Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

«Российский государственный аграрный заочный университет»

На правах рукописи

НАДЕЖКИНА ЕКАТЕРИНА СЕРГЕЕВНА

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ АНТИСТРЕССОВЫХ ПРЕПАРАТОВ В АГРОЦЕНОЗАХ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР В ЛЕСОСТЕПИ СРЕДНЕГО ПОВОЛЖЬЯ

Специальность 03.02.08 – экология (биология)

Диссертация на соискание ученой степени кандидата биологических наук

> Научный руководитель кандидат сельскохозяйственных наук, Е.Н. Закабунина

СОДЕРЖАНИЕ

СОКРАЩЕНИЯ	. 4
ВВЕДЕНИЕ	. 5
ГЛАВА 1 ДЕЙСТВИЕ ГЕРБИЦИДОВ, ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ И АНТИСТРЕССОВЫХ ПРЕПАРАТОВ НА ЗЕРНОВЫЕ КУЛЬТУРЫ И ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ	. 9
1.1 Гербициды и антистессанты	. 9
1.2 Влияние тяжелых металлов и селена на окружающую среду	18
ГЛАВА 2 УСЛОВИЯ, ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ	29
2.1 Абиотические и эдафические особенности района исследований	29
2.2 Общие условия проведения опытов и объекты исследований	38
2.3 Методы лабораторных анализов и расчётов	41
ГЛАВА З ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ФОТОСИНТЕТИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ РАСТЕНИЙ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ АНТИСТРЕССОВЫХ ПРЕПАРАТОВ В ГЕРБИЦИДНОЙ ОБРАБОТКЕ ПОСЕВОВ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР	44
3.1 Формирование площади ассимиляционной поверхности растений зерновых культур при использовании антистрессантовв условиях гербицидного стресса	45
3.2 Фотосинтетический потенциал и чистая продуктивность посева зерновых культур в условиях гербицидного стресса и при	50
действииизучаемых препаратов	3
4.1 Оценка влияния засоренности посева на урожайность зерновых культур	70
4.2 Формирование продуктивности зерновых культур в зависимости от препаратов—антистрессантов при гербицидной обработке посевов	74
4.2.1 Влияние антистрессантов на формирование урожайности и качести зерна яровой пшеницы	
4.2.2 Влияние антистрессантов в комбинации с гербицидом на урожайность и качество зерна ярового ячменя	84

ГЛАВА 5 ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ВЛИЯНИЯ ТЯЖЕЛЫХ	
МЕТАЛЛОВ И СЕЛЕНА НА РОСТОВЫЕ ПРОЦЕССЫ	
ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР	36
5.1 Влияние селена на продукционный процесс озимой пшеницы при	
загрязнении чернозема выщелоченного свинцом	36
5.2 Влияние селена на ростовые процессы яровой пшеницы сорта Тризо	
при загрязнении почвы свинцом	39
5.3 Влияние обработки семян солями свинца, кадмия и селена на ростовы	e
процессы зерновых культур на ранних этапах онтогенеза) 3
ГЛАВА 6 ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ВЛИЯНИЯ ТЯЖЕЛЫХ	
МЕТАЛЛОВ И СЕЛЕНА НА БИОХИМИЧЕСКИЙ СТАТУС	
ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ10)2
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	15
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙЛИТЕРАТУРЫ11	15
ПРИЛОЖЕНИЕ14	16

СОКРАЩЕНИЯ

ГТК – гидротермический коэффициент;

ТМ – тяжелые металлы;

ПДК – предельно- допустимые концентрации;

ОДК – ориентировочно допустимые концентрации;

АсП – аскорбатпероксидаза;

ТБК – тиобарбитуровая кислота;

ТБКРп – реагирующие продукты с тиобарбитуровой кислотой;

ГР – глутатионредуктаза;

ГПХ – гваяколпероксидазы;

СОД – супероксиддисмутаза;

КАТ – каталаза;

ФП – фотосинтетический потенциал;

ЧПФ – чистая продуктивность фотосинтеза

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы. Получение высоких и стабильных урожаев зерновых культур с хорошим качеством зерна, нередко, ограничивается действием экологических факторов. Загрязнение агроценозов различными химическими веществами, в том числе пестицидами и тяжёлыми металлами, вызывает стресс у сельскохозяйственных культур, снижая их продуктивность [Захаренко, 2000; Зубкова, 2013; Минеев, 2000; Панин, 2010, Овчаренко, 1997; Спиридонов, 2011; Черных, 2003].

Одной из важнейших задач является поиск путей повышения устойчивости, сохранение гомеостаза и продуктивности растений в неблагоприятных условиях окружающей среды [Серегина, 2008; Feng, 2015; Sieprawska, 2015].

В последнее время внимание исследователей обращено на использование антистрессантов (антидотов), которые способны не только снижать стресс у растений, но и уменьшать химическую нагрузку на окружающую среду [Баздырев, 2004; Злотников, 2008; Beckie, 2012 Mahmood, 2014].

Вопросы защиты растений от стрессов, вызванных действие гербицидов и тяжёлых металлов, влияние антистрессантов на формирование продукционного процесса и повышение адаптивности растений к стрессовым воздействиям требуют изучения в конкретных условиях регионов.

Цель исследования — изучить экологическую роль препаратов разного химического состава в формировании продукционного процесса зерновых культур при стрессе, вызванном обработкой посевов послевсходовыми гербицидами и загрязнением чернозема выщелоченного и растений тяжелыми металлами в условиях Среднего Поволжья.

В задачи исследования входило:

-дать экологическую оценку фотосинтетической деятельности растений зерновых культур при использовании препаратов-антистрессантов в условиях стресса, вызванного гербицидной обработкой посевов;

-определить экологическую роль антидотов при совместном внесении с послевсходовыми гербицидами на формирование урожайности и качества продукции яровой пшеницы и ячменя;

-изучить влияние свинца, кадмия и селена на ростовые процессы зерновых культур на разных этапах онтогенеза;

- оценить действие селена как антистрессанта на содержание свободного пролина и активность ферментов антиоксидантной системы защиты растений в условиях окислительного стресса, вызванного загрязнением почвы свинцом.

