

На правах рукописи



МИХАЙЛОВА МАРИЯ ПАВЛОВНА

**ПОВЫШЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ СОРТОВ СОИ
К ВОЗДЕЙСТВИЮ НЕБЛАГОПРИЯТНЫХ ФАКТОРОВ
ЗА СЧЕТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ
ВЕЩЕСТВ В УСЛОВИЯХ ПРИАМУРЬЯ**

1.5.15. – Экология (биологические науки)

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание учёной степени
кандидата биологических наук

Петропавловск-Камчатский – 2021

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном научном учреждении
Федеральном научном центре «Всероссийский научно-исследовательский институт сои»
(ФГБНУ ФНЦ ВНИИ сои)

Научный руководитель:

Синеговская Валентина Тимофеевна
доктор сельскохозяйственных наук, профессор,
академик РАН,
заслуженный деятель науки РФ

Официальные оппоненты:

Глинушкин Алексей Павлович
доктор сельскохозяйственных наук,
чл.-корр. РАН, ФГБНУ «Всероссийский научно-
исследовательский институт
фитопатологии», директор

Мороховец Вадим Николаевич
кандидат биологических наук,
ДВ НИИЗР филиал ФГБНУ «ФНЦ агроботехнологий
Дальнего Востока им. А.К. Чайки», директор

Ведущая организация:

Федеральное государственное бюджетное учреждение
науки Хабаровский Федеральный исследовательский
центр
Дальневосточного отделения Российской академии
наук (ФГБУН ХФИЦ ДВО РАН)

Защита состоится «23» декабря 2021 г. в 14:00 на заседании диссертационного
совета 37.2.005.01 в ФГБОУ ВО «Камчатский государственный технический университет»
по адресу: г. Петропавловск-Камчатский, ул. Ключевская, д. 35.

Отзывы на автореферат направлять по адресу: 683003, г. Петропавловск-
Камчатский, ул. Ключевская, д. 35 (КамчатГТУ). Диссертационный совет 37.2.005.01
Телефон: 8(4152)300-877; факс: 8(4152)42-05-01; e-mail: oni@kamchatgtu.ru.

С диссертацией и авторефератом можно ознакомиться в библиотеке и на сайте
ФГБОУ ВО «КамчатГТУ» (<https://www.kamchatgtu.ru>).

Автореферат разослан «__» _____ 2021 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
кандидат биологических наук



Климова Анна Валерьевна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. В естественных условиях произрастания растения постоянно оказываются под действием абиотических и биотических факторов среды, к которым относятся: переувлажнение почвы, засуха, засоление, высокие и низкие температуры, патогенные микроорганизмы и другие. Стрессовое воздействие на растения могут оказывать и антропогенные факторы. Соя не конкурентоспособна против сорняков, поэтому для борьбы с ними в производстве широко используются высокоэффективные гербициды. Многие исследователи установили отрицательное воздействие гербицидов на выращиваемую культуру, вызывая у нее стресс (Wang M.E. et al. 2006; Коробова, Шинделов, 2012; Fabiano André Petter et al., 2013; Лукаткин и др., 2016; Мороховец и др., 2017; Islam F. et al., 2017; Зарипов и др., 2018; Синеговская, Душко, 2019;). Проявление гербицидного стресса сопровождается замедлением метаболических процессов, изменениями в обмене веществ и дополнительными затратами энергии на преодоление негативных факторов внешней среды в ущерб формированию урожая. Все стрессовые воздействия сопровождаются образованием активных форм кислорода (АФК) и нарушением физиолого-биохимических процессов. Для противодействия негативному влиянию растения используют собственные механизмы устойчивости. В детоксикации АФК важную роль играет фермент пероксидаза, который занимает особое место в повышении устойчивости растений к неблагоприятным факторам и является универсальным индикатором стрессового состояния растений (Андреева, 1988; Рогожин, 2004; Иваченко, 2012). Если антиоксидантная система растительной клетки не справляется с её защитой от действия стресса, то необходимо использовать биологически активные вещества (БАВ), способные экзогенно влиять на адаптивный потенциал растений, сохраняя высокий уровень семенной продуктивности. Они являются эффективными дополняющими приемами в интенсивных технологиях возделывания культуры. Наибольший интерес в этой области представляют экологически безопасные препараты природного происхождения, к которым относятся экстрактивные вещества лиственницы (*Larix gmelinii*) и коры березы (*Betula*). Препараты на основе лиственницы обладают широким спектром физиологической активности, являются высокоэффективными антидотами, повышают устойчивость растений к токсическому воздействию гербицидов. Бетулин обладает ярко выраженными антиоксидантными свойствами, что положительно влияет на первоначальный рост семян сои. Обработка семян сои биологически активными веществами позволяет повысить устойчивость проростков к неблагоприятным факторам среды на начальном этапе роста и развития растений, а также к воздействию антропогенных факторов в период возделывания культуры, что может обеспечить увеличение урожайности и повышение качества семян. В этой связи требуется проведение исследований, направленных на поиск новых биологических препаратов для сои, обеспечивающих экологическую безопасность и устойчивость растений к неблагоприятным условиям и повышающих их продуктивность.

Цель исследований. Определить устойчивость сортов сои к неблагоприятным условиям среды и антропогенным факторам на основе изучения пероксидазной активности, продуктивности растений, биохимического состава и посевных качеств семян.

Задачи исследований:

1. Изучить влияние биологически активных веществ на удельную активность фермента пероксидазы, как маркера устойчивости к неблагоприятным факторам, в проростках сои, обеспечивающих повышение всхожести и энергии прорастания семян.
2. Установить роль биопрепаратов, выделенных из лиственницы (БиоЛарикс, ЭкстраКор) и коры березы (Бетулин) в адаптации растений сои к воздействию неблагоприятных факторов среды и использования гербицидов для обработки семян и вегетирующих растений, с использованием пероксидазы в качестве маркера.

3. Разработать приемы использования биологически активных веществ, обеспечивающих снижение отрицательного воздействия неблагоприятных факторов среды и гербицидов на растения сои при их совместном внесении.

4. Выявить влияние десиканта Реглон Супер и гербицида Ураган Форте на пероксидазную активность, урожайность семян и его качество.

5. Провести производственную проверку использования биопрепарата ЭкстраКор для обработки семян и вегетирующих растений.

Научная новизна исследований. Впервые в условиях Амурской области изучено влияние биологически активных веществ из лиственницы (*Lárix gmélinii*) и коры березы (*Betula*) на пероксидазную активность в семенах и растениях новых сортов сои. Выявлена устойчивость растений к неблагоприятным факторам среды и гербицидам, действию десикантов на основе определения пероксидазной активности. Определена урожайность и качество семян сортов сои в зависимости от условий выращивания. Выявлена роль биологически активных веществ в повышении устойчивости растений сои к воздействию гербицидов при обработке семян и вегетирующих растений с использованием удельной активности фермента пероксидазы в качестве маркера.

Практическая значимость. На основании проведенных исследований разработаны приемы использования биологически активных веществ, позволяющие усовершенствовать элементы технологии возделывания среднеспелых сортов сои в условиях Амурской области, направленные на повышение адаптации сортов сои к отрицательному воздействию гербицидов и условий среды на растения сои, обеспечивающие увеличение урожайности на 0,6 т/га и повышение качества семян.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Фермент пероксидаза является маркером для определения адаптации сортов сои к воздействию неблагоприятных факторов среды и гербицидов;
2. Биологически активные вещества участвуют в защитном механизме сои от окислительного стресса, вызванного воздействием гербицидов;
3. Приемы использования биологически активных веществ обеспечивают снижение отрицательного воздействия неблагоприятных факторов среды, гербицидов и десикантов на растения сои при их совместном внесении.

Апробация работы и публикация результатов исследований. Материалы диссертации доложены на: II Амурском региональном инновационном конвенте (г. Благовещенск, 2014 г.); Международном конкурсе научных работ «Рациональное природопользование» (г. Владивосток, 2014 г.); на координационном совещании зоны ДВ и Сибири «Итоги координации НИР по сое за 2011-2014 гг.» (г. Благовещенск, 2015 г.); III Международной научно-практической конференции «Химия и химическое образование» (г. Благовещенск, 2015 г.); Международной научно-практической конференции, посвященной 105-летию со дня рождения селекционера, заслуженного агронома РФ, ветерана труда Т.П. Рязанцевой (г. Благовещенск, 2017 г.); Международной научно-практической конференции, посвященной 50-летию образования Всероссийского НИИ сои (г. Благовещенск, 2018 г.); IV Международной научно-практической конференции «Инновационные технологии в области генетики, селекции, семеноводства и размножения растений» (г. Ялта, 2018 г.); III Международная конференция "AGRITECH-III – 2020: Агробизнес, экологический инжиниринг и биотехнологии" (International Conference on Agribusiness, Environmental Engineering and Biotechnologies – AGRITECH – 2020), online-доклад (г. Красноярск, 2020 г.).

Публикации. По материалам диссертации опубликованы 24 научные работы, в том числе 1 статья – индексируемая в международной базе данных Web of Science и Scopus, 8 работ в рецензируемых научных журналах, входящих в список ВАК, 1 методическое пособие, 1 – в зарубежном издании, 13 статей в сборниках по материалам международных, всероссийских и межрегиональных конференций.

Личный вклад соискателя. Результаты исследований получены автором лично и совместно с сотрудниками лаборатории первичного семеноводства и семеноведения ФГБНУ ФНЦ «Всероссийский научно-исследовательский институт сои». Личное участие автора в проведении экспериментов составляет 90 %. Закладка полевых и лабораторных опытов, учеты и наблюдения, анализ и обобщение результатов исследований проведены автором лично. Полученные данные подвергнуты математическому анализу и теоретическому обоснованию. Доля личного участия в публикациях, выполненных в соавторстве, пропорциональна числу соавторов.

Структура и объем диссертации. Диссертация изложена на 146 страницах машинописного текста, содержит 26 таблиц, 14 рисунков. Диссертация состоит из введения, обзора литературы, 6 глав, содержащих изложение и обсуждение полученных экспериментальных данных, выводов, списка литературы, приложений.

Диссертационная работа выполнена на основе экспериментальных исследований в соответствии с планом НИР ФГБНУ ФНЦ «Всероссийского научно-исследовательского института сои» по теме № 0820-2014-0009 «Разработать агробиологические принципы улучшения посевных и урожайных свойств семян новых сортов сои», регистрационный № НИОКТР АААА-А16-116030210032-3; тема № 0820-2019-0006 «Разработать научно обоснованные технологии производства и переработки сои на основе изучения новых сортов, их посевных и технологических качеств, с использованием агробиологических принципов и инновационных приемов», № Госрегистрации АААА-А19-119060590056-6.

Полевые опыты проводили на опытном поле лаборатории первичного семеноводства и семеноведения ФГБНУ ФНЦ ВНИИ сои в с. Садовое Тамбовского района Амурской области.

