопроизводство. – 2017. – № 2. – С. 36-41. – EDN XXAWNХ.

25. Бурлака, Г. А. Фенологические наблюдения за развитием СОИ на Агрополигоне «Приволжье» / Г. А. Бурлака, Е. Х. Нечаева, Н. А. Ермакова // Развитие современной науки и технологий в условиях трансформационных процессов : Сборник материалов XV Международной научно-практической

конференции, Москва, 27 октября 2023 года. – Санкт-Петербург: Печатный цех, 2023. – С. 86-92. – EDN JPILOL.

26. Бухаров, А. Ф. Влияние сортовой специфики и нормы высева на продуктивность сои в условиях Московской области / А. Ф. Бухаров, Н. А. Еремина // Агронаука. – 2023. – Т. 1, № 2. – С. 100-107. – DOI 10.24412/2949-2211-2023-1-2-100-107. – EDN KAQTLM.

27. Вильдфлуш, И. Р. Агрехимия : учебник / И. Р. Вильдфлуш, С. П. Кукреш, В. А. Ионас. – 2-е издание, переработанное и дополненное. – Минск : Ураджай, 2001. – 488 с. – EDN YQMMBJ.

28. Вислобокова, Л. Н. Влияние способов основной обработки чернозема типичного на урожайность сои в северо-восточном регионе ЦЧР / Л. Н. Вислобокова, В. А. Воронцов, Ю. П. Скорочкин // Сахарная свекла. – 2018. – № 5. – С. 32-35. – EDN BUXZHM.

29. Витер, А. Ф. Изменение плодородия черноземов при их обработке. Ресурсосберегающие системы обработки почвы / А. Ф. Витер // сб. науч. тр.; под ред. академика ВАСХНИЛ И.П. Макарова. – Москва : Агропромиздат, 1990. – С. 123-129. – Текст: непосредственный.

30. Власенко, О. А. Режим питания растений в агрочерноземах в зависимости от приемов основной обработки / О. А. Власенко // Вестник КрасГАУ. – 2020. – № 6 (159). – С. 11-19. – DOI 10.36718/1819-4036-2020-6-11-19. – EDN FQFFNW.

31. Воронин, А. Н. Действие агрогенных ресурсов на почвенный поглощающий комплекс чернозема типичного / А. Н. Воронин, В. В. Никитин, А. П. Карабутов // Сахарная свекла. – 2016. – № 10. – С. 24-27. – EDN XWOJON.

32. Высота и полегаемость растений сои / [Электронный ресурс] // Агроархив : [сайт]. – URL: <https://agro-archive.ru/soya/1240-vysota-i-polegaemost-rasteniy-soi.html> (дата обращения: 17.03.2020). – Текст: электронный.

33. Вэй, Ж. Фотосинтетическая деятельность сорта сои Персона в зависимости от нормы высева и способа посева / Ж. Вэй, О. А. Селихова // Агропромышленный комплекс: проблемы и перспективы развития : Материалы всероссийской научно-практической конференции. В 2-х частях, Благовещенск, 11 апреля 2018 года. Том Часть 1. – Благовещенск: Дальневосточный государственный аграрный университет, 2018. – С. 85-88. – EDN XVEQJF.

34. Гаджиумаров, Р. Г. Фотосинтетическая деятельность посевов сои в зависимости от технологии возделывания / Р. Г. Гаджиумаров // Новости науки в АПК. – 2019. – № 3(12). – С. 419-423. – DOI 10.25930/2218-855X/106.3.12.2019. – EDN NMNGGW.

35. Гамзиков, Г. П. Азот в земледелии Западной Сибири / Г. П. Гамзиков. – Москва : Федеральное государственное унитарное предприятие «Академический научно-издательский, производственно-полиграфический и книгораспространительский центр "Наука"», 1981. – 267 с. – EDN XSRSYH.

36. Гамзиков, Г. П. Продуктивность сои в зависимости от источников азотного питания / Г. П. Гамзиков, П. Р. Шотт, П. А. Литвинцев // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. – 2007. – № 7(175). – С. 21-28. – EDN IAACDV.

37. Гандаров, М. Х. Фотосинтетическая деятельность посевов различных сортов сои в условиях лесостепной зоны Республики Ингушетия / М. Х. Гандаров, М. А. Базгиев, М. Ш. Гаплаев // Горное сельское хозяйство. – 2022. – № 6. – С. 40-50. – DOI 10.25691/GSH.2022.6.006. – EDN PNHBFJ.

38. Гарбар, Л. А. Влияние элементов технологии возделывания на продуктивность сои / Л. А. Гарбар, А. Н. Радзевелюк // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2017. – № 7(153). – С. 49-52. – EDN YSRLYZ.

39. Гармашов, В. М. Влияние различных способов основной обработки почвы на валовое содержание азота, фосфора и калия в черноземе обыкновенном / В. М. Гармашов // Современные тенденции в научном

обеспечении агропромышленного комплекса : Коллективная монография / Под редакцией В.В. Окоркова. – Иваново : Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Верхневолжский федеральный аграрный научный центр», 2019. – С. 69-73. – EDN PXGSRD.

40. Голева Г. Г., Пушкарева В. И., Дворникова Д.Е. Совершенствование приемов первичного семеноводства сои сорта Воронежская 31 [Текст] / Г. Г. Голева, В. И. Пушкарева, Д.Е. Дворникова // Сахарная свекла. – 2022. – № 8. – С. 30-33. – DOI 10.25802/SB.2022.32.30.004. – EDN WEWULN.

41. Головина, Е. В. Фотосинтетическая деятельность сортов сои северного экотипа, возделываемых в условиях ЦЧР / Е. В. Головина // Зернобобовые и крупяные культуры. – 2021. – № 3(39). – С. 41-49. – DOI 10.24412/2309-348X-2021-3-41-49. – EDN WNYMFT.

42. Гребенников А. М., Исаев В. А., Чевердин Ю. И. Влияние способа основной обработки почвы на агрохимические свойства миграционно-мицелярных легкоглинистых агрочерноземов юго-востока ЦЧЗ [Текст] / А. М. Гребенников, В. А. Исаев, Ю. И. Чевердин [и др.] // Вестник российской сельскохозяйственной науки. – 2019. – № 5. – С. 23-26. – DOI 10.30850/vrsn/2019/5/23-26. – EDN FADGXN.

43. Гребенюк Г. А., Харина С. Г. Изменение экологического состояния луговой черноземовидной почвы в результате многолетнего применения минеральных удобрений в севообороте в условиях Приамурья / Г. А. Гребенюк, С. Г. Харина // Вестник АГАУ. – 2011. – № 11. – С. 23-28. – Текст: непосредственный.

44. Гулаев, В. М. Влияние основной обработки почвы на агрофизические показатели плодородия почвы на посевах сои / В. М. Гулаев, С. Н. Зудилин, Н. В. Гулаева // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2014. – Т. 16, № 5-3. – С. 1090-1092. – EDN TPIECV.

45. Гумматов, Н. Г. Изменение агрофизических свойств почв за вегетационный период зернобобовых культур в богарных условиях Азербайджана / Н. Г. Гумматов // Проблемы природопользования и

экологическая ситуация в Европейской России и на сопредельных территориях : Материалы VII Международной научной конференции (памяти проф. Петина А. Н.), Белгород, 24-26 октября 2017 года. – Белгород: Издательство «ПОЛИТЕРРА», 2017. – С. 125-129. – EDN YNEYUO.

46. Гамзиков, Г. П. Эффективность систем удобрения в полевых севооборотах на каштановых почвах Забайкалья / Г. П. Гамзиков, Т. П. Лопухин, А. К. Уланов // Агрехимия. – 2005. – № 9. – С. 24-30. – EDN HSHFEN.

47. Горбунова, М. В. Влияние различных способов обработки почвы на урожайность и качество зерна сои / М. В. Горбунова // Образование, наука и производство. – 2015. – № 4(13). – С. 6-8. – EDN VVUDFJ.

48. Горбунова, М. В. Урожайность и фитосанитарное состояние посевов сои в зависимости от обработки почвы / М. В. Горбунова, В. Т. Лобков // Russian Agricultural Science Review. – 2015. – Т. 5, № 5-1. – С. 246-250. – EDN TSZBYH.

49. ГОСТ 12042-80 Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения массы 1000 семян: межгосударственный стандарт: издание официальное: утвержден Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 29 января 1980 г. № 448 : дата введения 01.07.1981. – М: ИПК Издательство стандартов, 2004. – 4 с. – Текст : непосредственный.