Основные положения, выносимые на защиту:

- в современных технологиях возделывание зерновых культур требуется использование гербицидов, которые выполняя функцию защиты растений от сорняков, вызывают стресс у защищаемой культуры, проявляющийся в снижении фотосинтетической активности растений. Снижение стресса возможно при использовании антидотов, вносимых с послевсходовыми гербицидами;
- действие антистрессантов, в зависимости от биологических особенностей культур, агрометеорологических условий и химического состава послевсходовых гербицидов, на формирование урожайности и качества продукции зерновых культур;
- -экологическая оценка влияния свинца, кадмия и селена на ростовые процессы озимой, яровой пшеницы и ячменя на разных этапах онтогенеза;

-реакция антиоксидантной системы яровой пшеницы — ферментов и свободного пролина на применение селена при химическом загрязнении чернозёма выщелоченного свинцом и растений свинцом и кадмием.

Научная новизна. Выяснены особенности антистрессового действия препаратов: мегафола, селената и селенита натрия, гуми-90, силипланта на физиологические процессы в зависимости от биологических особенностей яровой пшеницы и ячменя, химического состава гербицидов и погодных

условий. Определены корреляционные связи урожайности зерновых культур с показателями фотосинтетической деятельности и погодными условиями.

Установлена протекторная роль селена в условиях стресса, вызванного загрязнением чернозема свинцом и растений свинцом и кадмием в зависимости от сортовых особенностей зерновых культур. Определено, что действие селената натрия на активность антиоксидантных ферментов и пролина определяется как дозами свинца, так и селена.

Научно-практическая значимость исследования. Полученные данные по снижению негативного действия гербицидов и тяжёлых металлов путем использования антистрессантов могут быть использованы при разработке практических рекомендаций по возделыванию пшеницы и ячменя на черноземах Пензенской области и в других областей Среднего Поволжья. В баковой смеси с послевсходовыми гербицидами возможно применение препарата мегафол или натриевых солей селена.

Использование селената натрия на черноземе, загрязненном свинцом выше ПДК, позволяет снизить стресс и увеличить продуктивность озимой пшеницы сорта Спектр. Результаты протекторного действия селената натрия на ферментативную систему растений, а также данные о влиянии свинца и кадмия на семена яровой пшеницы и ячменя в зависимости от сортовых особенностей этих культур, могут быть учтены в селекционном процессе.

Достоверность результатов исследований. Результаты исследований не противоречат исходным теоретическим положениям, отвечают поставленной цели и задачам диссертационной работы. Достоверность полученных материалов подкреплена результатам математической обработки с применением методов статистического анализа.

Апробация результатов исследования. Основные положения и результаты диссертационной работы были представлены на Международных научно-практических конференциях: «Наука и образование для устойчивого развития экономики, природы и общества» (Тамбов, 2013); «Фундаментальные и прикладные науки: проблемы и перспективы» (Москва, 2014);

3rdAnnual International Conferenceon Ecology, Ecosystems and Climate Change (Athens, Greece, 2015), «Сельскохозяйственные науки: агропромышленный комплекс на рубеже веков», (Новосибирск, 2015); на I Международном экологическом форуме «Экологическая стратегия устойчивого развития», (Калуга,2015); на II Кавказском экологическом форуме (Грозный, 2015).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 10 работ, из них 6 статей в журналах, рекомендованных ВАК РФ.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, шести глав, выводов, приложений и списка литературы. Объем работы составляет 145 страниц компьютерного текста, включает 35 таблиц, 18 рисунков и 18 приложений. Список использованной литературы насчитывает 275 наименования, в том числе 132 на иностранном языке.

Благодарности. Все научные положения диссертации разработаны лично автором. В закладке полевых опытов, в разборе сноповых образцов оказывали помощь студенты, которым автор выражает глубокую благодарность.

Особая признательность научному руководителю, доценту Е.Н. Закабуниной; докторам наук В.А. Вихревой, А.П. Стаценко, Н.А. Голубкиной; кандидату наук Т.И.Балахниной; директору ОАО «Петровский хлеб» Р.А. Алиметову; кандидату наук, директору ГЦАС «Пензенский» В.Н. Эркаеву за методические советы и помощь при проведении полевых и аналитических исследований.

ГЛАВА 1. ДЕЙСТВИЕ ГЕРБИЦИДОВ, ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ И АНТИСТРЕССОВЫХ ПРЕПАРАТОВ НА ЗЕРНОВЫЕ КУЛЬТУРЫ И ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

Продовольственная безопасность — это одна из основных целей как экономической, так и аграрной политики любого государства. В настоящее время крайне высока зависимость российского рынкаот импортного продовольствия, западных технологий выращивания сельскохозяйственных культур, иностранных семян. По некоторым данным доля российских семян остается стабильно высокой только по зерновым культурам [84].

Актуален вопрос обеспеченности аграриев сельскохозяйственной химией, в первуюочередь, средствами защитырастений. Многие химические заводы в России, производящие пестициды, закупают действующие вещества за рубежом и при этом невсегда качественные.

Важными особенностями современной ситуации в агросфере является одновременное воздействие на растения большого числа факторов физической, биологической и химической природы [92].

Наиболее сильное токсичное действие на живые организмы оказывают факторы химической природы – пестицидыи тяжелые металлы.

Широкое применение пестицидов, наряду с большой экономической эффективностью, представляет реальную опасность загрязнения ими объектов окружающей среды и продуктов питания, что, в конечном итоге, может оказывать неблагоприятное влияние на здоровье населения.

В связи с этим, вопрос безопасного применения пестицидов занимает одно из ведущих мест в числе государственных задач по охране окружающей среды и общественного здоровья [94]. Среди пестицидов наиболее ощутимое негативное действие, приводящее к стрессу основной культуры, вызывают гербициды [5, 214, 230].

1.1 Гербициды и антистессанты

Сокращение площади пашни в Российской Федерации, нарушения агротехники возделывания культур (норм, способов, сроков посева и ухода за

растениями) привело к резкому повышению засоренности посевов и увеличению численности вредителей и болезней сельскохозяйственных культур.