Благодарности. Автор выражает искреннюю благодарность научному руководителю, д.с.-х.н., профессору, академику РАН, заслуженному деятелю науки РФ Синеговской В.Т. за руководство и помощь в выполнении исследований, подготовке и написании диссертационной работы; д.б.н. Иваченко Л.Е., к. с.-х. н. Каманиной Л.А. за помощь и консультации при проведении экспериментальной части работы; директору ФГБНУ ФНЦ ВНИИ сои к.э.н. Синеговскому М.О. за содействие и помощь при проведении экономической оценки приёмов возделывания сортов сои.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В главе 1 – «Повышение адаптивного потенциала растений в различных экологических условиях (обзор литературы)», представлен обзор литературных данных по влиянию стрессовых факторов на жизнедеятельность и продуктивность растений. Показана роль фермента пероксидазы в защитном механизме растений при воздействии экологически неблагоприятных факторов. Приведен обзор работ при использовании биологически активных веществ, применяемых в сельском хозяйстве, для снижения неблагоприятных факторов среды, гербицидного стресса и повышения адаптивного потенциала растений.

В главе 2 – «Объекты, условия и методы исследований» указывается, что экспериментальная работа проведена в ФГБНУ ФНЦ ВНИИ сои в лаборатории первичного семеноводства и семеноведения в течение 2016-2019 гг. Лабораторные исследования направлены на изучение влияния гербицидов Раундап и Фронтьер, десиканта Реглон Супер и гербицида Ураган Форте, препаратов природного происхождения, предоставленные компанией АО «Аметис» (БиоЛарикс, Эколарикс, ЭкстраКор и Бетулин), а также совместного влияния гербицидов и биопрепаратов на морфофизиологические показатели проростков, посевные качества, биохимический состав и удельную активность пероксидазы сои среднеспелых сортов МК 100, Китросса и Нега 1.

Удельную активность пероксидазы определяли по методу А.Н. Бояркина в модификации А.Т. Мокроносова и выражали в единицах активности на 1 мг белка, содержание белка – методом Лоури. Энергию прорастания и лабораторную всхожесть – согласно

ГОСТ 12038–84. Показатели биохимического состава соевого зерна (общее содержание белка, жира, минеральных веществ (К, Mg, Ca, P), аминокислотный и жирнокислотный состав) в семенах сои определяли на ИК–анализаторе «Foss Nirsystem 5000» (Дания) (ГОСТ 32749-2014).

Исследования по применению природных препаратов (БиоЛарикс, ЭкстраКор и Бетулин) проводили на луговых черноземовидных почвах с. Садовое Тамбовского района Амурской области в 2016-2019 гг. в соответствии с методикой Б.А. Доспехова (Доспехов, 1985). В формировании устойчивости растений сои к воздействию гербицида Пульсар, а также влияния десиканта Реглон Супер и гербицида Ураган Форте на посевные качества и урожайные свойства изучали на сортах сои МК 100, Китросса и Нега 1.

Вегетационный период 2016 г. характеризовался неустойчивым температурным режимом, частыми дождями, высокой относительной влажностью воздуха. Климатические условия 2017 года отличались неустойчивыми температурами и недостатком влаги в отдельные фазы развития растений сои. Перепад температуры воздуха наблюдался в течение всего вегетационного периода 2018 г. По влагообеспеченности данный вегетационный период не соответствовал норме, требуемой для культуры сои, выпадение осадков было неравномерным, что приводило как к недостатку, так и избытку влаги. Агрометеорологические условия вегетационного периода 2019 г. были благоприятными для возделывания сои, как по температурному режиму, так и по влажности почвы. В полевых опытах сою возделывали после зерновых культур. Схемы опытов включали варианты, обеспечивающие решение поставленных задач, и в своей основе имели:

Опыт № 1 (2016-2018 гг.) – изучение влияния предпосевной обработки семян препаратами природного происхождения (БиоЛарикс и ЭкстраКор) на рост, развитие и продуктивность сои сорта МК 100. Семена обрабатывали природными препаратами в день посева из расчета: 20 г/т семян, расход рабочего раствора – 10 л/т. Общая площадь делянки 11,25 м², учетной – 2,25 м².

Для оценки и анализа посевов сои сорта МК 100 применяли беспилотный летательный аппарат (БПЛА) марки «DJI Matrice 100» и многоспектральную камеру «Micasense Red Edge», которая обеспечила съёмку изображений в 5-ти спектрах. На основе многоспектральных снимков рассчитан слой с индексом NDVI и составлена карта для визуализации состояния физиологических процессов растений сои по шкале данного индекса. Для расчета NDVI и NDRE было использовано программное обеспечение QGIS (бесплатная версия). NDVI определяли как отношение разницы между NIR и красным спектром к сумме двух полос (Уравнение 1); NDRE – как соотношение, что и для NDVI, но вместо красной полосы используется REDGE (Уравнение 2).

$$NDVI = \frac{NIR-RED}{NIR+RED} \quad (1)$$

$$NDRE = \frac{NIR-REDGE}{NIR+REDGE} \quad (2)$$

Спектральный диапазон REDGE, предоставленный компанией MicaSense в своей камере RedEdge, был использован в наших исследованиях для определения соотношения хлорофилла в листьях, индекс NDRE. Длина волны REDGE 717 нм обеспечивает чувствительный показатель содержания хлорофилла в плотности листьев и фоновых эффектов почвы. В данном опыте был использован индекс NDRE для подтверждения данных индекса NDVI.

Опыт № 2 (2017-2019 гг.) – изучение адаптации растений сои сорта Китросса за счёт использования биопрепаратов ЭкстраКор и Бетулин для предпосевной обработки семян и по вегетирующим растениям. Дозировка препаратов для предпосевной обработки семян аналогична первого полевого опыта. Опрыскивание вегетирующих растений биопрепаратами проводили из расчета 8 г/га, гербицидом Пульсар – 0,8 л/га в фазу третьего тройчатого листа.

Опыт № 3 – изучение Реглона Супер и гербицида Ураган Форте в качестве десикантов при использовании в посевах среднеспелого сорта сои Нега 1 по их влиянию на

урожаи и качество семян. Обработку посевов сои сорта Нега 1 Реглоном Супер и Ураганом Форте проводили двукратно: в фазу полного налива бобов и в фазу начала созревания семян в дозе 1,5 л/га. Контролем служили посеы без внесения препаратов. В ходе вегетации во всех опытах проводили фенологические наблюдения за ростом и развитием растений сои, а также подсчет густоты стояния растений два раза за вегетацию: по всходам и перед уборкой урожая. Уборку производили вручную, обмолот снопов на стационарной молотилке с приведением к стандартной влажности (14 %) и 100 %-ной чистоте. Для выполнения биометрического анализа перед уборкой отбирали с каждой делянки по 25 растений. Ярусы растений сои определяли путем разбивки главного стебля на 3 яруса: нижний, средний, верхний (подсчетом средних по числу и массе семян с каждого узла).

В главе 3 – «Влияние биологически активных веществ на снижение экологической безопасности гербицидов на основе оценки пероксидазной активности» представлены результаты лабораторных исследований по изучению удельной активности пероксидазы в качестве маркера, определяющего влияние биологических препаратов (БиоЛарикс, Эколарикс, ЭкстраКор и Бетулин) на воздействие гербицидов Фронтьер и Раундап при их отдельном и совместном применении для обработки семян среднеспелого сорта сои МК 100.

Выявлено негативное воздействие гербицида Фронтьер на прорастание семян сои сорта МК 100. При увеличении концентрации гербицида отмечено снижение длины проростков и их вегетативной массы. Длина проростков уменьшилась в 2 раза с концентрацией 3×10^{-4} М, в 3 раза – при 3×10^{-3} М и в 4 раза с высокой концентрацией – 3×10^{-2} М. Полный рост семян прекращается при концентрации препарата в дозе 6×10^{-2} М (рис. 1).

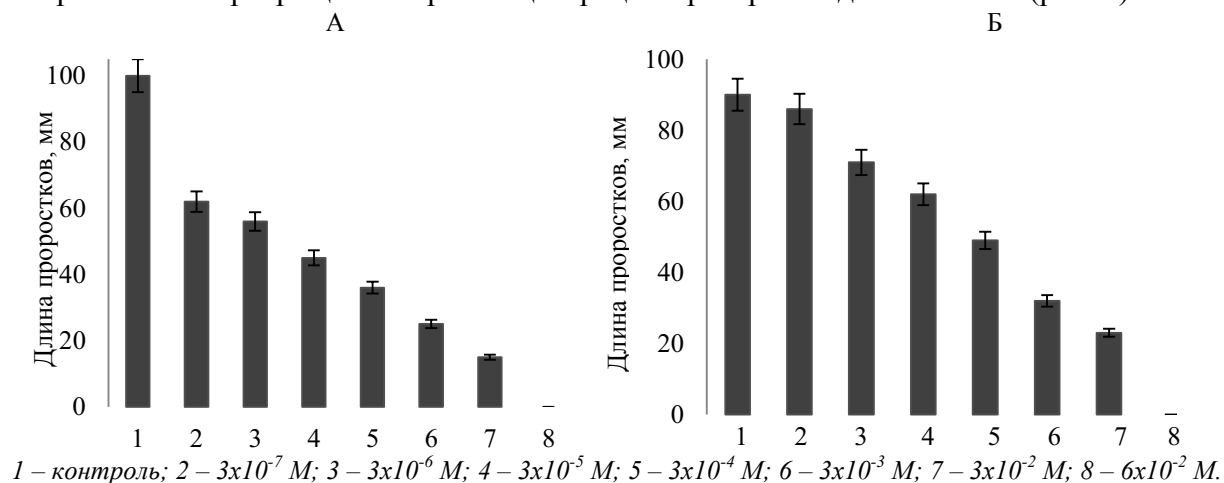


Рис. 1. Биометрические показатели проростков сои при воздействии гербицидов Раундап (А) и Фронтьер (Б)

Наибольшее негативное воздействие на проростки сои оказал гербицид Раундап. Даже при низких концентрациях гербицида: 2 – 3×10^{-7} М; 3 – 3×10^{-6} М; 4 – 3×10^{-5} М, длина проростков сои снизилась на 40 %, а длина корня – на 60 %. Выявлена отрицательная корреляционная зависимость между длиной проростка и концентрацией гербицида: коэффициент корреляции составил -0,85 (d_{yx} 0,72), что указывает на высокую токсичность данного препарата. Рост и развитие проростков на 72% зависели от концентрации гербицида Раундап, подавляющего развитие проростков при повышении его концентрации.

Под влиянием гербицида Раундап в низких концентрациях происходило увеличение удельной активности фермента в 1,5-2 раза. Более высокие концентрации гербицида привели к снижению содержания изучаемого фермента относительно контроля в 4 раза. При воздействии гербицида Фронтьер удельная активность изучаемого фермента увеличилась на 7-40% относительно контроля, что подтверждает более высокую устойчивость растений сои к его воздействию по сравнению с Раундапом (рис. 2).