50. ГОСТ 13586.5-93 Зерно. Метод определения влажности: межгосударственный стандарт: издание официальное: принят Постановлением Комитета Российской Федерации по стандартизации, метрологии и сертификации от 2 июня 1994 г. № 160 : дата введения 01.01.1995. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2001. – 6 с. – Текст : непосредственный.

51. ГОСТ 26951-86 Почвы. Определение нитратов ионометрическим методом: государственный стандарт: издание официальное: утвержден и введен в действие Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 30 июня 1986 г. № 1950. – М: ИПК Издательство стандартов, 1986. – 6 с. – Текст : непосредственный.

52. ГОСТ 54895-2012 Зерно. Метод определения природы: межгосударственный стандарт: издание официальное: утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию от 23 апреля 2012 г. № 51-ст. – М.: Стандартинформ, 2013. – 13 с. – Текст : непосредственный.

53. Гулидова, В. А. Минимальная обработка почвы под озимую пшеницу / В. А. Гулидова // Земледелие. – 1998. – № 5. – С. 21. – Текст: непосредственный.

54. Гусейнова, А. М. Влияние минеральных удобрений и обработки почвы на урожайность летних посадок сои (Западный Азербайджан) [Текст] / А. М. Гусейнова // Бюллетень науки и практики. – 2021. – № Т. 7, № 7. – С. 84-89. – DOI 10.33619/2414-2948/68/12. – EDN IVRCVG.

55. Дедов, А. В. Влияние способов основной обработки почвы, удобрений на агрофизические свойства почвы, урожайность и энергетическую эффективность выращивания ячменя / А. В. Дедов, В. А. Шевченко // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2023. – Т. 16, № 1(76). – С. 13-25. – DOI 10.53914/issn2071-2243_2023_1_13. – EDN OMAUTU.

56. Дедов, А. В. Оценка севооборотов : Учебное пособие / А. В. Дедов, Т. А. Трофимова, С. И. Коржов. – Воронеж : Воронежский государственный аграрный университет им. Императора Петра I, 2016. – 110 с. – EDN UXTZHG.

57. Делаев, У. А. Сравнительный анализ симбиотической деятельности посевов сои и других зерновых бобовых культур / У. А. Делаев, Т. П. Кобозева, У. Г. Зузиев, И. Я. Шишхаев // Известия Чеченского государственного университета. – 2018. – № 4(12). – С. 45-48. – EDN VPLEGS.

58. Демин, Е. А. Влияние различных способов обработки и температуры почвы на эмиссию углекислого газа в посевах яровой пшеницы в условиях лесостепной зоны Зауралья / Е. А. Демин, С. С. Миллер // Земледелие. – 2024. – № 4. – С. 13-18. – DOI 10.24412/0044-3913-2024-4-13-18. – EDN WLWKSZ.

59. Дмитриев, Н. Н. Методика ускоренного определения площади листовой поверхности сельскохозяйственных культур с помощью

компьютерной технологии / Н. Н. Дмитриев, Ш. К. Хуснидинов // Вестник КрасГАУ. – 2016. – № 7(118). – С. 88-93. – EDN WCYKNX.

60. Дубовик, Д. В. Изменение плодородия чернозема типичного при различных способах основной обработки почвы в посевах сои / Д. В. Дубовик, Е. В. Дубовик, А. Н. Морозов, А. В. Шумаков // Международный сельскохозяйственный журнал. – 2022. – № 2(386). – С. 173-176. – DOI 10.55186/25876740_2022_65_2_173. – EDN IARQKO.

61. Дубовик Д. В. Влияние минимизации основной обработки почвы на плодородие чернозема типичного / Д. В. Дубовик, Е. В. Дубовик, А. В. Шумаков, Б. С. Ильин // Агрохимия. – 2021. – № 3. – С. 22-27. – DOI 10.31857/S0002188121030066. – EDN ZCNNWX.

62. Дубовик, Д. В. Минимизация основной обработки почвы под яровой ячмень в условиях Курской области / Д. В. Дубовик, Е. В. Дубовик, А. Н. Морозов, А. В. Шумаков // Земледелие. – 2023. – № 2. – С. 42-46. – DOI 10.24412/0044-3913-2023-2-42-46. – EDN WWCNEA.

63. Егоров, В. В. Классификация и диагностика почв СССР / В. В. Егоров, В. М. Фридланд, Е. Н. Иванова [и др.]. – Москва: Колос, 1977. – 223 с. – Текст: непосредственный. [Текст] / В. В. Егоров, В. М. Фридланд, Е. Н. Иванова [и др.]. – Москва: Колос, 1977 – 223 с.

64. Ефремова, Е. Н. Агрофизические показатели почвы в зависимости от различных обработок почвы / Е. Н. Ефремова // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. – 2013. – № 2(30). – С. 67-72. – EDN QCWVCV.

65. Ещенко, В. Е. Основы опытного дела в растениеводстве : учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки «Агрономия» / В. Е. Ещенко, М. Ф. Трифонова, П. Г. Копытко [и др.]. – Москва : Издательство КолосС, 2009. – 268 с. – (Учебники и учебные пособия для студентов высших учебных заведений). – ISBN 978-5-9532-0711-9. – EDN QLAFUH.

66. Захарова, Е. Б. Фотосинтетическая деятельность и развитие симбиотического аппарата сои в зависимости от сроков и способов основной обработки почвы / Е. Б. Захарова, К. А. Никульчев // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2013. – № 3(101). – С. 024-027. – EDN PWPWNH.

67. Зинченко, С. И. Оценка варьирования обменной кислотности в серых лесных почвах при различных системах обработки / С. И. Зинченко // Владимирский земледелец. – 2022. – № 4(102). – С. 13-17. – DOI 10.24412/2225-2584-2022-4-13-17. – EDN FOPHVE.

68. Зотиков, В. И. Взаимосвязь интенсивности азотфиксации и фотосинтеза у новых сортов сои северного экотипа / В. И. Зотиков, Е. В. Головина // Вестник Орловского государственного аграрного университета. – 2011. – № 3(30). – С. 5-8. – EDN PONLOH.

69. Зубкова, Т. С. Влияние способов основной обработки на влажность почвы / Т. С. Зубкова // Инновационное развитие землеустройства : Сборник научных трудов Межвузовской студенческой научно-практической конференции, Кинель, 24 марта 2021 года. – Кинель: Самарский государственный аграрный университет, 2021. – С. 100-101. – EDN EYSCAQ.

70. Иванов, В. М. Влияние глубины основной обработки почвы на урожайность сортов сои в условиях Волгоградской области / В. М. Иванов, Н. В. Мордвинцев // Интеграция науки и производства - стратегия устойчивого развития АПК России в ВТО : материалы международной научно-практической конференции, посвященной 70-летию Победы в Сталинградской битве, Волгоград, 30 января – 01 2013 года. Том 1. – Волгоград: Волгоградский государственный аграрный университет, 2013. – С. 93-97. – EDN VQIDFV.

71. Иванов, А. Л. Комплекс технологических, агрохимических и биологических воздействий на фосфатный режим почв и продуктивность земледелия / А. Л. Иванов, В. Г. Сычев, Л. М. Державин [и др.] // Плодородие. – 2009. – № 1(46). – С. 4-7. – EDN KYVBKX.

72. Исупова, Ю. А. Минеральные удобрения на посевах сои / Ю. А. Исупова // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2013. – № 92. – С. 734-746. – EDN RNEGZJ.

73. Кадыров, С. В. Зависимость урожайности и биохимического состава семян сои, рапса, льна, рыжика от норм высева / С. В. Кадыров, А. А. Ртищев, А. В. Силин // Аграрная наука – основа успешного развития АПК и сохранения экосистем : Материалы Международной научно-практической конференции, Волгоград, 31 января – 02 2012 года. Том 2. – Волгоград: Волгоградский государственный аграрный университет, 2012. – С. 60-64. – EDN VQIKSL.

74. Казаков, Г. И. Обработка почвы в Среднем Поволжье : монография / Г. И. Казаков ; Г. И. Казаков; Самарская государственная сельскохозяйственная академия. – Самара : Самарская государственная сельскохозяйственная академия, 2008. – 250 с. – ISBN 978-5-88575-200-8. – EDN QLAJRL.

75. Каипов, Я. З. Влияние различных способов основной обработки почвы на её плотность / Я. З. Каипов, С. А. Лукьянов, З. Р. Султангазин // Совмещенные посевы полевых культур в севообороте агроландшафта : Международная научная экологическая конференция, Краснодар, 29–30 марта 2016 года / Под ред. И.С. Белюченко. – Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет, 2016. – С. 89-92. – EDN VUUVDT.