Засоренность посевов также связана с естественно-биологическими свойствами самих сорных растений [78]. Сорняки отличаются повышенным коэффициентом размножения семян, жизнеспособностью, экологической пластичностью, устойчивостью к мерам борьбы с ними. При высокой численности они снижают урожай и качество сельскохозяйственной продукции, а также затрудняют выполнение многих видов полевых работ, в том числе обработку почвы и уборку урожая.

Ежегодно из-за сорняков сельскохозяйственные товаропроизводители недополучают от 10 до 30% урожая, расходуют значительные средства на очищение посевов от сорной растительности [41].

Так, в Пензенской области, расположенной в лесостепи Среднего Поволжья, ежегодно теряется не менее 10-14% выращенного урожая зерновых культур. При увеличении количества сорняков до 300 штук на 1 м² урожайность сахарной свеклы снижается на 81%, ухудшается и качество получаемой продукции[9].

Сорняки отличаются видовым многообразием, различием жизненных циклов, а также исключительной приспособляемостью к среде обитания [125, 218]. Они — конкуренты культурных растений за свет, влагу, питательные элементы. Способность активно поглощать влагу за счёт мощной корневой системы, побегообразования при любом повреждении, а также толстого кутикулярного слоя — всё это делает присутствие сорняков в посевах культурных растений опасным, независимо от погодных условий. Межвидовая конкуренция за факторы роста тормозит нормальные темпы развития сельскохозяйственных растений, что приводит к их угнетению и резко снижает потенциальную продуктивность. Особенно уязвимы всходы, имеющие минимальную фотосинтетическую поверхность.

В силу специфических природных условий полностью освободить поля от сорняков только агротехническими методами часто не удается. Поэтому в системе мер борьбы с сорной растительностью широко применяются гербициды.

Использование гербицидов в современных технологиях является одним из эффективных приемов борьбы с сорной растительностью [5]. Их экономическая эффективность не вызывает сомнения, однако значительная часть гербицидов обладает высокой стойкостью к химическому и биологическому разложению и циркулирует в окружающей среде, тем самым представляя реальную угрозу для живой природы и человека [145, 156].

Существует ряд проблем, связанных с поведением гербицидов в окружающей среде. Одной из таких проблем является проблема метаболитов, так как при определенных условиях превращения, некоторые гербициды образуют более токсичные соединения, чем исходные. Другая проблема связана с фитотоксичностью гербицидов для сельскохозяйственных растений.

Механизмы токсичного действия гербицидов сводятся к нарушению нескольких, протекающих в клетках, фундаментальных метаболических процессов: изменение процессов роста, фотосинтеза и дыхания, биосинтеза жизненно важных соединений – белков, нуклеиновых кислот, крахмала, клетчатки и др. [72].

Ряд гербицидов изменяет активность клеточных ферментов, действуя на них прямо или косвенно, подавляя активность одних, и стимулируя активность других ферментов [41]. В результате действия гербицидов на промежуточный метаболизм нарушаются процессы распада и образования низкомолекулярных органических соединений, необходимых для нового синтеза. Кроме того, действие гербицидов выражается в нарушении синтеза различных специфических компонентов растительных клеток типа алкалоидов, пектина, кумаринов, антоциана, фитогормонов, танинов [123].

Гербициды являются физиологически активными веществами, они имитируют гормоны растений, поэтому могут оказывать губительное действие на почвенные микроорганизмы, а также накапливаться в разных звеньях трофических цепей, негативно действуя на фитоценозы, животных и человека [44].

Почва является основным звеном миграции гербицидов в агроэкосистемах. В почве происходит сорбция токсикантов почвенным поглощающим комплексом, а при увеличении кислотности, наоборот, увеличивается их растворимость. За счет большой растворимости гербицидов в воде и смыва с частицами почвы осадками, возможно загрязнение источников воды. При слабой сорбции их почвой в результате улетучивания возможно распространение на большие расстояния таких пестицидов как эфиры 2,4-Д, трефлана, производных тио- и дитиокарбаматов [109, 125].

Гербициды накапливаются в почве в том случае, если интервал между повторными внесениями значительно меньше периода их полуразложения.

Из почвы и растений гербициды по различным трофическим цепям могут оказаться в организме человека. Как свидетельствует мировая практика, нетоксичных для человека гербицидов нет.

При попадании гербицидов в организм животных и человека происходят нарушения биологических и физиологических процессов, вызывающие различные формы заболеваний, в том числе врождённые пороки развития и аллергию[4, 48]. Гербициды способны воздействовать на сердечнососудистую, эндокринную и иммунную системы человека [97]. Они могут спровоцировать синтез раковых клеток, включая лейкемию, саркому мягких тканей и головного мозга, молочной, щитовидной и предстательной железы, костей, мочевого пузыря, печени и рака легких и т.д. [48, 214].

Гербициды особенно опасны для человека и окружающей среды при их повторном использовании. В этом случае увеличивается нагрузка на растения, что может приводить к накоплению остаточных количеств химических веществ в сельскохозяйственной продукции [41].

В агроценозе культурные и сорные растения взаимодействуют на биохимическом уровне с участием различных групп органических веществ. В ризосфере сорных растений формируются фенольные соединения, создавая в корнеобитаемом слое аллелопатический потенциал, который отличается существенным фитотоксическим воздействием, уменьшая количество проросших семян культурных растений. Поэтому раннее отрастание и ускоренное развитие сорняков обеспечивают их заметное преимущество в конкуренции за условия жизни[30, 78, 158].

Среди растений нет ни одной систематической группы, в пределах которой все представители были бы одинаково устойчивы к гербицидам. В це-

лом гербициды проявляют большую избирательность действия по отношению к защищаемым растениям, что позволяет применять их для защиты от сорняков.

В растениях гербициды подвергаются окислению, восстановлению, гидроксилированию и другим процессам, в результате которых снижается их фитотоксичность. Однако, химическая прополка, успешно решая проблему борьбы с сорняками, может оказывать стрессовое действие на защищаемую культуру.

При стрессе у растений может происходить угнетение ростовых процессов, подавление активности фотосинтеза и увеличение выработки активных форм кислорода. Все это, в конечном итоге, влияет на урожайность и качество продукции [11,44, 145, 167, 216, 218].