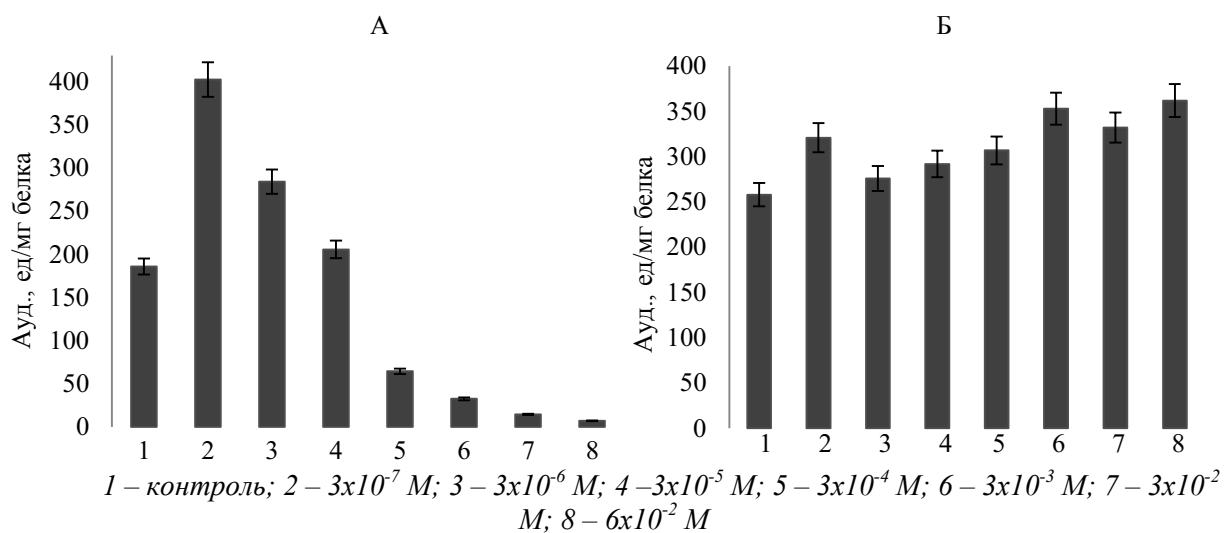


Рис. 2. Удельная активность пероксидазы проростков сои под влиянием гербицидов Раундап (А) и Фронтьер (Б)

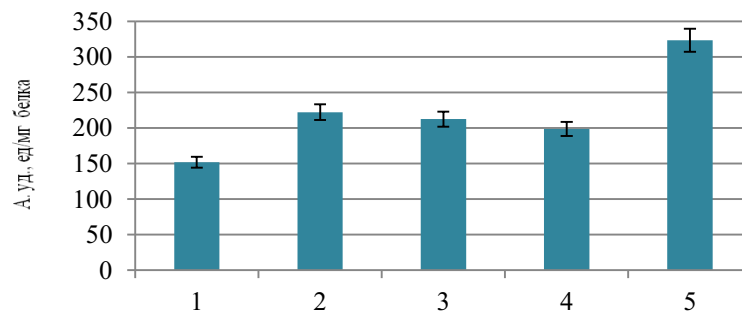
Выявлена прямая сильная корреляционная зависимость между дозировкой гербицида Фронтьер и активностью пероксидазы (табл. 1).

Таблица 1 – Анализ корреляционной зависимости между концентрацией гербицида и активностью пероксидазы

Фактор	Показатель			
	N	R	d_{yx}	Уравнение регрессии
концентрация гербицида Фронтьер	7	0,70	0,49	$y = 10,25x + 279,86$
концентрация гербицида Раундап	7	-0,58	0,33	$y = -67,789x + 415,46$

Коэффициент корреляции составил 0,70, что на 49% подтверждает высокую устойчивость проростков к окислительным процессам за счет повышения пероксидазной активности. Между активностью пероксидазы и концентрацией гербицида Раундап установлена обратная средняя отрицательная связь ($R = -0,58$, $d_{yx} 0,33$), подтверждающая на 33% снижение удельной активности пероксидазы при повышении концентрации Раундапа, а в 67% случаев удельная активность повышалась под влиянием возрастающей концентрации Раундапа, что обеспечило адаптацию растений к этому гербициду за счет возрастающей активности фермента. Установлено, что удельная активность пероксидазы может служить маркером устойчивости проростков сои к воздействию гербицидов как к неблагоприятному фактору внешней среды. Исследуемые гербициды оказали негативное воздействие на проростки сои. Больше негативное воздействие гербицида Раундап, по сравнению с Фронтьером, подтверждается даже при его низких концентрациях высокой активностью фермента, что привело к резкому снижению (на 40 %) биометрических характеристик. Следовательно, повышение активности изучаемого фермента связано с его защитной функцией путем высвобождения клетки от чужеродного вещества.

Добавление природных препаратов БиоЛарикс, ЭкоЛарикс, ЭкстраКор и Бетулин в среду для проращивания семян сои сорта МК 100 привело к повышению удельной активности пероксидазы, что указывает на их антиоксидантные свойства, обеспечивающие стимуляцию биохимических процессов (рис. 3).



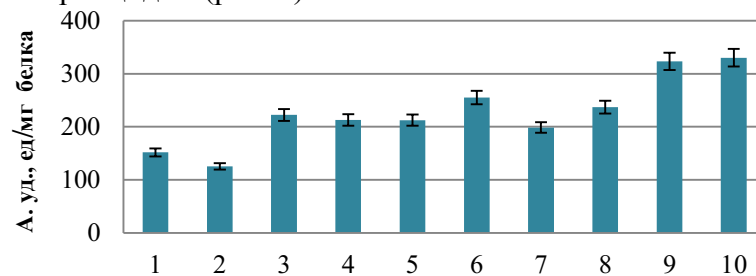
1 – контроль; 2 – БиоЛарикс; 3 – ЭкоЛарикс; 4 – ЭкстраКор; 5 – Бетулин

Рис. 3. Удельная активность пероксидазы проростков сои, полученных в условиях темнового проращивания с добавлением биологически активных веществ.

Удельная активность фермента возрастала под воздействием препаратов БиоЛарикс, ЭкоЛарикс и ЭкстраКор на 46,5; 40 и 30,8 % соответственно по сравнению с контролем. Наиболее высокая удельная активность пероксидазы (323,6 ед/мг белка) выявлена при обработке семян препаратом Бетулин, превышающая контрольный вариант в 2 раза.

Наибольший стимулирующий эффект на проростки сои сорта МК 100 оказал ЭкстраКор: длина проростков, а также длина корня были больше относительно контроля на 1,4 и 1,2 см соответственно. Таким образом, применение препаратов природного происхождения ускорило рост и развитие проростков сои, что особенно важно на начальной стадии онтогенеза, когда на проростки влияют самые различные факторы среды – пониженная и повышенная температура, переувлажнение почвы, гербицидная обработка и т.д.

При совместном применении гербицида и биологически активных препаратов активность пероксидазы повышалась по сравнению с контролем и вариантом, где семена обрабатывали только гербицидом (рис. 4).



1 – контроль; 2 – Фронтьер (0,001 %); 3 – БиоЛарикс; 4 – БиоЛарикс + Фронтьер (0,001 %); 5 – ЭкоЛарикс; 6 – ЭкоЛарикс + Фронтьер (0,001 %); 7 – ЭкстраКор; 8 – ЭкстраКор + Фронтьер (0,001 %); 9 – Бетулин; 10 – Бетулин + Фронтьер (0,001 %)

Рис. 4. Удельная активность пероксидазы проростков сои сорта МК 100

Так, при проращивании семян с добавлением препаратов БиоЛарикс, ЭкоЛарикс, ЭкстраКор и Бетулин из расчета 20 г/т без добавления гербицида удельная активность пероксидазы была выше относительно варианта с применением гербицида в 1,8; 1,7; 1,6; 2,6 раза соответственно. Использование биологически активных препаратов совместно с гербицидом в вариантах: БиоЛарикс + Фронтьер; ЭкоЛарикс + Фронтьер; ЭкстраКор + Фронтьер и Бетулин + Фронтьер также способствовало увеличению удельной активности изучаемого фермента в 1,7; 2; 1,9; 2,6 раза по сравнению с вариантом, где проращивание проводили только при внесении гербицида. Гербицид Фронтьер в концентрации 0,001 % вызывал снижение относительно контроля удельной активности пероксидазы в проростках сои на 17,3 %. Следовательно, биопрепараты обеспечивали устойчивость проростков к отрицательному воздействию гербицидов путем повышения активности пероксидазы. Это привело к увеличению длины проростков под влиянием Биоларикса на 8,4 см, а при использовании Бетулина на 8,2 см (НСР₀₅=4,8 см) относительно варианта с использованием только гербицида Фронтьер. Отрицательное действие Фронтьера подтверждено и данны-

ми биометрических показателей проростков сои: длина проростков снизилась на 8,0 см ($НСР_{05}=4,8$ см), корня – на 4,4 см ($НСР_{05}=3,4$ см) по сравнению с контролем.

Таким образом, применение биологически активных веществ и гербицида вызывают изменение в метаболизме проростков, подтверждаемое различиями по активности фермента пероксидазы и существенными изменениями ростовых процессов в зависимости от изучаемого фактора, что может служить биоиндикатором устойчивости растений к гербицидному воздействию.

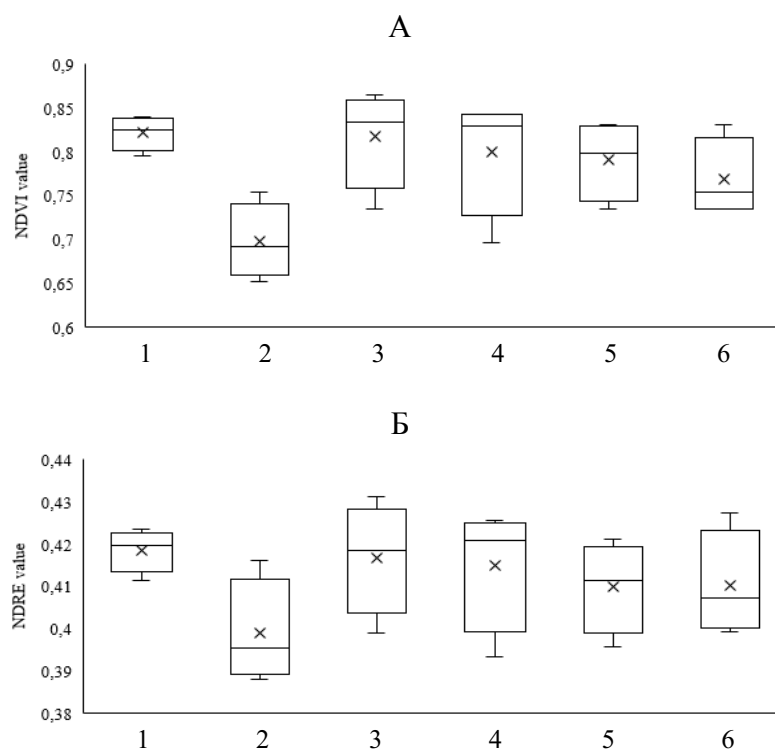
В главе 4 – «Адаптация растений сои к воздействию гербицидов за счет применения биологически активных веществ в зависимости от условий выращивания» приведены результаты исследований использования биологических препаратов БиоЛарикс, ЭкстраКор и Бетулин для повышения устойчивости растений сои среднеспелых сортов МК 100 и Китросса к воздействию гербицида Пульсар.