76. Карабутов, А. П. Изменение агрохимических показателей чернозема при длительном применении удобрений и обработок / А. П. Карабутов, Г. И. Уваров // Достижения науки и техники АПК. – 2011. – № 7. – С. 25-28. – EDN NYAMYL.

77. Карабутов, А. П. Влияние элементов агротехнологии на калийный режим почвы в длительных опытах / А. П. Карабутов, Г. И. Уваров // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Естественные науки. – 2015. – № 3(200). – С. 125-132. – EDN TTILHP.

78. Кирюшин, В. И. Проблема минимизации обработки почвы: перспективы развития и задачи исследований / В. И. Кирюшин // Земледелие. – 2013. – № 7. – С. 3-6. – EDN RHULMR.

79. Киселева, Т. С. Агрофизические свойства почвы при возделывании зернобобовых культур (горох, нут) по основной обработке почвы в Тюменской области / Т. С. Киселева, В. В. Рзаева // Перспективные разработки и прорывные технологии в АПК : Сборник материалов национальной научно-практической конференции, Тюмень, 21–23 октября 2020 года. – Тюмень: Государственный аграрный университет Северного Зауралья, 2020. – С. 112-117. – EDN UMRGPD.

80. Князев, Б. М. Симбиотическая и фотосинтетическая деятельность растений сои в зависимости от влажности почвы в степной зоне / Б. М. Князев, Х. М. Назранов, Д. Б. Князева // Известия Кабардино-Балкарского государственного аграрного университета им. В.М. Кокова. – 2022. – № 4(38). – С. 15-20. – DOI 10.55196/2411-3492-2022-4-38-15-20. – EDN PXXPFA.

81. Кобякова, Т. И. Методические рекомендации по оценке обеспеченности почв нитратным азотом и применению азотных удобрений в зоне обслуживания ФГБУ САС «Шадринская» / Т. И. Кобякова. – Шадринск, 2018. – 20 с.

82. Коваленко, Н. Я. Экономика сельского хозяйства : Учебник / Н. Я. Коваленко, Ю. И. Агирбов, В. С. Сорокин [и др.]. – 1-е изд.. – Москва : Издательство Юрайт, 2024. – 406 с. – (Высшее образование). – ISBN 978-5-9916-8769-0. – EDN MILCRU.

83. Конова, А. М. Действие и последствие длительного внесения минеральных удобрений на продуктивность севооборота и агрохимические показатели почвы / А. М. Конова, А. Ю. Гаврилова // Плодородие. – 2021. – № 4(121). – С. 10-13. – DOI 10.25680/S19948603.2021.121.03. – EDN LXHNIIG.

84. Коржов, С. И. Взаимоотношения культурного и сорного компонентов в агрофитоценозах / С. И. Коржов, Т. А. Трофимова, И. Б. Бащев, Е. А. Гранкин // Вестник Воронежского государственного аграрного

университета. – 2021. – Т. 14, № 4(71). – С. 65-74. – DOI 10.53914/issn2071-2243_2021_4_65. – EDN BIEPVC.

85. Кошкин, Е. И. Физиология устойчивости сельскохозяйственных культур / Е. И. Кошкин. – Москва : Дрофа, 2010. – 638 с. – ISBN 978-5-358-07798-0. – EDN SDTWVB.

86. Кошкин, Е. И. Реакция сорного компонента агрофитоценозов на изменение климата / Е. И. Кошкин, И. В. Андреева, Г. Г. Гусейнов [и др.] // Агрехимия. – 2020. – № 11. – С. 83-96. – DOI 10.31857/S000218812011006X. – EDN ZZOKJL.

87. Красовская, А. В. Зернобобовые культуры в подтайге Западной Сибири / А. В. Красовская, Т. М. Веремей // Зернобобовые культуры - развивающееся направление в России : первый международный форум, Омск, 19–22 июля 2016 года / ФГБОУ ВО «Омский государственный аграрный университет им. П.А. Столыпина». – Омск: Полиграфический центр КАН, 2016. – С. 76-78. – EDN WEKSRN.

88. Краснова, Е. А. Влияние способов основной обработки на водно-физические свойства почвы и урожайность сои в Западной Сибири / Е. А. Краснова, В. В. Рзаева, А. С. Линьков // Аграрный научный журнал. – 2020. – № 9. – С. 21-24. – DOI 10.28983/asj.y2020i9pp21-24. – EDN KUUYBQI.

89. Краснова, Е. А. Влияние способов основной обработки почвы на продуктивность сои в северной лесостепи Тюменской области / Е. А. Краснова, В. В. Рзаева // Развитие научной, творческой и инновационной деятельности молодёжи : Материалы IX Всероссийской научно-практической конференции молодых учёных, Лесниково, 29 ноября 2017 года. – Лесниково: Курганская государственная сельскохозяйственная академия им. Т.С. Мальцева, 2017. – С. 227-230. – EDN YROFZE.

90. Краснова, Е. А. Влияние способов основной обработки почвы на засоренность посевов сои в Западной Сибири / Е. А. Краснова, В. В. Рзаева // Аграрный вестник Урала. – 2019. – № 5(184). – С. 4-8. – DOI 10.32417/article_5d5151b13c3e81.50736248. – EDN TYWRRM.

91. Краснова, Е. А. Урожайность сортов сои по способам основной обработки почвы / Е. А. Краснова, А. Г. Сарсенбай, В. В. Рзаева // Актуальные направления развития АПК : Сборник материалов конференции, Екатеринбург, 28–30 ноября 2019 года. – Екатеринбург: Уральский государственный аграрный университет, 2020. – С. 268-271. – EDN JFXUTU.

92. Кривошеева, Е. Д. Динамика содержания основных элементов питания и урожайность в посевах мягкой озимой пшеницы в зависимости от основного способа обработки почвы / Н. В. Нехорошова, А. А. Сухарев, Г. В. Метлина // Зерновое хозяйство России. – 2016. – № 5. – С. 62-67. – EDN XRLIIL.

93. Крюков, А. Н. Корреляционный анализ количественных признаков сои / А. Н. Крюков, И. Е. Романцова, С. А. Линков // Наука, образование и инновации для АПК: состояние, проблемы и перспективы : Материалы VI Международной научно-практической онлайн-конференции, Майкоп, 25 ноября 2020 года. – Майкоп: Издательство «Магарин Олег Григорьевич», 2020. – С. 118-119. – EDN YGPVIE.

94. Кузнецов, Д. А. Влияние способов основной обработки на влажность и плотность почвы в посевах сои / Д. А. Кузнецов // Вклад молодых ученых в инновационное развитие АПК России : Сборник статей Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых, Пенза, 29–30 октября 2020 года. Том I. – Пенза: Пензенский государственный аграрный университет, 2020. – С. 133-135. – EDN UGVNOM.

95. Кураченко, Н. Л. Содержание и пространственное распределение подвижных элементов питания агрочерноземов в зависимости от способов основной обработки почвы / Н. Л. Кураченко, А. А. Колесник // Агрехимия. – 2020. – № 7. – С. 11-16. – DOI 10.31857/S0002188120030084. – EDN HMYXWJ.

96. Кутузова, Н. Д. Влияние пространственной неоднородности почвенных свойств на рост и урожайность сои / Н. Д. Кутузова, Г. С. Куст, С. Ю. Розов, Г. В. Стома // Почвоведение. – 2015. – № 1. – С. 95. – DOI 10.7868/S0032180X15010116. – EDN TFFVNFV.

97. Лазарев, В. И. Динамика гумусового состояния чернозема типичного при его длительном сельскохозяйственном использовании в различных агроэкосистемах / В. И. Лазарев, И. А. Золотарева // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. – 2008. – № 3. – С. 6-9. – EDN KZVFRB.

98. Лиханов, Н. В. ВЕСТИ ТУЛА [Электронный ресурс]: Правительство Тульской области ввело режим ЧС из-за гибели урожая / гл. ред. Н. В. Лиханов. Тула : Тульские новости от ГТРК «Тула». Свидетельство о регистрации СМИ : Эл № ФС 77-59166 от 22 августа 2014 года, выдано Роскомнадзором. URL : <https://vestitula.ru/lenta/134817> (дата обращения: 27.02.2022).