Признаки действия гербицидов могут быть различными: снижение всхожести семян, уменьшение накопления сухого вещества, искривление стеблей, угнетение роста и развития, накопление остаточных количеств в урожае и т.д. Так, при использовании послевсходовых гербицидов у защищаемой культуры нередко в течение нескольких дней отмечается хлороз листьев, приостанавливается рост, замедляется развитие, нарушается обмен веществ. Растения попадают в так называемую «гербицидную яму».

Механизмы воздействия гербицидов на растения могут быть различными. Например, системные гербициды типа 2,4-Д способны передвигаться по сосудистой системе растений вместе с питательными элементами и продуктами обмена веществ, вызывая общее отравление сорного растения. Перемещение 2,4-Д в пределах растения завершается в зонах активного роста, гдепроисходит интенсивное деление клеток. Здесь гербицид как ингибитор подавляет процессы окислительного фосфорилирования, синтеза нуклеиновых кислот, вызывает уменьшение содержания эндогенных ауксинов. Проявление ауксиновых свойств 2,4-Д приводит к повреждению тканей флоэмы, истощению листьев, нарушению целостности внешних покровов [140].

Послевсходовые гербициды применяют на начальных этапах роста посевов, в фазу 3-х листьев – кущения зерновых культур, когда они еще слабо конкурируют с сорной растительностью. Даже незначительный стресс в этот период способствует снижению потенциальной продуктивности культуры, приводя к потере 10-15 % урожая [125].

В интегрированной защите растений в XXI столетии наиболее перспективными являются разработки, связанные с поиском и использованием гербицидов с новым механизмом действия, которые способны слабо влиять на биосинтез хлорофилла, каротиноидов, витаминов, кофакторов ферментов [95, 160, 223]. Требования к таким гербицидам — слабая подвижность в окружающей среде, разрушаемость до нетоксичных остатков, безопасность для организмов [214].

Другим важным направлением во всем мире является разработка и использование совместно с пестицидами антистрессантов (антидотов), которые способны не только снижать стресс, но и уменьшать пестицидную нагрузку на окружающую среду, которая может приводить к дестабилизации естественных и искусственных экологических сообществ [45, 132, 143, 166, 263].

В настоящее время изучено большое количество различных антистрессантов, в том числе и биопрепаратов [101, 166, 230].

Применение биологически активных и экологически безопасных средств совместно с гербицидами решает несколько важных практических задач: повышение адаптивности растений к стрессовым условиям, увеличение урожайности, улучшение качества продукции [113, 170].

Таким требованиям отвечают гуминовые вещества. Они представляют сложную смесь высокомолекулярных азотсодержащих природных соединений, образованных в ходе реакций разложения, окисления и конденсации органических веществ [86,126, 215].

Гуминовые вещества играют важнейшую роль в биосфере, определяя физические, физико-химические, химические и биологические свойства почв. Кроме того, они выполняют важнейшие экологические функции:ускорение микробиологического разложения пестицидов, закрепление загрязняющих веществ в виде сложных комплексов; уменьшение миграции токсикантов из почв в водоисточники.

Многообразна роль гуминовых веществ в жизнедеятельности растений. Они – источник элементов питания, CO_2 и энергии; участвуют в обменных процессах, выступают в роли физиологически активных веществ, растительных гормонов, катализаторов дыхания и т.д.[8, 126].

На основе гуминовых кислот и их солей изготовляются из торфа, сапропеля, бурого угля, лигносульфоната различные препараты (гуматы калия/натрия, гувитанс, гумивит, гумифилд и др.), содержащие аминокислоты, полисахариды, углеводы, витамины, гормогоподобные вещества, макро- и микроэлементы. Эти препараты проявляют свойства адаптогенов, снимая стресс, вызванный различными антропогенными факторами, в том числе и гербицидами [19, 47, 79, 133].

В полевых опытах на аллювиальной почве Пензенской области гуминовые препараты Гуми – М и Гумифилд, используемые совместно с гербицидом Титус, ослабляли химический стресс. Происходило усиление активности антиоксидантной системы защиты растений, что выражалось в увеличении активности ферментов каталазы и пероксидазы, повышении устойчивости хлорофилла [14].

Одним из препаратов на основе гуминовых веществ является Лигногумат — продукт окислительно-гидролитической деструкции лигнинового сырья. Лигногумат наиболее близок к почвенным гуминовым кислотам и почти на 100% растворим в воде. Он доступен растениям и проявляет высокую биологическую активность, даже в очень малых дозах, что важно при использовании его в составе многокомпонентных баковых смесей. На черноземной почве он увеличивал урожайность ячменя на 1,6 ц с 1 га [47].

Использование гуминовых препаратов (гуматК/Na, лигногумат, бигус) в опыте совместно с гербицидом при возделывании риса сортов Флагман и Диамант способствовало длительному сохранению ассимиляционного аппарата растения в активном состоянии, повышало содержание хлорофилла в листьях, что способствовало приросту урожая зернана 15,2-15,5% по сравнению с гербицидной обработкой [114].

Представляют интерес препараты на основе аминокислот. Аминокислотные биостимуляторы в последнее время становятся наиболее перспективными антистрессовыми продуктами для растениеводства, благодаря своей биологической активности и широкому спектру влияния на метаболизм рас-

тений. Аминокислоты участвуют в биосинтезе белков и ферментов, поддерживают водный баланс клеток, стимулируют процесс фотосинтеза [124, 163]. В этих препаратах сохраняют аминокислоты входящих в состав белка растений, а также и другие биологически активные вещества (полисахариды, пептиды, белки, витамины и пр.).

В настоящее время разработаны и выпускаются за рубежом препараты Райкат, Разормин, Микрокат, Аминокат, которые находят применение и в нашей стране. Наиболее широко используется Аминокат (10 %) — жидкое органо-минеральный препарат, производимый на основе экстракта морских водорослей с добавлением макро- и микроэлементов, содержит: свободных аминокислот (10 %), в том числе глутаминовой кислоты (2,4 %), лизина (1,4 %), глицина (1,2 %), 3 % азота, по 1 % фосфора и калия.