Обследование посевов сои сорта МК 100 с помощью беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) марки «DJI Matrice 100» и многоспектральной камеры «Micasense Red Edge» проводили в 2018 г. в течение вегетационного периода. Произведен расчет индекса NDVI по среднему значению, а также для проверки рассчитан индекс NDRE. После предварительной обработки изображений были получены карты с усредненными значениями индекса отдельно для каждого блока-делянки (рис. 5).



Рис. 5. Карта с расчетным индексом NDVI

На основе полученной карты проанализированы данные в QGIS программе, а затем проведен их сравнительный анализ. По данным отражений разной длины волны были рассчитаны числовые значения индексов, по которым проведена оценка развития растений сои. Наименьшее их значение отмечено в варианте с применением гербицида Пульсар. Максимальный показатель по NDVI, при применении гербицида составил 0,75, тогда как в вариантах с обработкой семян биопрепаратами БиоЛарикс и ЭкстраКор максимальный показатель доходил до 0,86, что является существенной разницей. NDRE так же указал на угнетенность растительности на делянках с применением гербицида Пульсар, значения варьировались от 0,39 до 0,41. По NDVI коэффициент детерминации R^2 составил 0,6, для NDRE – 0,3. Для лучшей корреляции значение R^2 должно составлять более 0,5, в случае с высокой детерминацией можно составить модель предсказания урожайности по NDVI (рис. 6).

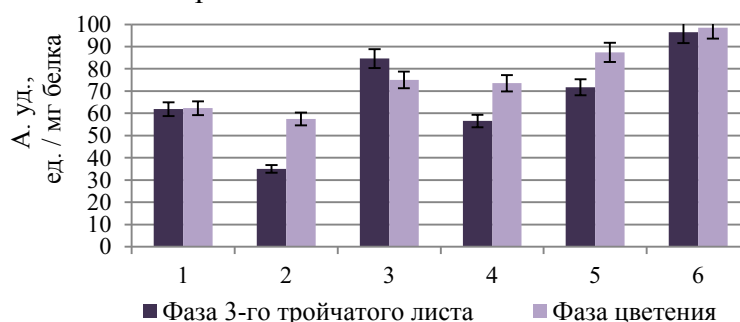


1 – контроль; 2 – Пульсар (0,8 л/га); 3 – БиоЛарикс (20г/м); 4 – БиоЛарикс (20г/м) + Пульсар (0,8 л/га); 5 – ЭкстраКор (20 г/м); 6 – ЭкстраКор (20 г/м) + Пульсар (0,8 л/га)

Рис. 6. Числовые значения индексов: А – NDVI, Б – NDRE

Таким образом, полученные данные подтверждают угнетение физиологических процессов растений сои при гербицидной нагрузке.

Установлены некоторые изменения в удельной активности фермента пероксидазы в листьях растений сои сорта МК 100 при совместном применении предпосевной обработки семян биологически активными веществами (БиоЛарикс и ЭкстраКор) и гербицида Пульсар по вегетирующим растениям (рис. 7). Недостаток влаги в фазу цветения в вегетационном периоде 2016 г. привел к повышению активности фермента в контроле – на 24% относительно фазы 3-го тройчатого листа. Переувлажнение почвы в 2017-2018 гг. способствовало замедлению активности фермента. Наиболее неблагоприятным для роста и развития сои был вегетационный период 2018 года.



1 – контроль; 2 – Пульсар (0,8 л/га); 3 – БиоЛарикс (20г/м); 4 – БиоЛарикс (20г/м)+ Пульсар (0,8 л/га); 5 – ЭкстраКор(20 г/м); 6 – ЭкстраКор (20 г/м) + Пульсар(0,8 л/га)

Рис. 7. Удельная активность пероксидазы в листьях сои сорта МК 100 при совместном применении БАВ и гербицида Пульсар, среднее за 2016-2018 гг.

Использование природных препаратов в посевах сои способствовало повышению удельной активности фермента независимо от фазы роста и развития растений сои. Ис-

пользование препарата БиоЛарикс привело к активации обменных процессов, протекающих в клетках растений, на что указывает повышение уровня удельной активности пероксидазы. В среднем за 3 года исследований активность фермента в фазу третьего тройчатого листа увеличилась в 2,4 раза, в фазу цветения – в 1,3 раза относительно применения гербицида. Следовательно, в ранние фазы роста и развития растения подвержены большому отрицательному воздействию химических препаратов. Высокие показатели удельной активности фермента, превышающие контроль в 1,5 раза (в 2016 г.) и 1,6 раз (в 2017 г.) были отмечены в вариантах с применением препарата БиоЛарикс в фазу третьего тройчатого листа. В фазу цветения повышение активности фермента было только в 2016 г. (94,2 ед./мг белка, в контроле – 83,2 ед./мг белка).

В среднем за годы исследований совместное применение препарата БиоЛарикс и гербицида Пульсар способствовало повышению удельной активности пероксидазы относительно применения только гербицида на 61,7 % в фазу третьего тройчатого листа и на 28 % – в фазу цветения. Совместное применение природного препарата ЭкстраКор и гербицида Пульсар привело к повышению активности фермента: в фазу третьего тройчатого листа активность фермента увеличилась относительно применения гербицида в 2,7 раза, в фазу цветения – в 1,7 раз, что обеспечило устойчивость растений к гербицидам и способствовало снижению экологической нагрузки на формирующийся урожай семян сои.

Таким образом, применение гербицида Пульсар в дозе 0,8 л/га по вегетирующим растениям, а также влияние сложившихся погодных условий в годы исследований, оказали негативное воздействие на растения сои, что подтверждается снижением удельной активности изучаемого фермента. Уменьшению неблагоприятных воздействий гербицида способствовало применение биологически активных препаратов БиоЛарикс и ЭкстраКор, которые привели к мобилизации защитных механизмов растений, противостоящие отрицательному воздействию на растения сои, что способствовало их адаптации на клеточном уровне.

Анализ структуры урожая показал, что в среднем за 3 года исследований наилучшие результаты были получены при использовании препарата ЭкстраКор для предпосевной обработки семян, где количество бобов увеличилось на 2,5...3,3 шт., семян на 7,7...9,2 шт. на растении, масса семян с 1 растения – на 1,3...1,44 г. по сравнению с контролем (табл. 2). Таким образом, биопрепарат ЭкстраКор, снижая отрицательное влияние гербицида Пульсар, обеспечил увеличение продуктивности растений.

Таблица 2 – Влияние гербицида и БАВ на биометрические показатели растений сои сорта МК 100, среднее за 2016-2018 гг.

Вариант	Высота, см	Количество, шт / 1 раст.		Масса семян с 1 растения, г
		бобов	зерен	
Контроль	75,5	27,2	49,8	8,05
Пульсар (0,8 л/га)	69,2	30,7	57,5	9,07
БиоЛарикс (20 г/т)	74,2	27,2	53,0	8,64
БиоЛарикс (20 г/т) + Пульсар (0,8 л/га)	70,4	28,4	54,9	8,76
ЭкстраКор (20 г/т)	74,6	30,5	59,0	9,49
ЭкстраКор (20 г/т) + Пульсар (0,8 л/га)	73,6	29,7	57,5	9,31
НСР ₀₅	3,9	2,4	5,3	1,17

В среднем за 3 года исследований использование БиоЛарикса и ЭкстраКора оказало положительное влияние на урожайность среднеспелого сорта сои МК 100, которая повысилась на 0,16 т/га в варианте с предпосевной обработкой семян БиоЛариксом и на 0,34 т/га – при использовании препарата ЭкстраКор по сравнению с контролем (табл. 3). Совместное применение препарата БиоЛарикс для обработки семян и гербицида Пульсар по вегетирующим растениям обеспечило прибавку урожайности 0,19 т/га, а использование совместно с ЭкстраКором – на 0,34 т/га по сравнению с контролем.

Таблица 3 – Биологическая урожайность сои сорта МК 100 в зависимости от применения гербицида и БАВ, среднее за 2016-2018 гг.

Вариант	Биологическая урожайность, т/га	
	среднее	прибавка
Контроль	2,44	-
Пульсар (0,8л/га)	2,52	0,08
БиоЛарикс (20 г/т)	2,60	0,16
БиоЛарикс (20 г/т) + Пульсар (0,8 л/га)	2,63	0,19
ЭкстраКор (20 г/т)	2,78	0,34
ЭкстраКор (20 г/т) + Пульсар (0,8 л/га)	2,74	0,30
НСР ₀₅	0,17	

Обработка семян биологическими препаратами привела к снижению стрессового воздействия гербицида Пульсар на растения сои, что способствовало повышению качества семян. Содержание общего белка в семенах сои сорта МК 100 повысилось на 0,13...0,62 % по сравнению с контролем и на 1,82...2,31 % – относительно применения гербицида. Наибольший показатель – 39,25 % (в контроле 38,63 %) был отмечен в варианте с предпосевной обработкой семян препаратом ЭкстраКор и обработке вегетирующих растений гербицидом Пульсар, что является показателем снижения стрессового воздействия гербицида на растения сои. Воздействие гербицида Пульсар, снизило содержание общего белка в полученных семенах на 1,7 % по сравнению с контролем.

В зависимости от применения исследуемых природных веществ и гербицида Пульсар изменялось содержание калия: если в варианте с препаратами БиоЛарикс и ЭкстраКор содержание калия увеличилось на 0,35 и 0,21 %, то воздействие гербицида Пульсар привело к снижению данного макроэлемента на 0,18 и 0,37 % соответственно. Повышение содержания фосфора в семенах, полученных после применения биологически активных веществ, было незначительным – 0,02...0,06 % по сравнению с контролем (рис. 8).

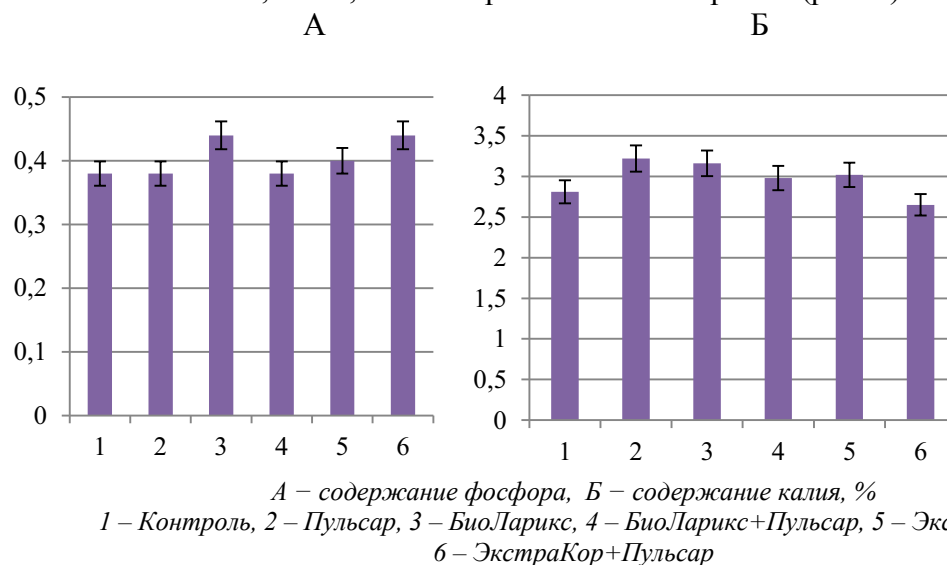


Рис. 8. Содержание макроэлементов в семенах сорта сои МК 100 при использовании биологически активных веществ, среднее за 2017-2018 гг.