99. Масютенко, Н. П. К оценке здоровья почв по показателям их гумусного состояния / Н. П. Масютенко // Актуальные проблемы почвоведения, экологии и земледелия : Сборник докладов XVIII Международной научно-практической конференции Курского отделения МОО "Общество почвоведов имени В.В. Докучаева", Курск, 26–28 апреля 2023 года. – Курск: Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Курский федеральный аграрный научный центр», 2023. – С. 192-196. – EDN ZUOE XU.

100. Медведев, И. Ф. Изменение агрофизических и агрохимических свойств чернозема южного при различных способах основной обработки почвы / И. Ф. Медведев, В. А. Назаров, Д. И. Губарев [и др.] // Аграрный научный журнал. – 2017. – № 2. – С. 14-19. – EDN XYCIQB.

101. Медведева, А. М. Содержание и запас гумуса в черноземе обыкновенном при использовании различных систем основной обработки / А. М. Медведева, О. А. Бирюкова, Я. И. Ильченко [и др.] // Успехи современного естествознания. – 2018. – № 1. – С. 29-34. – EDN YODEKA.

102. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Выпуск второй: Зерновые, крупяные, зернобобовые, кукуруза и кормовые культуры / Гос. комис. по

сортоиспытанию с.-х. культур. – М.: Б. и., 1989. – с. 31-39. – Текст: непосредственный.

103. Минакова, О. А. Гумусное состояние чернозема выщелоченного при длительном применении удобрений в зернопаропропашном севообороте ЦЧП / О. А. Минакова, А. И. Громовик // Плодородие. – 2009. – № 2(47). – С. 10-11. – EDN KYPJQR.

104. Минакова, О. А. Влияние длительного применения минеральных удобрений и навоза на гумусовое и азотное состояние чернозема выщелоченного в зерносвекловичном севообороте лесостепи Центрально-Черноземной зоны / О. А. Минакова, Л. В. Тамбовцева, А. И. Громовик // Агрохимия. – 2011. – № 5. – С. 18-25. – EDN NTYDYV.

105. Мнатсаканян, А. А. Влияние систем основной обработки почвы на агрофизические и агрохимические показатели и урожайность сои / А. А. Мнатсаканян // Плодородие. – 2021. – № 5(122). – С. 22-25. – DOI 10.25680/S19948603.2021.122.06. – EDN GHZLLF.

106. Моисеенко, И. Я. Симбиотическая деятельность агроценозов сои и химический состав продукции культур зерновых севооборотов при различном насыщении их посевами сои / И. Я. Моисеенко, П. И. Голенков // Вестник Брянской государственной сельскохозяйственной академии. – 2009. – № 5. – С. 3-8. – EDN MUYSWN.

107. Морозов, А. Н. Влияние способов основной обработки почвы на засоренность посевов, урожайность и качество зерна сои / А. Н. Морозов, Д. В. Дубовик, Б. С. Ильин // Таврический вестник аграрной науки. – 2022. – № 2(30). – С. 74-85. – EDN KYMTZF.

108. Мудрых, Н. М. Лабораторные занятия по агрохимии : лабораторная работа / Н. М. Мудрых, М. А. Алешин. – г. Пермь : Пермская государственная сельскохозяйственная академия имени академика Д.Н. Прянишникова, 2013. – 44 с. – EDN FKIOUB.

109. Нафиков, М. М. Влияние основной обработки почвы и фона питания на урожайность сои в Закамье / М. М. Нафиков, С. Г. Смирнов, К. Н.

Рябкова // Инновационные направления развития АПК и повышение конкурентоспособности предприятий, отраслей и комплексов - вклад молодых ученых : Сборник научных трудов по материалам XVI международной научно-практической конференции, Ярославль, 23–25 января 2013 года / Главный редактор: Дугин П.И.. – Ярославль: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Ярославская государственная сельскохозяйственная академия», 2013. – С. 96-99. – EDN STZWTL.

110. Немькин, С. А. Влияние основной обработки почвы на агрофизические показатели плодородия почвы и урожайность сои / С. А. Немькин, А. А. Немькин, Е. Б. Захарова // Адаптивные технологии в растениеводстве Амурской области : Сборник научных трудов. Том Выпуск 12. – Благовещенск : Дальневосточный государственный аграрный университет, 2016. – С. 77-81. – EDN ZCHAQT.

111. Никитин, В. В. Изменение гумуса как показателя плодородия чернозема типичного юго-западной части Центрально-Черноземного региона / В. В. Никитин, В. Д. Соловиченко // Проблемы агрохимии и экологии. – 2012. – № 2. – С. 3-7. – EDN PASTWP.

112. Никитин, В. В. Влияние севооборотов, способов обработки почв и удобрений на изменение содержания гумуса в черноземе типичном / В. В. Никитин, С. И. Тютюнов, В. Д. Соловиченко [и др.] // Аграрная наука. – 2015. – № 3. – С. 5-7. – EDN TNUDAT.

113. Ничипорович, А. А. Некоторые принципы комплексной оптимизации фотосинтетической деятельности и продуктивности растений / А. А. Ничипорович // Важнейшие проблемы фотосинтеза в растениеводстве. – М.: Колос, 1970. – с. 120–127. – Текст: непосредственный.

114. Носкова, Е. Н. Влияние способов обработки почвы и видов удобрений на агрофизические свойства почвы, засоренность посевов и урожайность ячменя / Е. Н. Носкова, Л. М. Козлова, Ф. А. Попов, Е. В.

Светлакова // Таврический вестник аграрной науки. – 2022. – № 3(31). – С. 148-158. – EDN URZDYV.

115. Орлов, Д. С. Органическое вещество почв Российской Федерации / Д. С. Орлов, О. Н. Бирюкова, Н. И. Суханова; Моск. гос. ун-т им. М. В. Ломоносова, Фак. почвоведения. - Москва : Наука, 1996. – 253 с. – Текст: непосредственный.

116. Осауленко, С. Н. Влияние способов и приемов основной обработки на влажность почвы, плотность сложения и урожайность гороха посевного / С. Н. Осауленко, В. С. Полоус // Агропромышленные технологии Центральной России. – 2021. – № 2(20). – С. 74-80. – DOI 10.24888/2541-7835-2021-20-74-80. – EDN LSALIG.

117. Осауленко, С. Н. Влияние способов и приемов основной обработки чернозема обыкновенного на влажность, плотность сложения почвы и урожайность льна масличного в центральной зоне Краснодарского края / С. Н. Осауленко, В. С. Полоус // Агропромышленные технологии Центральной России. – 2021. – № 2(20). – С. 67-73. – DOI 10.24888/2541-7835-2021-20-67-73. – EDN CGWZYС.

118. Официальное опубликование правовых актов [Электронный ресурс]: Постановление Правительства Тульской области от 23.11.2022 № 742 «О введении режима чрезвычайной ситуации в агропромышленном комплексе на территории Тульской области» / Свидетельство о регистрации СМИ № ФС77-47467. Электронный паспорт ФГИС № ФС77110096. URL : <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/7100202211250004?index=1> (дата обращения: 27.02.2022).

119. Панина, И. В. Урожайность сои в зависимости от способа основной обработки почвы / И. В. Панина // В мире научных открытий : Материалы VI Международной студенческой научной конференции, Ульяновск, 24–25 мая 2022 года. – Ульяновск: Ульяновский государственный аграрный университет им. П.А. Столыпина, 2022. – С. 158-162. – EDN DHZDFO.

120. Перфильев, О. А. Влияние минимизации обработки на плодородие тёмно-серой лесной почвы в Северном Зауралье / Н. В. Перфильев, О. А. Вьюшина, Л. Н. Скипин // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2015. – № 6(56). – С. 43-47. – EDN VDONYJ.

121. Пичугин, А. П. Основы научных исследований в агрономии: методические указания по выполнению практической заданий по теме: «Дисперсионный анализ экспериментальных данных полевого опыта» / А. П. Пичугин. – Воронеж: Воронежский государственный аграрный университет им. Императора Петра I, 2019. – 34 с.

122. Полевой определитель почв России / Российская акад. с.-х. наук, Гос. науч. учреждение Почвенный ин-т им. В. В. Докучаева, О-во почвоведов им. В. В. Докучаева. – Москва : Почвенный ин-т В. В. Докучаева, 2008. – 182 с. – ISBN 978-5-85941-255-6. – EDN QKZKCB.

123. Попов, А. И. Гуминовые вещества : свойства, строение, образование / А. И. Попов ; А. И. Попов ; под ред. Е. И. Ермакова ; С.-петерб. гос. ун-т, Биол. науч.-исслед. ин-т. – СПб. : Изд-во С.-петерб. ун-та, 2004. – ISBN 5-288-03516-4. – EDN QKBFAH.