При внесении Аминоката в смеси с послевсходовым гербицидом (аминная соль 2,4-Д), в условиях Пензенской области наблюдалось увеличение хлорофилла в листьях и активности каталазы у растений ячменя. Хлороз листьев исчезал на 5 дней раньше по сравнению с обработкой только гербицидом, урожайность зерна повышалась на 1,3 ц/га [66].

Аналогичные результаты отмечены на зерновых культурах в различных хозяйствах Краснодарского края, где при совместном использовании с послевсходовыми гербицидами, Аминокат в дозах 0,2-0,3 л/га увеличивал урожайность зерна озимой пшеницы до 5 ц/га, по сравнению с действием только гербицида.

Широкое применение в мире находит антистрессант на основе аминокислот —Терра-Сорбфолиар, разработанный испанской фармацевтической компанией «Биоберика». В составе препарата имеется 9,3% свободных аминокислот, по 2,1% общего и органического азота,14,8% органического вещества,а также набор микроэлементов. Терра-Сорбфолиар эффективно использовался в хозяйствах Краснодарского края, где при использовании в баковых смесях с послевсходовыми гербицидами, снимал негативное действие последних на растения озимой пшеницы. Были получены следующие прибавки урожая зерна — 2,8-3,5 ц/га [109]. В качестве ростостимулирующих препаратов, проявляющих антистрессовый эффект, используются природные препараты, такие как Новосил, Лариксин и другие. В Пензенской области изучалось действие Лариксина, Аминоката и Гуми-90 в баковой смеси с гербицидами Рефери +Метафор на фотосинтетическую деятельность и продуктивность яровой пшеницы сорта Нива 2. Выявлено, что наибольший эффект показала смесь указанных гербицидовс Аминокатом. Коэффициент хозяйственной эффективности возрос на 14,5% по сравнению с действием гербицидов, урожайность зерна увеличилась на 1,2 ц с 1га, менее эффективно было применение препаратов Гуми и Лариксина [66].

Изучен, зарегистрирован и находит применение биопрепарат антистрессовой активности Альбит. В многочисленных опытах по изучению сочетания и применения в баковых смесях с гербицидами показано, что препарат является универсальным антидотом, защищающим растения от неспецифического фитотоксичного действия гербицидов[45, 65]. Максимальная антидотная активность Альбита наблюдалась в баковых смесях с гербицидами 2,4-дихлорфеноксиуксусной кислоты, дикамба, клопиралид, флорасулампротив двудольных сорняков, в особенности, принадлежащих ко второму и третьему поколениям. Эффект Альбита при совместном использовании с гербицидами проявлялся в сохранности растений в период вегетации и повышении урожая: у зерновых колосовых культур на 12-23%, у гречихи на 44,9% [37, 45]. В опытах на черноземной почве применение препарата Альбит совместно с гербицидом Корсар усиливало фотосинтетическую активность ячменя, повышало его урожайность и качество зерна, а также позволило уменьшить дозу внесения гербицида [65, 102].

Исследователи отмечают, что повысить адаптивный потенциал растения и активизировать работу его защитных механизмов и отдельных ферментных систем возможно с помощью химических антистрессантов, среди которых, цинк, марганец, кремний, селен и др. [19,106,153].

В Пензенской области проведено изучение селената натрия в дозе 10⁻⁴% в баковой смеси с гербицидами Рефери и Метафор на посевах ярового ячменя. В опыте на оподзоленном черноземе было выявлено увеличение уро-

жайности зерна в среднем на 1,6 ц с 1 га, при этом, в зависимости от особенностей сорта, прибавка от антисрессанта изменялась от1,5ц у сорта Аннабель до 1,8 ц с1га [47]. В вегетационном опыте на черноземе выщелоченном выявлено влияние гербицида 2,4-Д и селената натрия на антиоксидантную систему яровой пшеницы. Показано, что селен уменьшает окисление липидов и тем самым повышает адаптивность культуры к действию токсиканта[19].

Изучалось совместное действие гербицида и препарата наоснове действующего вещества феноксапроп-диэтилаи — антидота из класса производных хлорхинолина-клоквинтоцет-мексила.

За рубежом для снижения негативного действия гербицидов на основную культуру посева используются синтетические химические препараты, такие как мефенпир-диэтил, циометринил, клоквинтос [224, 246]. Они применяются для ускорения снижения токсичного эффекта гербицидов на основную культуру, а также для повышения селективности гербицидов. Согласно результатам проведенных исследований, характер комбинированного действия клоквинтоцет-мексила ифеноксапроп-диэтиламожно определить как взаимозависимый аддитивный эффект [94].

Приведенный краткий обзор литературы свидетельствует о том, что применение антистрессантов снижает токсичное действие гербицидов на основную культуру. Вместе с тем, в литературе приводится мало сведений по изучению сравнительного действия антидотов на зерновые культуры, возделываемые в одинаковых почвенно-климатических условиях. Такие исследования позволили бы товаропроизводителям легче ориентироваться в большом ассортименте антистрессантов.

1.2 Влияние тяжелых металлов и селена на окружающую среду

В настоящее время в окружающей среде обнаруживается более 55тыс. химических соединений.Многие, из которых входят в список наиболее опасных токсичных веществдля человека, животных, растений.К наиболее опаснымтоксикантам, оказывающими сильное воздействие на сферу сельскохозяйственного производства, относят, наряду с пестицидами, тяжелые металлы.

Некоторые из тяжелых металлов являются биологически активными соединениями, жизненно необходимыми дляорганизмов [21, 128, 159]. Другие элементы не выполняют биологические функции (или их роль до конца не выяснена), но в концентрациях, превышающих фоновые (среднестатистическое содержание в незагрязненных ландшафтах), являются токсичными для человека и животных. Многие из них – канцерогены [26,31, 76, 83, 107]. Токсичность тяжелых металлов обусловлена их способностью аккумулироваться в пищевой цепи и организме человека. Они способны включаться в метаболический цикл и вызывать разнообразные физиологические нарушения, в том числе и на генетическом уровне [51, 97, 98, 142].

Многочисленными исследованиями на биологических объектах разного уровня организации показано, что соли тяжелых металлов обладают мутагенными и канцерогенными свойствами. Большинство из них представляют собой метаболические яды, действующие на энергетику клетки, фотосинтез и регуляторные процессы [73, 201, 219].