Исследовано последствие обработки растений сои БАВ и гербицидом Пульсар на посевные качества полученного урожая. Энергия прорастания от препаратов БиоЛарикс и ЭкстраКор увеличилась на 3...5 % по сравнению с контролем. Максимальную лабораторную всхожесть (96%) имели семена, полученные в посевах с использованием препарата БиоЛарикс для предпосевной обработки семян. Определение силы роста семян показало, что количество ненормально развитых проростков при совместной обработке семян гербицидом и биопрепаратами снизилось на 1...4 % по сравнению с контрольным вариантом.

Наибольшие показатели длины проростков были отмечены после применения биопрепарата ЭкстраКор – на 2,5 см больше контрольных (НСР₀₅ = 1,05 см). Таким образом,

биопрепараты оказывают положительное влияние на устойчивость растений к перенесению отрицательного воздействия гербицидов даже в следующем поколении растений.

В условиях повышенного температурного режима 2017 г., превышающего на 3,6°C среднее многолетнее значение в фазу третьего тройчатого листа и на 5,2°C среднее многолетнее значение в фазу начала цветения, обработка семян и вегетирующих растений сои сорта Китросса препаратами Бетулин и ЭкстраКор способствовали увеличению активности фермента пероксидазы в листьях. Максимальная удельная активность изучаемого фермента – 102,9 ед./мг белка, зафиксирована в варианте с использованием Бетулина для предпосевной обработки семян и вегетирующих растений. В контроле она составила 40,8 ед./мг белка.

Увеличение активности изучаемого фермента на 47,6 % по сравнению с контролем было отмечено в фазу цветения в варианте с предпосевной обработкой семян и вегетирующих растений Бетулином при совместном внесении гербицида Пульсар в дозе 0,8 л/га. Использование препарата ЭкстраКор для обработки семян в дозе 20 г/т и вегетирующих растений в дозе 8 г/га при совместном применении гербицида Пульсар (0,8 л/га) привело к увеличению удельной активности пероксидазы на 35 % по сравнению с контролем. По-видимому, применение биологически активных веществ Бетулина и ЭкстраКора способствовали снижению отрицательного воздействия гербицида Пульсар на растения сои.

Обработка семян и вегетирующих растений сои сорта Китросса препаратами Бетулин и ЭкстраКор в зависимости от варианта обработки в условиях переувлажнения почвы в течение вегетационного периода 2018 г., привели к увеличению удельной активности пероксидазы в листьях растений, что указывает на стимуляцию биохимических процессов. Наибольшие показатели удельной активности фермента в фазу 3-го тройчатого листа 120 ед/мг белка, при 45,2 ед/мг белка в контроле, отмечены в варианте с обработкой семян и вегетирующих растений ЭкстраКором с совместным внесением гербицида Пульсар. Доказана тесная корреляционная зависимость ($R= 0,82$, $d_{yx} 0,67$) между количеством осадков и удельной активностью пероксидазы в фазу 3-го тройчатого листа у сои сорта Китросса в варианте с предпосевной обработкой семян Бетулином без использования гербицида Пульсар (табл. 4). Устойчивость растений сои к стрессовому фактору – переувлажнению почвы, выработалась за счет повышения активности пероксидазы. Установлена тесная положительная корреляционная зависимость ($R= 0,71$, $d_{yx} 0,50$) между количеством осадков и удельной активностью пероксидазы в варианте с обработкой семян препаратом ЭкстраКор без использования гербицидов.

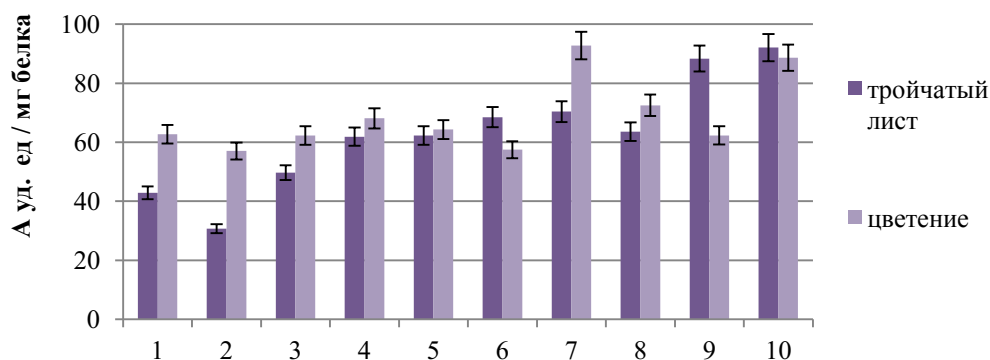
Таблица 4 – Анализ корреляционной зависимости между осадками и удельной активностью пероксидазы в фазу 3-го тройчатого листа, сорт сои Китросса, 2018 г.

Вариант	Показатель			
	N	R	d_{yx}	Уравнение регрессии
1. Бетулин (обработка семян)	6	0,82	0,67	$y = 5,3x + 52,133$
2. ЭкстраКор (обработка семян)	6	0,71	0,50	$y = 0,2x + 52,9$

В фазу цветения максимальная удельная активность пероксидазы была получена в аналогичном варианте опыта и составила 103,7 ед/мг белка, превысив контрольный вариант на 44,6 ед/мг белка.

В условиях 2019 г, когда растения были обеспечены влагой в достаточном количестве с фазы 3-го тройчатого листа до фазы образования бобов, предпосевная обработка семян сои сорта Китросса и вегетирующих посевов препаратами Бетулин и ЭкстраКор способствовала повышению относительно контроля показателей удельной активности пероксидазы на 38,9 и 40,4 ед./мг белка в фазу 3-го тройчатого листа. В фазу цветения наибольший показатель (83,8 ед./мг белка) был получен в варианте с обработкой семян и вегетирующих растений Бетулином на фоне применения гербицида, а также в варианте, где применялась только предпосевная обработка семян ЭкстраКором – 75,9 ед./мг белка.

В среднем за 3 года выявлено снижению относительно контроля удельной активности пероксидазы на 12,2 ед./мг белка под воздействием гербицида Пульсар в фазу 3-го тройчатого листа сои, что свидетельствует о наличии окислительного стресса. Обработка семян сорта сои Китросса и вегетирующих растений Бетулином и ЭкстраКором способствовала повышению удельной активности фермента пероксидазы в листьях. Максимальная удельная активность изучаемого фермента выявлена в фазу 3-го тройчатого листа в посевах с использованием ЭкстраКора для обработки семян и по вегетирующим растениям совместно с гербицидом Пульсар. Превышение относительно контроля составило 49,2 ед./мг белка, что подтверждает роль фермента в повышении адаптационной способности растений в условиях стресса. Отмечено, что в фазу цветения по сравнению с фазой 3-го тройчатого листа в контрольном варианте удельная активность изучаемого фермента была выше на 46%. Наибольшие показатели получены в вариантах с обработкой семян и вегетирующих растений Бетулином и ЭкстраКором на фоне применения гербицида: превышение относительно контроля составило 48 и 41% соответственно (рис. 9).



1 – контроль; 2 – Пульсар; 3 – Пульсар + Бетулин по вегетирующим растениям; 4 – Пульсар + ЭкстраКор по вегетирующим; 5 – Бетулин (семена); 6 – Бетулин+Пульсар; 7 – Бетулин (семена) + Пульсар + Бетулин по вегетирующим растениям; 8 – ЭкстраКор (семена); 9 – ЭкстраКор (семена) + Пульсар; 10 – ЭкстраКор (семена) + Пульсар + ЭкстраКор по вегетирующим растениям.

Рис. 9 – Влияние гербицида и БАВ на активность пероксидазы в листьях сои сорта Китросса, среднее за 2017-2019 гг.

Таким образом, установлено, что гербицидная обработка сои сорта Китросса приводит к снижению удельной активности фермента в фазу 3-го тройчатого листа, а обработка семян и вегетирующих растений природными препаратами способствуют ее увеличению, что свидетельствует об активизации биохимических процессов, обеспечивающих устойчивость растений к стрессам.

Биологическая урожайность семян сои сорта Китросса в среднем за 3 года варьировала от 2,84 до 3,08 т/га в зависимости от варианта опыта (табл. 5). В 2017 г. при благоприятном температурном режиме и обеспеченности влагой урожайность семян была самой высокой (3,56 т/га) при использовании Бетулина для обработки семян. Наименьшая урожайность (2,14 т/га) получена в условиях переувлажнения почвы 2018 г. в варианте с применением ЭкстраКора для обработки семян и использованием гербицида Пульсар. Наибольшая урожайность (2,87 т/га) в этом году получена при использовании ЭкстраКора для обработки семян и по вегетирующим растениям совместно с гербицидом Пульсар. В условиях благоприятной влажности почвы от фазы 3-го тройчатого листа к фазе образования бобов 2019 г. в вариантах с использованием ЭкстраКора урожайность варьировала от 2,87 до 3,21 т/га и была самой высокой.

Таблица 5 – Биологическая урожайность сои сорта Китросса в зависимости от применения гербицида и БАВ

Обработка семян перед посевом	Обработка вегетирующих растений	Биологическая урожайность, т/га				
		2017 г.	2018 г.	2019 г.	среднее за 3 года	прибавка
Контроль – без обработки		3,30	2,62	2,83	2,92	-
Вода	Пульсар (0,8 л/га)	3,10	2,40	2,36	2,62	-0,3
Вода	ЭкстраКор (8 г/га) + Пульсар (0,8 л/га)	3,17	2,14	2,87	2,73	-0,19
Вода	Бетулин (8 г/га) + Пульсар (0,8 л/га)	3,46	2,24	2,84	2,85	-0,07
Бетулин (20 г/т)	Вода	3,56	2,60	3,01	3,06	0,14
Бетулин (20 г/т)	Пульсар (0,8 л/га)	3,40	2,42	2,71	2,84	-0,08
Бетулин (20 г/т)	Бетулин (8 г/га) + Пульсар (0,8 л/га)	3,52	2,32	2,72	2,85	-0,07
ЭкстраКор (20 г/т)	Вода	3,49	2,55	3,21	3,08	0,16
ЭкстраКор (20 г/т)	Пульсар (0,8 л/га)	3,19	2,48	2,87	2,85	-0,07
ЭкстраКор (20 г/т)	ЭкстраКор (8 г/га) + Пульсар (0,8 л/га)	3,15	2,87	2,93	2,98	0,06
НСР ₀₅ , т/га		0,17	0,2	0,36	0,30	

Обработка семян и вегетирующих растений сои сорта Китросса препаратом ЭкстраКор в среднем за годы исследований способствовала увеличению на 8...11% энергии прорастания полученных семян относительно применения гербицида Пульсар. Снижение энергии прорастания на 5% по сравнению с контролем отмечено в варианте с применением изучаемого гербицида (табл. 6).