124. Попова, Н. П. Особенности белкового комплекса семян сои северного экотипа / Н. П. Попова, М. Е. Бельшкіна, Т. П. Кобозева // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. – 2018. – № 1. – С. 104-108. – DOI 10.26897/0021-342X-2018-1-104-108. – EDN YWZINN.

125. Пухов, Х. Т. Биологические особенности роста и развития сои в зависимости от условий питания / Х. Т. Пухов, А. Ю. Хадиков // Материалы Всероссийской научно-практической конференции : Материалы конференции, посвященной памяти заслуженного деятеля науки и образования РФ, заслуженного работника высшей школы России, заслуженного работника образования РСО-Алания, доктора сельскохозяйственных наук, профессора Кесаева Хетага Естаевича, Владикавказ, 15 ноября 2022 года. Том Часть 1. – Владикавказ: Горский государственный аграрный университет, 2022. – С. 68-70. – EDN FNFELJ.

126. Рахимова, Ю. М. Влияние основной обработки почвы и применения гербицидов на урожайность и качество семян сои / Ю. М. Рахимова, А. В. Дозоров // Международный сельскохозяйственный журнал. – 2014. – № 4. – С. 38-40. – EDN SQIHVT.

127. Рахимова, Ю. М. Влияние приемов основной обработки почвы и гербицидов на урожайность и качество сои в условиях лесостепи Поволжья : диссертация на соискание ученой степени кандидата наук / Рахимова Юлия Мансуровна, 2014. – 151 с. – EDN AYRNON.

128. Ревут, И. Б. Как правильно обрабатывать почву / И. Б. Ревут, д-р с.-х. наук. - Москва : Знание, 1966. - 32 с. – Текст: непосредственный.

129. Роде, А. А. Водный режим почв и его регулирование / А. А. Роде. – Москва : АН СССР, 1963. – 119 с. – EDN YXATWX.

130. Ренева, О. Ю. Влияние удобрений и норм высева на урожай и качество зерна сои / О. Ю. Ренева // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2011. – № 4(32). – С. 75-77. – EDN PAXRSV.

131. Рожанская, О. А. Особенности селекции сои с использованием методов соматоклональной изменчивости и мутагенеза в условиях Западной Сибири / О. А. Рожанская, Р. И. Полюдина // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. – 2012. – № 4(227). – С. 69-76. – EDN PEKUOL.

132. Савенков, В. П. Урожай и качество семян сои в зависимости от способов основной обработки почвы / В. П. Савенков, Н. Н. Хрюкин, А. М. Епифанцева // Масличные культуры. Научно-технический бюллетень Всероссийского научно-исследовательского института масличных культур. – 2018. – № 1(173). – С. 55-60. – DOI 10.25230/2412-608X-2018-1-173-55-60. – EDN UQTMXP.

133. Середина, В. П. Показатели и методы оценки кислотно-основных и катионообменных свойств почв: Учебное пособие / В. П. Середина, В. З. Спирина. – Томск: Томский государственный университет, 2009. – 130 с. – Текст: непосредственный.

134. Синеговская, В. Т. Влияние продолжительности светового дня на рост, развитие и продуктивность сои / В. Т. Синеговская, А. Н. Левина // Дальневосточный аграрный вестник. – 2020. – № 2(54). – С. 47-55. – DOI 10.24411/1999-6837-2020-12021. – EDN HZCZAS.

135. Синещеков, В. Е. Формирование условий минерального питания яровой пшеницы по различным способам подготовки пара / В. Е. Синещеков, Г. И. Ткаченко // АПК России. – 2017. – Т. 24, № 4. – С. 910-914. – EDN ZXVQQN.

136. Смирнов, С. Г. Влияние способа основной обработки почвы и удобрений на агрофизические свойства почвы, урожайность и качество зерна сои / С. Г. Смирнов, М. М. Нафиков, В. Н. Фомин // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 1. – С. 384. – EDN SBKXWP.

137. Смуров, С. И. Влияние способов основной обработки почвы на некоторые агрохимические показатели чернозёма типичного / С. И. Смуров, Н. В. Шелухина // Достижения науки и техники АПК. – 2013. – № 11. – С. 24-26. – EDN RKNBZN.

138. Созонова, А. Н. Структура урожая скороспелых сортов сои в Тюменской области / А. Н. Созонова, А. С. Иваненко // Вестник Государственного аграрного университета Северного Зауралья. – 2017. – № 2(37). – С. 90-94. – EDN YUDIOF.

139. Соколов, Н. М. Влияние основной обработки на динамику накопления нитратного азота в почве / Н. М. Соколов, Н. М. Жолинский, С. Б. Стрельцов, И. Н. Кораблева // Российская сельскохозяйственная наука. – 2020. – № 6. – С. 34-37. – DOI 10.31857/S2500262720060083. – EDN LASDGH.

140. Сорокина, М. В. Урожайность и качество зерна сои при различной интенсивности обработки почвы / М. В. Сорокина, В. Т. Лобков, Н. И. Абакумов, Ю. А. Бобкова // Агробизнес и экология. – 2015. – Т. 2, № 2. – С. 69-71. – DOI 10.18551/rjoas.2015.e-conf. – EDN VZKUXF.

141. Сорокина, М. В. Агроэкологическое обоснование формирования урожайности сои в зависимости от приема основной обработки почвы / М. В.

Сорокина, Г. А. Игнатова, Е. И. Степанова // Экологизация сельскохозяйственного производства : Материалы Всероссийской (Национальной) научно-практической конференции студентов, аспирантов, молодых ученых и специалистов, Орел, 18 ноября 2021 года. – Орел: Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина, 2021. – С. 197-203. – EDN LDGLGO.

142. Стекольников, К. Е. Влияние систем обработки чернозёмов на их плодородие / К. Е. Стекольников // Научное обеспечение развития АПК в условиях импортозамещения : Сборник научных трудов по материалам международной научно-практической конференции, посвященной Году науки и технологий, Санкт-Петербург - Пушкин, 26–28 мая 2021 года. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, 2021. – С. 35-39. – EDN TVIRDB.

143. Стручкова, А. М. Трансформация гумусного состояния чернозёма под влиянием технологии No-till / А. М. Стручкова, Д. Н. Пищулин, К. Е. Стекольников // Инновационные решения молодых ученых в аграрной науке : Материалы Всероссийской научно-практической конференции, Воронеж, 26 декабря 2018 года. – Воронеж: Воронежский государственный аграрный университет им. Императора Петра I, 2019. – С. 238-242. – EDN CMERFQ.

144. Тильба, В. А. Особенности формирования симбиотического аппарата у среднеспелых сортов сои на выщелоченном чернозёме Краснодарского края / В. А. Тильба, Н. М. Тишков, М. В. Шкарупа // Масличные культуры. Научно-технический бюллетень Всероссийского научно-исследовательского института масличных культур. – 2017. – № 4(172). – С. 72-78. – EDN YOBZHK.

145. Титовская, А. И. Влияние обработки почвы, удобрений и сорта ярового ячменя на биологические показатели плодородия / А. И. Титовская // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. – 2015. – № 8. – С. 149-152. – EDN VYMHGT.

146. Трофимова, Т. А. Показатели плодородия черноземов под влиянием длительного применения различных обработок почвы и удобрений / Т. А. Трофимова, С. И. Коржов, А. П. Пичугин, Г. В. Котов // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2016. – № 3(50). – С. 32-39. – DOI 10.17238/issn2071-2243.2016.3.32. – EDN WYBQJR.

147. Трофимова, Т. А. Ресурсосберегающие технологии обработки почвы / Т. А. Трофимова, С. И. Коржов // Лесотехнический журнал. – 2014. – Т. 4, № 1(13). – С. 200-208. – DOI 10.12737/3370. – EDN SAXKIF.

148. Трофимова, Т. А. Засоренность посевов при различных приемах и системах зяблевой обработки почвы в ЦЧР / Т. А. Трофимова, С. И. Коржов, В. А. Маслов, А. П. Пичугин // Лесотехнический журнал. – 2015. – Т. 5, № 2(18). – С. 81-92. – DOI 10.12737/111982. – EDN TZCAPD.

149. Туманов, Н. А. Влияние приемов основной обработки почвы на урожайность сои в лесостепи Среднего Поволжья / Н. А. Туманов // Вклад молодых ученых в аграрную науку : материалы международной научно-практической конференции, Кинель, 13–14 апреля 2016 года / Самарская государственная сельскохозяйственная академия. – Кинель: Самарская государственная сельскохозяйственная академия, 2016. – С. 116-118. – EDN WJFPIR.