В ряду основных загрязнителей окружающей среды исследователи выделяют свинец и кадмий [1, 33, 55, 128, 168, 201]. По абсолютной величине в техногенных выбросах преобладает свинец, но если оценивать поступление тяжелых металлов в биосферу по отношению к их кларковому содержанию, то наиболее опасным элементом является кадмий, так как его ионы обладают более высокой токсичностью и канцерогенной активностью, чем ионы свинца [97, 89].

Свинец. В Российской Федерации свинец по степени опасности отнесен к 1 классу высокоопасных веществ, наряду с мышьяком, кадмием, ртутью, селеном, цинком, фтором и бензапиреном [91].Свинец поступает в окружающую среду в основном с выбросами автомобильного транспорта, металлургических и полиграфических предприятий, машиностроительных производств, производств красок, аккумуляторов и другой продукции. Источником загрязнения свинцом являютсятакже сельское хозяйство (минеральные удобрения и мелиоранты, стоки и твердые отходы животноводства,

оросительные воды) и коммунальное хозяйство (дымовые газы, бытовые твердые отходы, бытовые химикаты) [12, 97].

Среди всех источников основным и наиболее опасным загрязнителем является автотранспорт. По данным Росстата в России в 2013г. насчитывалось около 37 млн. автомобилей, в основном работающих на бензине [100].

В областях Среднего Поволжья число автомобилей достигло 2,0 млн. штук, а количество загрязняющих выбросов в атмосферный воздух 37% от общих выбросов. В воздушный бассейн Пензенской области в 2013г. поступило 138,6 тыс. т.загрязняющих веществ, из них 79,5% — выбросы автомобильного транспорта. В аэрозолях, поступающих в виде выхлопных газов автомобилей, свинец находится в виде галогенитов, в выбросах промышленных предприятий он присутствует в виде водорастворимых соединений, что создает опасность загрязнения почвы, водоисточников и растительного покрова.

Опасность свинца для человека зависит от того в каких соединениях он поступает в организм. Дело в том, что соединения свинца обладают разной токсичностью: малотоксичны органические соединения, токсичны —соли неорганических кислот (хлорид свинца, сульфат свинца и др.), высокотоксичны — алкилированные соединения, например — тетраэтилсвинец [87, 97].

В организм человека свинец поступает в основном с продуктами питания. Растения являются промежуточным звеном цепи «почва – растение – животное – человек» и способны накапливать свинец в тканях или на их поверхности[1, 97, 255]. Воздействие повышенных концентраций свинца приводит к изменению репродуктивной, нервной, сердечно-сосудистой, иммунной и эндокринной систем организма человека и животных [51].

В почвах свинец представлен соединениями, разными по доступности растениям: группой прочно связанных соединений, закрепленных в структурах первичных и вторичных минералов, а также в составе труднорастворимых солей и устойчивых органических и органоминеральных соединений. Группой непрочно связанных соединений, где металл удерживается на поверхности почвенных частиц органическими и минеральными компонентами почвы в обменном и специфически сорбированном состоянии. Непрочно свя-

занные соединения представляют наиболее важную с экологической точки зрения группу, поскольку именно эти соединения, прежде всего, поступают в растения и мигрируют в другие сопредельные среды [27,33, 76, 201].

В литературе встречаются данные о том, что закрепление почвой свинца зависит от гранулометрического состава и обеспеченности гумусом [16, 87, 120]. Доказано, что в почве свинец сильно инактивируется и теряет токсичность [38]. Особенно сильно снижают его подвижность фосфаты и гуматы в пахотных почвах. Наиболее прочная связь существует у свинца с гуминовыми кислотами. Гуминовая кислота в разы больше сорбирует его, чем другие металлы (Cu, Se, Cd) [17, 257].

Со временем свинец постепенно удаляется из почвы за счет потребления растениями, выщелачивания, эрозии. Однако установлено, что у свинца высокий период полуудаления из почв: от 740 до 5900 лет, в то время как более опасный кадмийимеет период — 13-110 лет, медь — 310-1500 лет [201].

В.Б. Ильин отмечает, что с растительной продукцией выносится основная часть поступившего свинца, абсолютная величина которой очень мала: десятки-сотни граммов на гектар [50].

В работе В.Н. Матвеева [70] показано, что вынос свинца из почвыв условиях лесостепной зоны Заволжья урожаем возделываемых сельскохозяйственных культур составляет для: гречихи 0,6 и сахарной свеклы 58г. с 1 гектара.

В опытах Т.М. Минкиной [76] при загрязнении почвы свинцом яровой ячмень выносил в действии (в среднем за 3 года) – 0,022% Рьот валового содержания в почве, в последействии – 0,018%. Это объясняется тем, что в соответствии с коэффициентом биологического поглощения свинец относится к группе элементов слабого и очень слабого захвата.

В РФ приняты временные предельно допустимые концентрации содержания свинца в сырье и продуктах: в зерне, зернобобовых, муке -0.5мг/кг; овощах свежих и свежемороженых -0.5; фруктах, ягодах свежих и свежемороженых -0.4; консервах овощных в разной таре -0.5--1.0; консервах фруктовых и ягодных -0.4--1.0; продуктах для детского питания -0.05--0.3; вине и пиве -0.3 мг/кг [91].

Свинец часто относят к «условно» необходимым элементам [49, 178, 239]. Вместе с тем, в отдельных исследованиях приводятся данные, подтверждающие необходимость этого элемента для животных и человека [1,178].

Фитотоксичное действие свинца проявляется, как правило, при высоком уровне техногенного загрязнения им почв и во многом зависит от их свойств и особенностей этого металла. В высоких концентрациях свинец, являсь сильным стресс-фактором, ингибирует дыхание и подавляет процесс фотосинтеза [56, 142, 155, 184, 213, 235], нарушает минеральное питание и водный баланс, изменяет гормональный статус и влияетна структуру мембран и их проницаемость [235, 249, 275]. Фитотоксичность свинца возрастает при выращивании сельскохозяйственных культур на низкобуферных, кислых, малогумусных почвах.