Таблица 6 – Последствие обработки растений БАВ и гербицида Пульсар на посевные качества семян сои сорта Китросса, среднее за 2017-2019 гг.

Обработка		Энергия прорастания, %	Лабораторная всхожесть, %
семян	вегетирующие растения		
Контроль – без обработки		89	93
Вода	Пульсар (0,8 л/га)	84	94
	ЭкстраКор (8 г/га) + Пульсар (0,8 л/га)	94	97
	Бетулин (8 г/га) + Пульсар (0,8 л/га)	93	96
Бетулин (20 г/т)	Вода	93	95
	Пульсар (0,8 л/га)	93	96
	Бетулин (8 г/га) + Пульсар (0,8 л/га)	90	95
ЭкстраКор (20 г/т)	Вода	95	98
	Пульсар (0,8 л/га)	92	95
	ЭкстраКор (8 г/га) + Пульсар (0,8 л/га)	93	97
НСР ₀₅ , %		5	3

Обработка семян и вегетирующих растений сои препаратом Бетулин в среднем за годы исследований привела к увеличению энергии прорастания на 6...9% относительно применения гербицида. Наибольший показатель лабораторной всхожести (98 %) получен при предпосевной обработке семян природным препаратом ЭкстраКор без использования гербицида, что выше контрольного варианта на 5 %. Таким образом, под влиянием стимулирующего действия биопрепарата происходит более ранний выход семян из состояния покоя, что, возможно, даст им преимущество по всходам в следующем году.

Предпосевная обработка семян и вегетирующих растений сои биопрепаратами Бетулин и ЭкстраКор способствовала повышению качества семян. Наибольшее содержание белка в семенах, превышающее контроль на 0,78%, отмечено в варианте при совместном применении гербицида и ЭкстраКора для обработки семян и по вегетирующим растениям,

что на 1,38% выше относительно применения гербицида. В варианте с использованием Бетулина для обработки семян и по вегетирующим растениям совместно с гербицидом Пульсар содержание общего белка повысилось на 0,29% по сравнению с контролем и на 0,89% – относительно применения только гербицида. Обработка посевов сои сорта Китросса гербицидом Пульсар в фазу третьего тройчатого листа привела к снижению содержания общего белка в полученных семенах на 0,6% относительно контроля.

В главе 5 – «Последствие десикантов на ферментативную активность, посевные качества и урожайные свойства семян сои сорта Нега 1» приведены результаты экологического испытания десиканта Реглон Супер и гербицида Ураган Форте на удельную активность пероксидазы, посевные качества, биохимический состав и урожайные свойства семян сои среднеспелого сорта Нега 1.

Установлено, что удельная активность пероксидазы в семенах сои, полученных из бобов разных ярусов растений после десикации, в варианте без применения десикантов повышалась от нижнего яруса растения к верхнему. Так, значение удельной активности изучаемого фермента в семенах сои верхнего яруса растений было выше среднего на 11,2 ед./мг белка, и нижнего ярусов на 44,4 ед./мг белка (рис. 10, 11). Следовательно, высокая удельная активность пероксидазы в семенах сои свидетельствует о наибольшем негативном влиянии внешних факторов на растения сои верхнего яруса.

Обработка растений сои гербицидом Ураган Форте в дозах 1,5 и 3,0 л/га способствовало уменьшению удельной активности изучаемого фермента в семенах – при дозе 1,5 л/га удельная активность изучаемого фермента семян из бобов верхнего яруса снизилась на 24 % по сравнению с удельной активностью семян бобов нижнего яруса и составила 100,2 ед. / мг белка. Применение гербицида в дозе 3,0 л/га привело к снижению удельной активности пероксидазы в семенах, полученных из верхнего яруса растений на 23 % относительно активности семян бобов нижнего яруса. Таким образом, чем выше расположение семян на растении, тем большее отрицательное действие глифосата, в результате чего происходило значительное уменьшение удельной активности пероксидазы семян сои.

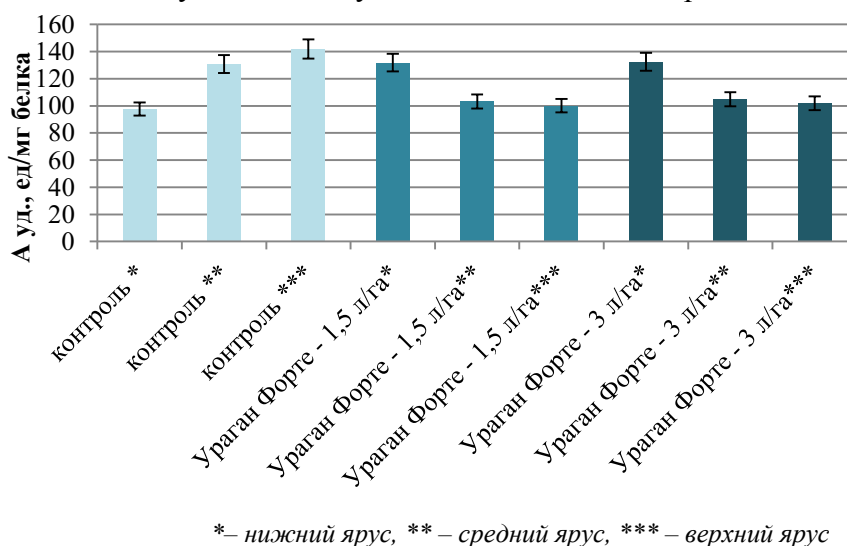


Рис. 10 – Удельная активность пероксидазы в семенах сои при применении гербицида Ураган Форте, среднее за 2016-2017 гг.

Применение десиканта Реглон Супер привело к увеличению активности пероксидазы в семенах, полученных из бобов нижнего яруса к верхнему по сравнению с контролем (рис. 10). При этом отмечено, что обработка растений сои препаратом в дозе 1,5 л/га привело к незначительному повышению активности изучаемого фермента: на 10 % в нижнем ярусе, на 7% в среднем и на 23 % в верхнем ярусе по сравнению с контролем, что свиде-

тельствует о слабом отрицательном воздействии десиканта на растения сои. Использование десиканта в дозе 3,0 л/га способствовало возрастанию активности фермента в семенах сои в 1,5 раза по сравнению с контролем независимо от места их формирования на растениях, что указывает на усиление обменных процессов.

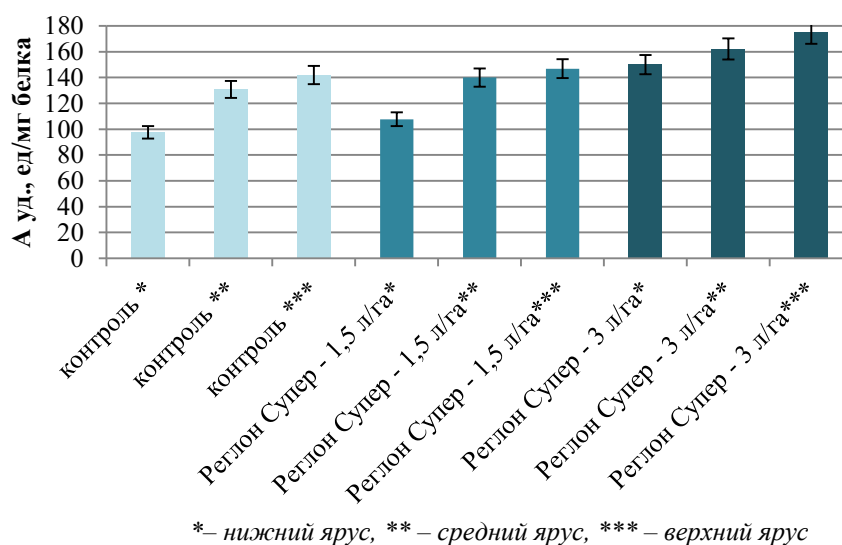


Рис. 11 – Удельная активность пероксидазы в семенах сои при применении десиканта Реглон Супер, среднее за 2016-2017 гг.

Негативное воздействие на посевные качества семян сои сорта Нега 1 в среднем за 2 года исследований оказало применение десиканта Реглон Супер и гербицида Ураган Форте различных концентраций (1,5 и 3,0 л/га). Отмечена тенденция к снижению энергии прорастания и лабораторной всхожести семян из бобов нижнего яруса к верхнему в контрольном варианте и в вариантах с применением десикантов в дозе 1,5 л/га. Энергия прорастания в семенах контрольного варианта растений верхнего яруса была ниже на 4% по сравнению со средним и на 6% – относительно нижнего яруса. Наименьший показатель лабораторной всхожести в контроле (88%) отмечен в семенах, полученных из верхнего яруса, что на 6 % ниже показателя среднего яруса и на 7 % относительно семян, полученных из нижнего яруса растений сои (табл. 7).

Таблица 7 – Посевные качества семян сои сорта Нега 1, среднее за 2016-2017 гг.

Место образования семян, ярус	Вариант				
	Контроль	Реглон Супер (1,5 л/га)	Ураган Форте (1,5 л/га)	Реглон Супер (3,0 л/га)	Ураган Форте (3,0 л/га)
Энергия прорастания, %					
Нижний	89,5	88,5	87,0	84,0	89,5
Средний	87,5	85,5	85,0	77,5	80,5
Верхний	83,5	77,0	76,0	79,5	85,0
Среднее значение	87,0	84,0	83,0	80,0	85,0
Лабораторная всхожесть, %					
Нижний	95,0	93,5	88,5	88,0	91,0
Средний	94,0	92,0	87,5	84,0	85,5
Верхний	88,0	83,0	79,5	86,0	89,0
Среднее значение	92,0	89,5	85,0	85,0	88,5

Использование десиканта Реглон Супер и гербицида Ураган Форте в дозе 1,5 л/га привело к снижению энергии прорастания в семенах бобов верхнего яруса на 6,5 и 7,5 % соответственно по сравнению с контролем. При применении изучаемых десикантов в дозе 3 л/га снижение энергии прорастания отмечено в семенах, сформированных в бобах сред-

него яруса растений: Реглон Супер снизил данный показатель на 10%, Урагана Форте – на 7% по сравнению с контролем. В среднем изучаемый показатель был выше на 3...7% относительно применения десиканта Реглон Супер и на 2...4% – относительно применения гербицида Ураган Форте независимо от дозы.

Лабораторная всхожесть контрольного варианта была выше на 2,5...7% относительно применения десиканта Реглон Супер и на 3,5...7% – относительно применения гербицида Ураган Форте независимо от дозы.