150. Тютюнов, С. И. Поведение гумуса в черноземе типичном в связи с различным уровнем интенсивности использования пашни / С. И. Тютюнов, А. П. Карабутов // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. – 2017. – № 4(16). – С. 74-83. – EDN ZVZPCV.

151. Тютюнов, С. И. Влияния способов обработки почвы, минеральных и органических удобрений в различных севооборотах на содержание гумуса в чернозёме типичном / С. И. Тютюнов, В. Д. Соловиченко, А. С. Цыгуткин, И. В. Логвинов // Достижения науки и техники АПК. – 2020. – Т. 34, № 5. – С. 7-12. – DOI 10.24411/0235-2451-2020-10501. – EDN EJPKYT.

152. Тютюнов, С. И. Влияние основных факторов системы воспроизводства плодородия почв на содержание подвижного калия в

чернозёме типичном юго-западной части ЦЧР / С. И. Тютюнов, Е. В. Навольнева, В. В. Навальнев [и др.] // Земледелие. – 2023. – № 2. – С. 8-12. – DOI 10.24412/0044-3913-2023-2-8-12. – EDN ZUOYXP.

153. Фадеева, М. Ф. Оценка азотфиксирующей активности перспективных линий сои / М. Ф. Фадеева, Л. В. Воробьева // Вестник Марийского государственного университета. Серия: Сельскохозяйственные науки. Экономические науки. – 2015. – Т. 1, № 4(4). – С. 51-54. – EDN VLPJYT.

154. Федорец, Н. Г. Методика исследования почв урбанизированных территорий : (учебно-методическое пособие для студентов и аспирантов эколого-биологических специальностей) / Н. Г. Федорец, М. В. Медведева ; Н. Г. Федорец, М. В. Медведева; Научный редактор: к.б.н. О. Н. Бахмет Печатается по решению Ученого совета Учреждения Российской академии наук Института леса Карельского научного центра РАН. – Петрозаводск : Карельский научный центр РАН, 2009. – 82 с. – ISBN 978-5-9274-0383-7. – EDN QLALWT.

155. Федотов, В. А. Соя в России / В. А. Федотов, С. В. Гончаров, О. В. Столяров [и др.] ; под редакцией В.А. Федотова, С.В. Гончарова. – Москва : Агролига России, 2013. – 431 с. – ISBN 978-5-85879-866-8. – EDN QMMJHN.

156. Фетюхин, И. В. Методы учета структуры сорного компонента в агрофитоценозах : Учебное пособие / И. В. Фетюхин, А. П. Авдеенко, С. С. Авдеенко, В. В. Черненко, Н. А. Рябцева. – Персиановский : Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Донской государственный аграрный университет», 2018. – 76 с. – EDN XMNGQY.

157. Фомин, В. Н. Влияние способов основной обработки почвы и удобрений на динамику влажности почвы, водопотребление и урожайность кукурузы при выращивании на силос / В. Н. Фомин, М. М. Нафиков, В. В. Медведев, Д. В. Якимов // Достижения науки и техники АПК. – 2017. – Т. 31, № 12. – С. 12-16. – EDN YMEMTW.

158. Хаджиматов, В. А. Технология защиты сои / В. А. Хаджиматов // Сфера. Технологии. Корма. Ветеринария. – 2018. - №2 (8). – с. 22-23. – Текст: непосредственный.

159. Хайрулина, Т. П. Рост и развитие сои при действии водного стрессора / Т. П. Хайрулина, П. В. Тихончук // Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук. – 2012. – № 5. – С. 18-20. – EDN PBRNGH.

160. Хамоков, Х. А. Выбор наиболее эффективных способов основной обработки почвы и их влияние на симбиотическую деятельность и структуру урожая посевов сои / Х. А. Хамоков, Э. Х. Хамоков // Известия Кабардино-Балкарского государственного аграрного университета им. В.М. Кокова. – 2015. – № 1(7). – С. 17-21. – EDN TNTJUZ.

161. Хамоков, Х. А. Влияние сортовой специфичности и условий возделывания сои на симбиотическую деятельность посевов / Х. А. Хамоков // Современные тенденции развития науки и технологий. – 2015. – № 3-2. – С. 63-66. – EDN UBFWWT.

162. Хамоков, Ю. Х. Земледелие и вспашка. Вспашка как антропогенный фактор деградации экосистем / Ю. Х. Хамоков, М. А. Канокова // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. – 2022. – № 6(110). – С. 225-235. – DOI 10.35330/1991-6639-2022-6-110-225-235. – EDN VHSXQV.

163. Цыганенко, М. К. Питательный режим почв в зависимости от способов основной обработки почвы / М. К. Цыганенко, Е. Э. Галкина, В. Ф. Прокопчук, А. А. Немькин // Наука в России : перспективные исследования и разработки : сборник материалов I Всероссийской научно-практической конференции, Новосибирск, 31 октября – 30 2017 года. – Новосибирск: Общество с ограниченной ответственностью "Центр развития научного сотрудничества", 2017. – С. 65-70. – EDN ZVWIWL.

164. Чекмарев, П. А. Мониторинг содержания подвижных форм фосфора и калия в пахотных почвах Белгородской области / П. А. Чекмарев, С. В. Лукин // Достижения науки и техники АПК. – 2020. – Т. 34, № 2. – С. 5-9. – DOI 10.24411/0235-2451-2020-10201. – EDN ZFTUOT.

165. Чекмарев, П. А. Мониторинг содержания органического вещества в пахотных почвах ЦЧР / П. А. Чекмарев, С. В. Лукин, Ю. И. Сискевич [и др.] // Достижения науки и техники АПК. – 2011. – № 9. – С. 23-26. – EDN OGBSVJ.

166. Ченцова, В. Д. Влияние микроэлементов на продуктивность и качество зерна сои / В. Д. Ченцова // Всероссийская конференция-конкурс молодых исследователей «Агробиоинженерия – 2022» : Сборник статей, Москва, 01 февраля – 30 2022 года. – Москва: Российский государственный аграрный университет - МСХА им. К.А. Тимирязева, 2022. – С. 128-134. – EDN GSQZMJ.

167. Черезов, Р. Н. Влияние обработки почвы и способов посева на урожайность сои на черноземе обыкновенном Западного Предкавказья рн / Р. Н. Черезов, Э. Г. Устарханова, А. С. Бушнев // Агронаука. – 2023. – Т. 1, № 2. – С. 11-16. – DOI 10.24412/2949-2211-2023-1-2-11-16. – EDN XBDVXU.

168. Чернелевский Н. С., Брезинский В. Б. Приемы основной обработки дерновоподзолистой почвы и урожайность сельскохозяйственных культур. Ресурсосберегающие системы обработки почвы / Н. С. Чернелевский, В. Б. Брезинский // Сб. науч. тр; под ред. академика ВАСХНИЛ И.П. Макарова. – М.: Агропромиздат, 1990. – С. 175-181. – Текст: непосредственный.

169. Шабаев, А. И. Адаптивно-экологические системы земледелия в агроландшафтах Поволжья / А. И. Шабаев. – Саратов : Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И. Вавилова, 2003. – 320 с. – ISBN 5-7011-0326-9. – EDN VDCQIJ.

170. Шабаев, А. И. Ресурсосберегающая почвозащитная обработка в агроландшафтах Поволжья / А. И. Шабаев, Н. М. Жолинский, Н. М. Азизов, Н. М. Соколов // Земледелие. – 2007. – № 1. – С. 20-22. – EDN NYJQGH.

171. Шабалкин, А. В. Эффективность возделывания сои в зависимости от основной обработки почвы, минеральных удобрений и гербицидов / А. В. Шабалкин, В. А. Воронцов, Ю. П. Скорочкин // Масличные культуры. – 2020. – № 2(182). – С. 70-75. – DOI 10.25230/2412-608X-2020-2-182-70-75. – EDN DJXJLN.

172. Шабалдас, О. Г. Влияние различных способов и приемов основной обработки почвы на агрегатный состав и урожайность сои / О. Г. Шабалдас, А. И. Войсковой, А. С. Голубь // Вестник АПК Ставрополя. – 2013. – № 4(12). – С. 31-35. – EDN RUJVJD.

173. Шабалдас, О. Г. Фотосинтетическая деятельность и продуктивность сои в зависимости от активности симбиоза / О. Г. Шабалдас, О. М. Агафонов, А. С. Голубь [и др.] // Теоретические и прикладные проблемы агропромышленного комплекса. – 2018. – № 1(34). – С. 7-11. – EDN YTPUQY.