Однако офитотоксичности свинца и его влиянии на рост и развитие растений у исследователей нет единого мнения. Так, например, имеются данные, свидетельствующие о стимулирующем действии этого металла на рост и развитие растений овса на дерново-подзолистой и серой лесной почве [32, 38], озимой пшеницына черноземе. Причем в опытах с озимой пшеницей применялись концентрацииот 100 до 1000 мг/кг почвы, и свинец не оказывалтоксичного действия на показатели прорастания семян в любой из этих дозировок [16].

На темно-каштановой почве дозы свинца в 1-3ПДК не оказывали токсичного действия на растения овса и люцерны [87]. Результатыисследований, проведенных на аллювиальных дерновых почвах, показали, что токсичной для кресс-салата была концентрация свинца равная 500 мг/кг, для моркови — 1000 мг/кг почвы. В исследованиина дерново-подбурепоказан стимулирующий эффект свинца, проявляющийся при дозах Pb100-200 мг/кг[120].

В других же исследованиях отмечается токсичное действие свинца на различные культуры при концентрации ЗПДК и более, т.е. примерно 100 мг/кг [87, 99, 161, 213]. Предельно допустимая концентрация валовых форм свинца в почвах 32 мг/кг; кларк по Виноградову – 10 мг/кг.

Кадмий. По сравнению со свинцом, распространение кадмия в окружающей среде носит локальный характер [3, 90]. Он попадает в окружаю-

щую среду с локальными выбросами металлургических производств, производящих или использующих кадмий, со сточными водами (после кадмирования). Кроме того, он может быть в выбросах тепловых энергетических установок и других производств, в которых применяются содержащие кадмий стабилизаторы, пигменты, краски. Кадмий содержится в минеральных фосфорных удобрениях. Загрязнение атмосферного воздуха кадмием происходит за счет автомобильного транспорта, поскольку резина покрышек и смазочные масла содержат кадмий [3].

Большая часть кадмия, которая попадает в почву, связывается с почвенными химическими комплексами, доступными для усвоения растениями. В почвенном профиле он закрепляется менее прочно, чем свинец. Концентрация кадмия в почвах варьирует в широких пределах. Среднее содержание его лежит между 0,01 и 2,31 мг/кг почвы [69, 128]. Фоновое валовое количество в верхнем горизонте черноземных почв естественных ландшафтов составляет 0,33-0,35 мг/кг [69].При этом фоновые уровни кадмия в почвах не превосходят 0,5 мг/кг, загрязненные почвы имеют более высокие значения [222]. Кларк кадмия – 0,16 мг/кг[201].

При низких значениях pH соединения кадмия растворяются и переходят в ионную форму.При pH 6,0 кадмий присутствует в двухвалентной форме и полностью растворяется в воде при условии, что она не содержит анионов фосфора и сульфатов.

Согласно современным представлениям, кадмий не является жизненно необходимым химическим элементом. Наоборот, при повышенном поступлении кадмия и его соединений в живые организмы, они оказывают токсичное действие [1]. Кадмий способен проникать в различные органы и ткани, накапливаться в организме человека и животных, т.к. сравнительно легко усваивается из пищи и воды. Токсичное действие металла проявляется даже при очень низких концентрациях. Его избыток ингибирует синтез ДНК, белков и нуклеиновых кислот, влияет на активность ферментов, нарушает усвоение и обмен других микроэлементов (Zn,Cu,Se,Fe). Хроническое воздействие кадмия на человека приводит к нарушениям почечной функции, легочной недостаточности, остеомаляции, анемии и потере обоняния. Наиболее

тяжелой формой хронического отравления кадмием является болезнь итай-итай. Кадмий обладает канцерогенным (группа 2A), гонадотропным, эмбриотропным, мутагенным и нефротоксическим действием [1, 140, 142].

Количество кадмия в растениях составляет примерно 0,001% (на сухое вещество). Естественные (фоновые) содержания кадмия в растениях составляют (мг/кг сухого вещества): в траве -0,07-0,27, картофеле -0,03-0,30, зерне злаков -0,013-0,220 [49].

Кадмий эффективно поглощается, как корневой системой, так и листьями. В зонах повышенного содержания кадмия в почве наблюдается 20–30-кратное увеличение его концентрации в наземных частях растений по сравнению с растениями незагрязненных территорий. Кадмий может накапливаться в относительно больших количествах в генеративных органах [46, 157]. По фитотоксичности и способности накапливаться в растениях в ряду тяжелых металлов он занимает первое место: Cd>Cu>Zn>Pb.

По химическим свойствам кадмий близок к цинку, но отличается от него большей подвижностью в кислых средах и лучшей доступностью для растений. Он замещает цинк во многих биохимических процессах, что приводит к нарушению активности ферментов, участвующих в белковом, нуклеиновом и других обменах[206, 236].

Фитотоксичность кадмия для растений проявляется в ингибирующем действии на ферменты и активностьфотосинтетического процесса, нарушениитранспирации и фиксации $CO_2[6]$, изменениипроницаемости клеточных мембран, а также в ингибировании восстановления NO_2 до NO. Кадмий задерживает поступление в растения таких элементовкак цинк, медь, марганец, никель, селен, кальций, магний, фосфор [103].

Вместе с тем, в последнее время появляются данные о том, что кадмий не является строго токсичным элементом для растений и может стимулировать увеличение биопродуктивности растений [129].Внесение кадмия в дозах 0,25-2,0 мг/кг на дерново-подзолистых средне- и тяжелосуглинистыхпочвах ина черноземе выщелоченном незначительно стимулировало продуктивность растений [90].

В исследованиях на дерново-подзолистой супесчаной почве при внесении кадмия в дозах 1-3 кг/га установлена достоверная прибавка урожая горохо-овсяной смеси до 29 % [111].

На черноземе обыкновенном при содержании Cdв почве 3 и 30 мг/кг отмечалось стимулирующее действие элемента на прорастание семян и начальный рост озимой пшеницы[16].

На каштановой почвекадмий, в зависимости от его концентрации проявил либо нейтральное действие, либо угнетал прорастание семян и рост проростков пшеницы. Минимальная доза (40 мг/кг) приводила к угнетению начального роста семян (длины и массы проростков). Увеличение дозы до 80 мг/кг снижало такие показатели:всхожесть, энергию, дружность и продолжительность всходов. Концентрации 160-2500 мг/кг оказывали летальное воздействие на семена и всходы пшеницы, создавая условия невозможные для их нормального функционирования [119].