Более токсичен для растений сои сорта Нега 1 оказался десикант Ураган Форте. Среднее значение длины проростка при использовании данного десиканта в дозе 1,5 л/га снизилось относительно контроля на 4,4 см, а использование его в дозе 3,0 л/га привело к снижению на 16 см. Применение двойной дозы десиканта способствовало увеличению по сравнению с контролем количества ненормально развитых проростков на 2% (табл. 8).

Таблица 8 – Длина 10 дневных проростков сои сорта Нега 1, среднее за 2016 -2017 гг.

Вариант	Место образования семян (ярус)	Ненормально развитые проростки, %	Длина проростка		
			Среднее значение, см	Размах вариации, %	Коэффициент вариации, %
Контроль	Нижний	8	24,4	21,0	18,3
	Средний	6,5	25,5	17,4	16,0
	Верхний	11	23,7	16,7	15,5
	В среднем	8,5	24,5	18,4	16,6
Реглон Супер, 1,5 л/га	Нижний	7,5	23,4	17,7	19,6
	Средний	9	24,7	20,1	18,0
	Верхний	7,5	23,7	19,9	23,4
	В среднем	8	23,9	19,2	20,3
Реглон Супер, 3,0 л/га	Нижний	7	24,1	19,2	23,4
	Средний	6	24,2	21,8	21,6
	Верхний	6	22,6	22,2	23,7
	В среднем	6,3	23,6	21,1	22,9
Ураган Форте, 1,5 л/га	Нижний	4,5	21,3	21,3	30,4
	Средний	7,5	20,5	22,8	34,4
	Верхний	9,5	18,6	22,7	30,2
	В среднем	7,2	20,1	22,3	31,7
Ураган Форте, 3,0 л/га	Нижний	10	9,2	13,2	28,0
	Средний	11	8,0	10,3	27,3
	Верхний	9,5	8,4	14,5	31,3
	В среднем	10,2	8,5	12,7	28,9

Содержание белка в семенах, полученных с контрольных растений, изменялось при применении Ураган Форте от 34,36% (семена бобов верхнего яруса) до 36,07% (семена бобов нижнего яруса). При обработке растений сои гербицидом в зависимости от фазы развития растений количество белка в семенах бобов нижнего яруса снижалось на 1,01...1,56%; в семенах среднего и верхнего яруса отмечено незначительное понижение по сравнению с контролем.

При обработке растений сои десикантом Реглон Супер в зависимости от фазы развития растений сои количество белка в семенах бобов нижнего яруса снижалось на 0,74...1,98%; в семенах бобов среднего и верхнего яруса – незначительное понижение по сравнению с контролем.

Неблагоприятное последствие оказали препараты Реглон Супер и Ураган Форте на урожайные свойства семян сои сорта Нега 1. Полевая всхожесть при использовании десиканта Реглон Супер была ниже относительно контрольного варианта на 1...3%. При обработке посевов гербицидом Ураган Форте в дозе 1,5 л/га полевая всхожесть составила в среднем 30%. В среднем за 2 года исследований применение десиканта Реглон Супер в фазы полного налива бобов и начало созревания семян уменьшило урожайность зерна сои сорта Нега 1 соответственно на 0,22 и 0,39 т/га, а при использовании гербицида Ураган

Форте в качестве десиканта – на 0,63 и 1,61 т/га, по сравнению с контролем (НСР₀₅=0,25 т/га). Таким образом, использование десиканта Реглон Супер и гербицида Ураган Форте для ускорения созревания сои привело к снижению урожайности и качества семян у сорта сои Нега 1.

В главе 6 – «Производственная проверка и экономическая эффективность использования биологически активных веществ и гербицидов при выращивании сои» приведены результаты экономической эффективности испытываемого биопрепарата и производственной проверки результатов исследований.

В 2020 году на площади 100 га в ФГУП «Садовое» проведена производственная проверка по влиянию совместного применения препарата ЭкстраКор и гербицида Пульсар. При посеве использовали семена среднеспелого сорта сои Китросса. Предпосевная обработка семян изучаемым природным препаратом была произведена в день посева – 27 мая в дозе 20 г/т. Схема опыта включала следующие варианты: 1. Контроль (без обработки); 2. ЭкстраКор (обработка семян в дозе 20 г/т); 3. ЭкстраКор (обработка семян в дозе 20 г/т + вегетирующие растения в дозе 8 г/га).

В фазу третьего тройчатого листа проведено опрыскивание растений гербицидом Пульсар в дозе 0,8 л/га. Для учета урожая проведен контрольный обмолот комбайном.

Расчеты экономической эффективности проведены в группе экономических исследований в АПК ФГБНУ ФНЦ ВНИИ сои. Для определения экономической эффективности применения изучаемых природных препаратов при возделывании сои использовали следующие основные показатели: урожайность, себестоимость продукции, условно чистый доход, производственные затраты, рентабельность (табл. 9).

При уборке растений сои бункерный вес контрольного варианта составил 1,1 т/га, варианта с предпосевной обработкой семян ЭкстраКором в дозе 20 г/т семян – 1,7 т/га и варианта с обработкой семян (20 г/т) и вегетирующих растений (8 г/т) препаратом ЭкстраКор – 1,6 т/га. Прибавка урожайности по отношению к контролю составила 0,6 т/га.

Таблица 9 – Экономическая эффективность применения препарата ЭкстраКор

Показатели	Варианты опыта		
	Контроль (без обработки)	Обработка семян, 20г/т	Обработка семян (20 г/т) и вегетирующих растений (8г/т)
Урожай семян, т/га	1,1	1,7	1,6
Цена реализации, руб./т	26816	26816	26816
Производственные затраты, руб./га	23380	23732	23829
Стоимость продукции, руб./га	29497,6	45587,2	42905,6
Условно чистый доход, руб./га	6117,6	21855,2	19076,6
Себестоимость, руб./т	21255	13960	14893
Экономическая эффективность, руб./т	5561	12856	11923
Рентабельность, %	26	92	80

Производственные затраты с использованием препарата ЭкстраКор для предпосевной обработки семян и варианта с обработкой семян и вегетирующих растений составили 23732 руб./га и 23829 руб./га соответственно, что дороже контроля на 352 и 449 руб./га. При этом чистый доход был наибольшим в варианте с предпосевной обработкой семян ЭкстраКором и составил 21855,2 руб./га и в варианте с предпосевной обработкой семян и вегетирующих растений – 19076,6 руб./га, что на 15737,6 и 12958,4 руб./га соответственно выше контрольного варианта. Рентабельность в варианте с предпосевной обработкой семян ЭкстраКором была выше контроля на 66%, а в варианте с обработкой семян и вегетирующих растений сои изучаемым препаратом – на 54%.

Таким образом, применение биопрепарата ЭкстраКор обеспечивает получение экологически безопасных семян сои и повышение экономической эффективности производства зерна данной культуры.

Выводы

1. Биопрепараты БиоЛарикс, ЭкоЛарикс, ЭкстраКор и Бетулин обеспечили увеличение удельной активности фермента пероксидазы в проростках сои, что привело к повышению посевных качеств семян за счёт улучшения процессов их прорастания. Удельная активность фермента в проростках сои, семена которой были обработаны Бетулином в 2 раза превышала контрольный вариант и составляла 323,6 ед./мг белка. Наибольший стимулирующий эффект на проростки сои сорта МК 100 оказал ЭкстраКор, при котором длина проростков, а также длина корня были выше относительно контроля на 1,4 и 1,2 см соответственно. Максимальное повышение лабораторной всхожести (на 5 %) обеспечил препарат ЭкстраКор (20 г/т), используемый для предпосевной обработки семян сои средне-спелого сорта Китросса. Отмечена тенденция увеличения энергии прорастания семян сои среднеспелых сортов МК 100 и Китросса при использовании природных препаратов БиоЛарикс (20 г/т), Бетулин (20 г/т) и ЭкстраКор (20 г/т).

2. Использование биопрепаратов обеспечивало повышение устойчивости растений сои к стрессовым факторам среды, что подтверждается увеличением удельной активности пероксидазы в листьях сои сорта МК 100: на 22,8 ед./мг белка при использовании БиоЛарикса в дозе 20 г/т семян, и на 25,6 ед./мг белка от применения ЭкстраКора в дозе 8 г/га. Совместное применение ЭкстраКора в дозе 8 г/га и гербицида Пульсар в дозе 0,8 л/га по вегетирующим растениям привело к увеличению удельной активности пероксидазы на 96,4 ед./мг белка в фазу 3-го тройчатого листа, а в фазу цветения – на 98,5 ед./мг белка. Между выпавшими осадками и удельной активностью пероксидазы в фазу 3-го тройчатого листа у сои сорта Китросса установлена тесная положительная зависимость в варианте с предпосевной обработкой семян Бетулином без использования гербицида Пульсар ($R=0,82$, $d_{yx} 0,67$) и в варианте с обработкой семян препаратом ЭкстраКор без использования гербицида ($R=0,71$, $d_{yx} 0,50$).

3. Обработка семян сои сорта Китросса Бетулином и ЭкстраКором в дозах 20 г/т и 8 г/га по вегетирующим растениям привела к повышению удельной активности фермента пероксидазы в листьях за счёт стимуляции биохимических процессов. Максимальная удельная активность изучаемого фермента выявлена в фазу 3-го тройчатого листа в посевах с использованием ЭкстраКора для обработки семян и вегетирующих растений совместно с гербицидом Пульсар. Превышение относительно контроля составило 49,2 ед./мг белка. В фазу цветения наибольший показатель – 92,77 ед./мг белка, получен в варианте с предпосевной обработкой семян и по вегетирующим растениям Бетулином при совместном применении гербицида Пульсар в дозе 0,8 л/га, что выше контроля на 30 ед./мг белка.

4. Выявлено отрицательное воздействие гербицида Пульсар на растения сои по удельной активности фермента пероксидазы в листьях с использованием в посевах только гербицида Пульсар: в среднем за 3 года исследований у сорта МК 100 этот показатель снизился в фазу 3-го тройчатого листа на 43,5%, в фазу цветения – на 7,3%, а у сорта Китросса – на 28 % и 9% соответственно.

5. Использование биопрепарата ЭкстраКор для предпосевной обработкой семян обеспечило наибольшую прибавку биологической урожайности у сорта сои МК 100, которая составила 0,34 т/га при урожайности в контроле 2,44 т/га ($НСР_{05}=0,17$ т/га). Обработка вегетирующих растений Пульсаром, оказав отрицательное влияние на растения сои, привела к снижению урожайности на 0,04 т/га относительно варианта, где использовали только биопрепарат ЭкстраКор. Биопрепарат Бетулин увеличил биологическую урожайность семян сои сорта Китросса на 0,44 т/га, а ЭкстраКор – на 0,46 т/га относительно применения только гербицида. Использование ЭкстраКора для обработки семян и вегетирующих растений снизила негативное влияние гербицида Пульсар, что обеспечило увеличение содержания белка в семенах сои сорта Китросса на 1,38% по сравнению с использованием только гербицида для уничтожения сорняков.