174. Шабалдас, О. Г. Продуктивность сортов сои различных групп спелости в условиях восточной зоны Краснодарского края / О. Г. Шабалдас, Н. И. Зайцев, К. И. Пимонов [и др.] // Земледелие. – 2019. – № 7. – С. 38-40. – DOI 10.24411/0044-3913-2019-10710. – EDN OMGUEY.

175. Шатилов, И. С. Фотосинтетическая деятельность некоторых полевых культур при разных сроках и способах сева / И. С. Шатилов // Известия ТСХА. – 1967. – № 3. – с. 44-49. – Текст: непосредственный.

176. Шафигуллин, Д. Р. Изучение изменчивости количественных признаков у овощных и зерновых форм сои в условиях Центральной части Нечернозёмной зоны / Д. Р. Шафигуллин, М. С. Гинс, Е. В. Романова, Е. П. Пронина // Зернобобовые и крупяные культуры. – 2017. – № 2(22). – С. 16-23. – EDN YRWOYD.

177. Шептухова, Л. Г. Изменение содержания гумуса чернозёма выщелоченного смытого тяжёлосуглинистого в процессе сельскохозяйственного использования /Л.Г. Шептухова, Л.Н. Придачина // Системы воспроизводства плодородия почвы в ландшафтном земледелии. - Белгород. - 2001. - С. 239-241. – Текст: непосредственный.

178. Шишина, А. С. Влияние способов основной обработки почвы на засоренность и продуктивность посевов сои / А. С. Шишина, Е. В. Миронова, Л. Н. Жичкина // Новости науки в АПК. – 2019. – № 3(12). – С. 403-405. – DOI 10.25930/2218-855X/102.3.12.2019. – EDN VGYUQ.

179. Шпаар, Д. Защита растений в устойчивых системах землепользования : в 4 х книгах / У. Бурт, Т. Витг, Х. Гинапп [и др.]. Том Книга 2. – Торжок : ООО «Вариант», 2003. – 374 с. – ISBN 3-660-29129-8. – EDN VVLTLB.

180. Шульпин, М. А. Влияние основной обработки на плотность почвы в посевах озимой пшеницы / М. А. Шульпин // Современные проблемы агропромышленного комплекса : Сборник научных трудов, Самара, 08 июня 2023 года. – Кинель: Самарский государственный аграрный университет, 2023. – С. 132-137. – EDN IYUCVT.

181. Щукин, С. В. Влияние способов основной обработки, удобрений и гербицидов на структуру почвы и урожайность полевых культур / С. В. Щукин, Е. А. Горнич // Ресурсосберегающие технологии в земледелии : Сборник научных трудов по материалам IV Международной научно-практической конференции, Ярославль, 27 февраля 2019 года. – Ярославль: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Ярославская государственная сельскохозяйственная академия», 2019. – С. 119-124. – EDN BYPMAZ.

182. Юркова, Р. Е. Влияние минеральных удобрений на рост, развитие и урожайность сои на лугово-черноземных почвах Ростовской области / Р. Е. Юркова, Л. М. Докучаева // Мелиорация и гидротехника. – 2021. – Т. 11, № 3. – С. 206-220. – DOI 10.31774/2712-9357-2021-11-3-206-220. – EDN KQFFCK.

183. Ягодин, Б. А. Агрохимия: учебник для вузов / Б. А. Ягодин, Ю. П. Жуков, В. И. Кобзаренко. – 4-е изд., стер. – Санкт-Петербург : Лань, 2023. – 584 с. – Текст: непосредственный.

184. Якушева, Т. Г. Актуальная и обменная кислотность почв при паровании и выращивании растений / Т. Г. Якушева, И. Я. Маслова // Плодородие. – 2009. – № 5(50). – С. 46-48. – EDN KYWYVN.

185. Яскин, А. А. Практикум по почвоведению с основами геоботаники / А. А. Яскин, А. В. Хабаров, Л. П. Груздева, В. И. Андриенко. – Москва : Издательство «Колос», 1993. – 256 с. – ISBN 5-10-002841-6. – EDN UQTZWK.

186. Adamič, S., Leskovšek R. Soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) growth, yield, and nodulation in the early transition period from conventional tillage to conservation and no-tillage systems / S. Adamič, R. Leskovšek // *Agronomy*. – 2021. – Vol. 11 №. 12. – P. 2477. – DOI: 10.3390/agronomy11122477.
187. Akhmedova, A. Assessment of Soil Bulk Density and Moisture Content of Light-Gray-Brown Arable Soils at the Rainfed Condition / A. Akhmedova // *Bulletin of Science and Practice*. – 2023. – Vol. 9 № 9. – PP. 115-122. – DOI 10.33619/2414-2948/94/13.
188. Alamouti M. Y., Navabzadeh M. Investigating of plowing depth effect on some soil physical properties / M. Y. Alamouti, M. Navabzadeh // *Pakistan Journal of Biological Sciences*. – 2007. – Vol. 10 №. 24. – PP. 4510-4514. – DOI:10.3923/pjbs.2007.4510.4514.
189. Awale, R. Soil chemical properties and wheat yields under different tillage and nitrogen rates in eastern Oregon / R. Awale, S. Singh, S. Machado // *Agrosystems. Geosciences and Environment*. – 2022. - № 5 (3). – 14 p. – DOI:10.1002/agg2.20272.
190. Baver, L. D. Soil physics / L. D. Baver. – 3rd ed. – New York : Chapman and Hall. – 1956. – 489 c. – ISBN: 0471059749.
191. Bhagaseri, A. S. Leaf photosynthetic characteristics of determinate soybean cultivar / A.S. Bhagaseri, D. A. Ashley, R. H. Brown, H. R. Boerma // *Crop Sc.* - 1977. - vol. 17 № 6. - PP. 229-332. – DOI:10.1111/jac.12616.
192. Blaise, D. The response of weed community in soybean with conventional and conservation tillage systems on rainfed Vertisols / D. Blaise et al. // *Archives of Agronomy and Soil Science*. – 2015. – Vol. 61 №9. – PP. 1289-1301. – DOI:10.1080/03650340.2014.993389.
193. Borthwick, H. A. Photoperiodic responses of several varieties of soybeans / H.A. Borthwick, M.W. Parker // *Botanical Gazette*, 1939/ - №101(2). – PP. 341–365. – DOI: 10.1086/334874.

194. Chețan, F. Influence of soil tillage systems on the yield and weeds infestation in the soybean crop / F. Chețan et al. // *Land*. – 2022. – Vol. 11 №10. – P. 1708. – DOI:10.3390/land11101708.
195. Chețan, F. The effects of management (tillage, fertilization, plant density) on soybean yield and quality in a three-year experiment under transylvanian plain climate conditions / F. Chețan et al. // *Land*. – 2021. – Vol. 10. – №2. – P. 200. – DOI: 10.3390/land10020200.
196. Cociu, A. I. Effect of different tillage systems on grain yield and its quality of winter wheat, maize and soybean under different weather conditions / A. I. Cociu, E. Alionte // *Romanian Agricultural Research*. – 2017. – №. 34. – PP. 241-248.
197. Debska, B. Method of tillage with the factor determining the quality of organic matter / B. Debska, I. Jaskulska, D. Jaskulski // *Agronomy*. – 2020. – Vol. 10 №9. – P. 1250. – DOI:10.3390/agronomy10091250.
198. Dogan, K. Effect of different soil tillage methods on rhizobial nodulation, biyomas and nitrogen content of second crop soybean / K. Dogan et al. // *African Journal of Microbiology Research*. – 2011. – Vol. 5 №20. – PP. 3186-3194. – DOI:10.5897/AJMR11.165.
199. Egli, D. B. Temperature response of seed growth characteristics of soybeans / D. B. Egli, I. F. Wardlaw // *Agronomy Journal*. – 1980. – Vol. 72 №3. – C. 560-564. – DOI: 10.3923/ajpp.2007.251.260.
200. Fang C., Kong F. Soybean / C. Fang, F. Kong // *Current Biology*. – 2022. – Vol. 32 №17. – PP. R902-R904. – DOI: 10.1016/j.cub.2022.06.054.
201. Farmer, J. A. Influence of tillage method on management of *Amaranthus* species in soybean / J. A. Farmer et al. // *Weed Technology*. – 2017. – Vol. 31 №1. – PP. 10-20. – DOI:10.1614/WT-D-16-00061.1.
202. Fecák, P. Influence of tillage system and starting N fertilization on seed yield and quality of soybean *Glycine max* (L.) Merrill / P. Fecák, D. Šariková, I. Černý // *Plant, Soil and Environment*. – 2010. – Vol. 56 №3. – PP. 105-110. – DOI:10.17221/201/2009-PSE.