6. Десикант Реглон Супер и гербицид Ураган Форте оказали токсичное действие на посевные качества семян среднеспелого сорта сои Нега 1. Использование десиканта Рег-

лон Супер в дозе 3,0 л/га в фазу полного налива семян привело к снижению на 10 % энергии прорастания и лабораторной всхожести семян, полученных из среднего яруса растений по сравнению с контролем. Увеличение удельной активности пероксидазы в семенах сои на 44,4 ед./мг белка отмечено в варианте с применением десиканта Реглон Супер, что свидетельствует об активизации механизмов защиты антиоксидантной системы. Использование гербицида Ураган Форте в фазу полного налива семян в дозе 1,5 л/га снизило энергию прорастания на 7,5 % и лабораторную всхожесть на 8,5 % в семенах верхнего яруса растений, а применение его в дозе 3,0 л/га привело к снижению среднего значения длины 10-ти дневных проростков на 16 см. Урожайность зерна после применения десиканта Реглон Супер и гербицида Ураган Форте уменьшилась соответственно на 0,39 и 1,61 т/га относительно контроля ($НСР_{05}=0,25$ т/га).

7. Производственная проверка препарата ЭкстраКор и гербицида Пульсар, проведенная на площади 100 га в ФГУП «Садовое» на сое сорта Китросса показала высокую эффективность этого препарата. Предпосевная обработка семян ЭкстраКором в дозе 20 г/т семян обеспечила прибавку урожая на 0,6 т/га. Рентабельность в варианте с предпосевной обработкой семян ЭкстраКором была выше контроля на 66%, а в варианте с обработкой семян и вегетирующих растений сои изучаемым препаратом – на 54%. Применение биопрепарата ЭкстраКор обеспечивает получение экологически безопасных семян сои и повышение экономической эффективности производства зерна данной культуры.

ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВУ

При возделывании среднеспелых сортов сои в условиях Амурской области для снижения отрицательного воздействия гербицидов, с действующим веществом Имазамокс, повышения адаптивности, урожайности и качества зерна рекомендуется применять препарат ЭкстраКор, полученный путем переработки лиственницы даурской.

Рекомендуемые нормы расхода:

- ЭкстраКор, предпосевная обработка семян – 20 г/т; опрыскивание растений в фазу третьего тройчатого листа, расход препарата – 8 г/га.

СПИСОК ОСНОВНЫХ ПУБЛИКАЦИЙ АВТОРА ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи, индексируемых в международных базах данных Web of Science и Scopus

1. Evaluation of the influence of biologically active substances on the physiological processes of soybean plants with the use of multispectral camera and unmanned aerial vehicle / **М. Михайлова**, V. Sinegovskaia, B. Boiarskii, M. Sinegovskii, A. Boiarskaia // AGRITECH-III-2020. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Published under licence by IOP Publishing Ltd. 2020. Volume 548 (3) 032028. SJR = 0.179 (2020)

<https://doi.org/10.1088/1755-1315/548/3/032028>

<https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85091205525&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&sid=eb495588ed34f9aa39eccebc835db2e5&sot=aff&sdt=a&sl=70&s=AF-ID%28%22All-Russian+Scientific+Research+Institute+of+Soybean%22+60122476%29&relpos=2&citeCnt=0&searchTerm=>

Статьи в периодических изданиях, рекомендованных ВАК РФ

1. Кузнецова, В.А. Влияние арабиногалактана, дигидрокверцетина и их комплексов на активность пероксидаз семян сои / В.А. Кузнецова, Л.Е. Иваченко, **М.П. Михайлова** // Естественные и технические науки. 2015. № 12 (90). С. 24–27.

2. **Михайлова, М.П.** Оценка воздействия гербицидов на проростки сои по изменению пероксидазной активности // Земледелие. 2017. № 1. С. 47–52.

3. **Михайлова, М.П.** Влияние десикации на качество семян сои / **М.П. Михайлова**, Л.А. Каманина, Н.Б. Шпилев // Вестник Дальневосточного отделения Российской академии наук. 2018. № 3 (199). С. 122–125.

4. **Михайлова, М.П.** Роль биологически активных веществ в повышении качества семян сои / **М.П. Михайлова**, В.Т. Синеговская // Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2018. № 72. С. 280–283.
5. **Михайлова, М.П.** Изменение ферментативной активности и биохимического состава семян сои под влиянием гербицида / **М.П. Михайлова**, Л.А. Каманина, В.Т. Синеговская // Вестник Камчатского государственного технического университета. 2019. № 49. С. 76–80.
6. **Михайлова, М.П.** Роль биологически активных веществ в повышении устойчивости растений сои к неблагоприятным факторам среды / **М.П. Михайлова**, В.Т. Синеговская // Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2019. № 6. С. 9–12.
7. **Михайлова, М.П.** Роль пероксидазы в повышении устойчивости растений сои к неблагоприятным факторам // Вестник Дальневосточного отделения Российской академии наук. 2019. № 3 (205). С. 139–144.
8. **Михайлова, М.П.**, Синеговская В.Т. Использование биологически активных веществ для повышения устойчивости сои к гербицидам / **М.П. Михайлова**, В.Т. Синеговская // Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2020. № 5. С. 13–17.

Методические рекомендации

1. Методические рекомендации по применению десикантов в посевах сои / Н.Б. Шпилев, Л.А. Каманина, **М.П. Михайлова**, В.И. Прачик // ФГБНУ ВНИИ сои. Благовещенск: ИПК «ОДЕОН», 2017. 16 с.

Статьи в сборниках по результатам международных, всероссийских и других научных конференций

1. Пероксидазная активность проростков сои при воздействии гербицида фронтьер различных концентраций / М.П. Михайлова, В.Т. Синеговская, В.А. Кузнецова, Л.Е. Иваченко // Итоги координации научно-исследовательских работ по сое за 2011–2014 годы. Сборник научных статей по материалам координационного совещания по сое зоны Дальнего Востока и Сибири. ФГБНУ ВНИИ сои, 09–10.09.2015 г. Благовещенск: ООО «ИПК»ОДЕОН», 2015. С. 106–110.
2. ЭкоЛарикс – перспективный регулятор роста сои / В.А. Кузнецова, В.С. Остронков, М.П. Михайлова, Л.Е. Иваченко // Новые и нетрадиционные растения и перспективы их использования. М.: Изд-во ВНИИССОК, 2016. № 12. С. 134–137.
3. Активность пероксидаз при влиянии десикантов на семена сои / М.П. Михайлова, Н.Б. Шпилев // Вклад молодых ученых в решение задач агропромышленного комплекса Азиатско-Тихоокеанского региона: Сборник научных статей по материалам заочной научно-практической конференции молодых ученых (с международным участием). Благовещенск: ООО «ИПК «ОДЕОН», 2016. С. 6–10.
4. Кузнецова, В.А. Влияние листовничных экстрактов на усиление ростовых процессов сои / В.А. Кузнецова, В.С. Остронков, М.П. Михайлова, Л.А. Каманина // Вклад молодых ученых в решение задач агропромышленного комплекса Азиатско-Тихоокеанского региона. Сборник научных статей по материалам заочной научно-практической конференции молодых ученых (с международным участием). Благовещенск: ООО «ИПК «ОДЕОН», 2016. С. 25–29.
5. Влияние регуляторов роста растений нового поколения на пероксидазную активность проростков сои / М.П. Михайлова, В.А. Кузнецова // Агропромышленный комплекс: проблемы и перспективы развития: Материалы международной научно-практической конференции, посвященной Году экологии в России. В 2-х частях. Благовещенск: Изд-во ДальГАУ, 2017. С. 34–37.
6. Применение регуляторов роста нового поколения на основе экстрактов из листовницы для повышения урожайности сои / В.А. Кузнецова, В.С. Остронков, М.П. Михайлова // Тенденции развития агрофизики: от актуальных проблем земледелия и растениеводства к

технологиям будущего: Материалы Международной научной конференции, посвященной 85-летию Агрофизического НИИ. Санкт-Петербург: Изд-во Агрофизического НИИ РАСХН, 2017. С. 81–83.

7. Участие природных регуляторов роста в защите сои от гербицидного стресса / М.П. Михайлова, Л.А. Каманина, В.С. Остронков, В.А. Кузнецова // Тенденции развития агрофизики: от актуальных проблем земледелия и растениеводства к технологиям будущего: Материалы Международной научной конференции, посвященной 85-летию Агрофизического НИИ. Санкт-Петербург: Изд-во Агрофизического НИИ РАСХН, 2017. С. 317–319.

8. Адаптивные реакции растений сои к действию гербицидного стресса / В.А. Кузнецова, М.П. Михайлова, Л.А. Каманина // Экспериментальная биология растений: фундаментальные и прикладные аспекты. Научная конференция и школа молодых ученых. Крым, 18–24.09.2017 г. Судак: Изд-во АНО "Центр содействия научной, образовательной и просветительской деятельности «Соцветие» , 2017. С. 209.

9. Влияние листовничных экстрактов на антиоксидантную систему и продуктивность сои / В.А. Кузнецова, М.П. Михайлова, Л.Е. Иваченко // Экспериментальная биология растений: фундаментальные и прикладные аспекты. Научная конференция и школа молодых ученых. Крым, 18–24.09.2017 г. Судак: Изд-во АНО "Центр содействия научной, образовательной и просветительской деятельности «Соцветие» , 2017. С. 209 2017. С. 208.

10. Воздействие десикантов на посевные качества семян сои сорта нега 1 в условиях Приамурья / Л.А. Каманина, Н.Б. Шпилёв, М.П. Михайлова // 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: ООО «ИПК «ОДЕОН», 2017. С. 190–195.

11. Роль пероксидаз и изофлавонов в адаптации сои к окислительному стрессу / В.А. Кузнецова, М.П. Михайлова, Л.Е. Иваченко // Молекулярные аспекты редокс-метаболизма растений. Роль активных форм кислорода в жизни растений; Материалы II Международного симпозиума и международной научной школы. – Уфа: Изд-во ООО «Первая типография», 2017. С. 145–146.

12. Снижение токсического воздействия гербицидов на сою при применении природных антидотов / М.П. Михайлова, Л.А. Каманина // Экологические проблемы регионов. Сборник статей Всероссийской научно-практической конференции; Иркутск, 19–20.06.2017 г. Иркутск: Изд-во: Иркутский национальный исследовательский технический университет, 2017. С. 136–138.

13. Использование регуляторов роста растений природного происхождения в качестве гербицидных антидотов / М.П. Михайлова, Л.А. Каманина // Научное обеспечение производства сои: проблемы и перспективы. Сборник научных статей по материалам Международной научно-практической конференции, посвящённой 50-летию образования Всероссийского НИИ сои. Благовещенск: ООО «ИПК «ОДЕОН», 2018. С. 77–82.

14. Sowing qualities and biochemical composition of soybean seeds depending on the use of herbicide and a drug of natural origin / A.E. Gretchenko, M.P. Mikhailova // Materials of the International Conference “Scientific research of the SCO countries: synergy and integration”. Part 2 – Reports in English. Beijing, China. 2019. P. 140–145.

<https://doi.org/10.34660/INF.2019.21.41438>