203. Gál, A. Soil carbon and nitrogen accumulation with long-term no-till versus moldboard plowing overestimated with tilled-zone sampling depths / A. Gál et al. // *Soil and Tillage Research*. – 2007. – Vol. 96 №1-2. – PP. 42-51. – DOI:10.1016/j.still.2007.02.007.

204. Gawęda, D. Yield and Economic Effectiveness of Soybean Grown Under Different Cropping Systems / D. Gawęda, A. Nowak, M. Haliniarz et al. // *International Journal of Plant Production*. – 2020. - №14. – PP. 475-485. – DOI:10.1007/s42106-020-00098-1.

205. Gawęda, D. Weed infestation and health of the soybean crop depending on cropping system and tillage system / D. Gawęda et al. // *Agriculture*. – 2020. – Vol. 10 №6. – P. 208. – DOI:10.3390/agriculture10060208.

206. Gawęda, D. Effect of tillage systems on yield, weed infestation and seed quality elements of soybean / D. Gawęda et al. // *Acta Agrophysica*. – 2016. – Vol. 23 №2. – PP. 175-187.

207. Johnson M. D., Lowery B., Daniel T. C. Soil moisture regimes of three conservation tillage systems / M. D. Johnson, B. Lowery, T. C. Daniel // *Transactions of the ASAE*. – 1984. – Vol. 27 №5. – PP. 1385-1390.

208. Jug, D. Effect of different tillage systems on the yield and yield components of soybean / D. Jug et al. // *Acta Agronomica Hungarica*. – 2010. – Vol. 58 №1. – PP. 65-72. – DOI:10.1556/AAgr.58.2010.1.8.

209. Lasisi, D. Effects of tillage methods on soybean growth and yield in a tropical sandy loam soil / D. Lasisi, O. B. Aluko // *International agrophysics*. – 2009. – Vol. 23 №2. – PP. 147-153.

210. Liaudanskiene, I. Distribution of organic carbon in humic and granulodensimetric fractions of soil as influenced by tillage and crop rotation / I. Liaudanskiene et al. // *Estonian Journal of Ecology*. – 2013. – Vol. 62 №1. – PP. 53-69. – DOI:10.3176/eco.2013.1.05.

211. Mazzoncini, M. Long-term effect of tillage, nitrogen fertilization and cover crops on soil organic carbon and total nitrogen content / M. Mazzoncini et al.

// Soil and tillage research. – 2011. – Vol. 114 №2. – PP. 165-174. – DOI:10.1016/j.still.2011.05.001.

212. Mourtzinis, S. Planting method and seeding rate effect on whole and partitioned soybean yield / S. Mourtzinis et al. // Agrosystems, Geosciences and Environment. – 2021. – Vol. 4 №3. – P. 9. – DOI:10.1002/agg2.20208.

213. Mujdeci, M. The effects of different soil tillage methods on soil water dynamic / M. Mujdeci et al. // Scientific Research and Essays. – 2010. – Vol. 5 №21. – PP. 3345-3350.

214. Murage, E. W. Distribution of organic carbon in the stable soil humic fractions as affected by tillage management / E. W. Murage, P. Voroney // Canadian journal of soil science. – 2008. – Vol. 88 №1. – PP. 99-106. – DOI:10.3176/eco.2013.1.05.

215. Mutiu, A. B. Conservation tillage impacts on soil, crop and the environment / A. B. Mutiu, S. K. Surinder, K. Amanpreet, B. Rajan, A. D. Ashur // International Soil and Water Conservation Research. – 2015. - №3. – PP.119-129. – DOI:10.1016/j.iswcr.2015.05.002.

216. Ndzelu, B. S. Tillage effects on humus composition and humic acid structural characteristics in soil aggregate-size fractions / B. S. Ndzelu et al. // Soil and Tillage Research. – 2021. – Vol. 213. – P. 105090. – DOI:10.1016/j.still.2021.105090.

217. Pereira dos Santos, H. Long-term effects of four tillage systems and weather conditions on soybean yield and agronomic characteristics in Brazil / H. Pereira dos Santos et al. // Australian Journal of Crop Science. – 2015. – Vol. 9 №5. – PP. 445-452.

218. Polláková, N. Effects of conventional and reduced tillage technologies on basic soil chemical properties / N. Polláková, V. Šimanský, J. Jonczak, A. Parzych // Journal of Elementology. – 2020. - №25 (3). – PP. 1101-1114. – DOI:10.5601/jelem.2020.25.2.1933.

219. Rusu, T. The influence of minimum soil tillage systems on weed density, frequency of phytopatogenous agents and crop yields of soybean, wheat, potato, rape

and corn / T. Rusu, P. Gus, I. Bogdan // *Journal of Food Agriculture and Environment*. – 2006. – Vol. 4 №1. – P. 225.

220. Sabo, M. Effect of reduced tillage on quality traits of soybean / M. Sabo, D. Jug, I. Jug // *Acta Agronomica Hungarica*. – 2007. – Vol. 55 №1. – PP. 83-88. – DOI:10.1556/AAgr.55.2007.1.9.

221. Salinas-Garcia, J. R. Soil carbon and nitrogen dynamics as affected by long-term tillage and nitrogen fertilization / J. R. Salinas-Garcia et al. // *Biology and Fertility of Soils*. – 1997. – Vol. 25. – PP. 182-188. – DOI:10.1007/s003740050301.

222. Sato, K. The Growth Responses of Soybean Plant to Photoperiod and Temperature: IV. The effect of temperature during the ripening period on the yield and characters of seeds / Sato K., Ikeda T. // *Japanese Journal of Crop Science*. – 1979. – Vol. 48 №2. – PP. 283-290. – DOI: 10.1626/jcs.48.283.

223. Semenikhina, Y. Influence of the main tillage methods on the moisture temperature mode of the soil and the yield of winter wheat / Semenikhina Y. et al. // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. – IOP Publishing, 2021. – Vol. 723 №3. – n. pag. – DOI:10.1088/1755-1315/723/3/032048.

224. Stawiński, C. Impact of diverse tillage on soil moisture dynamics / C. Stawiński, J. Cymerman, B. Witkowska-Walczak, K. Lamorski // *International Agrophysics*. – 2012. - №26. – PP. 301-309. – DOI: 10.2478/v10247-012-0043-5.

225. Sun, S. J. Effect of plowing depth on soil moisture and plant growth status in maize field / S. J. Sun et al. // *Journal of Shenyang Agricultural University*. – 2010. – Vol. 41 №4. – PP. 458-462.

226. Vakali, C. Reduced tillage in temperate organic farming: Effects on soil nutrients, nutrient content and yield of barley, rye and associated weeds / C. Vakali, J. G. Zaller, U. Köpke // *Renewable Agriculture and Food Systems*. – 2015. – Vol. 30 №3. – PP. 270-279. – DOI:10.1017/S1742170514000015.

227. Wei, K. Tillage effects on phosphorus composition and phosphatase activities in soil aggregates / K. Wei et al. // *Geoderma*. – 2014. – Vol. 217. – PP. 37-44. – DOI:10.1016/j.geoderma.2013.11.002.

228. Woźniak, A. Effect of tillage systems on the yield and quality of winter wheat grain and soil properties / A. Woźniak, L. Rachoń // *Agriculture*. – 2020. – Vol. 10 №9. – P. 405. – DOI:10.3390/agriculture10090405.

229. Wulanningtyas, H. S. A cover crop and no-tillage system for enhancing soil health by increasing soil organic matter in soybean cultivation / H. S. Wulanningtyas et al. // *Soil and Tillage Research*. – 2021. – Vol. 205. – n. pag. – DOI:10.1016/j.still.2020.104749.

230. Yoder, R. E. The significance of soil structure in relation to the tilth problem / R. E. Yoder // *Soil Science Society of America Proceedings*. - 1937. - №2. – PP. 21-33.

231. Zhao, X. Responses of soil pH to no-till and the factors affecting it: A global meta-analysis / X. Zhao, C. He, W. S. Liu, W. X. Liu, Q. Y. Liu, W. Bai, L.J. Li, R. Lal, H.L. Zhang // *Global Change Biology*. – 2022. - №28(1). – PP. 154-166. - DOI:10.1111/gcb.15930.

ПРИЛОЖЕНИЕ