Особый интерес и важное практическое значение имеет изучение механизмовдетоксификации кадмия, а также мер по уменьшению стресса сельскохозяйственных культур выращиваемых на почвах, загрязненных кадмием.В исследованиях Т.И. Балахниной с соав. отмечается снижение токсического действия кадмия при применении кремния [7,153].

Среди других антистрессантов исследователи называют селен [18, 194], так как он входит в структуру активного центра глутантионпероксидазы – одного из ключевых антиоксидантных ферментов, который предотвращает накопление в тканях свободных радикалов, инициирующих перекисное окисление липидов [104,106, 164,169, 175, 182, 188].

В исследованиях с огурцом добавление селена в субстрат с концентрацией кадмия 25 и 50 мкМ способствовало снижениюнегативного воздействия высоких концентраций кадмия в почве [192].

Селен. Класс опасности селена варьирует в зависимости от химического соединения — от I до III класса. Многие исследователи считают селен жизненно необходимым микроэлементом для нормальной жизнедеятельности организма человека и животных [1, 10,13, 240, 258].

Свыше четырех десятков тяжелых заболеваний, в том числе: инфаркт миокарда, инсульт, диабет, болезнь Кешана-Бека, онкологические заболевания и другие могут быть вызваны дефицитомселена в рационе питания человека [1, 28, 98, 118, 240].

Исследования показывают, что селен способен влиять на антиоксидантную систему клетки. Он регулирует перекисноеокисление липидов, поддерживая тем самым концентрационный оптимум свободнорадикальных частиц. Селен участвует в регуляции белкового, углеводного и жирового обмена у животных и влияет на их продуктивность [13, 233].

Микроэлемент селен проявляет детоксицирующий эффект. Селен влияет на иммунную систему[10, 13, 23, 180,189].

Соли селена могут поступать в организм животных и человека разными путями: из почвы спродуктами растительного и животного происхождения, из воздуха, воды [24,28, 98].

Поступление и накопление селена в растениях определяются количеством и формами его в почве, реакцией почвенной среды, содержанием органического вещества, макро- и микроэлементов [19, 39, 60, 177].

Содержание селена в почвах зависит отпроисхождения и химизма почвообразующих пород, генезиса почв, количества органического вещества в них, кислотно-основных свойств, макро- и микроэлементов и других факторов. Концентрация селена в почвах варьирует в широких пределах от 10 до 1200 мкг/кг почвы [19, 115].

В растениях селен представлен в виде неорганических (селенаты, селениты) и органических специфических аминокислот – селенометионина, селеноцистина, метилселеноцистена и промежуточных соединений селенового обмена: диметилселенид, триметилселенид, селеноперсульфид, селенодиглутатион и др.[19].

На накопление селена растениями естественных и культурных ценозовилияет множество разнообразных факторов: содержание в почвах, доступность его соединений, биологические, видовые и сортовые особенности растений, их фазы роста и развития, а также погодные условия и ряд других факторов[108, 115].

Учитывая, что во многих областях и краях Российской Федерации отмечается дефицит селена в почвах и растениях, необходимо устранять недостаток этого элемента в продуктах питания[28].

Коррекция дефицита селена у населения может быть осуществлена разными путями. Наиболее дешевым является применение неорганических солей селена путем обработки семян и посевов. Вместе с тем, использование этого способа коррекции дефицита селена сдерживается, прежде всего, из-за токсичности микроэлемента, проявляющейся в сильно различающихся концентрациях, специфичных для различных видов и даже сортов растений [39, 262]. Разница между количеством селена, необходимого в качестве питательного вещества, и количеством, которое является токсичным, очень мала. Дефицит и токсичность селена — общие проблемы по всему миру [237, 241, 261].

Согласно принятым нормативам внашей стране содержание селена в основной продукции зерновых и зернофуражных культур не должно превышать 500 мкг/кг в пересчете на сухую массу.

Установлено воздействие низких концентраций селена на увеличение адаптивного и продуктивного потенциала сельскохозяйственных культур. Величина стимулирующего эффекта определяется биологическими особенностями растений, дозами селена, способами его применения.

В условиях лесостепи Среднего Поволжья оптимальной дозой селена при обработке семян ярового ячменя и пшеницы принята доза 10^{-4} %. Растворы высоких концентраций (10^{-1} и 10^{-2} %)полностью останавливали митоз и замедлялиростовые процессы [19]. При выращивании конопли в водной культуре концентрация Se 59,91мМ ингибировала ростовые процессы [108].

В опытах на дерново-подзолистой почве выявлены сортовые различия в отзывчивости пшеницы на применение селена, а также определены уровни обогащения растительной продукции при использовании предпосевной обработки семян солями селена и опрыскивании вегетирующих растений[112]. Сравнение разных способов применения селена показало, что опрыскивание

вегетирующих растений пшеницы дало наибольший эффект по накоплению селена в зерне в отличие от предпосевной обработки семян [139, 204].

Обработка растений ячменя селенитом натрия в концентрации 0,05% увеличивало биомассу растений, массу основной продукции и выполненность зерна [22, 34, 185]. Селен усиливал рост растений сои, увеличивая в листьях концентрацию хлорофилла [169].

В многочисленных исследованиях отмечается, что селен адаптоген, который способен снижать воздействие различных абиотических факторов, в частности засухи [60, 105, 112,144, 181, 186, 198, 238].

Имеется ряд сообщений о том, что микроэлемент селен проявляет свойства антистрессорного агента, участвуя в формировании устойчивости растений к низким и высоким температурам [60], к свету повышенной интенсивности [106, 231], тяжелым металлам [172, 175, 200, 213].

Для сельскохозяйственных культур важным аспектом является способность селена положительно влиять на повышение работы фотосинтетического аппарата. В ряде работ отмечается участие селена в продуцировании хлорофилла за счет взаимодействия с SH-группами ферментов, участвующих в его синтезе, тем самым оказывая влияние на физиологические процессы [18, 93, 122, 191, 201, 242].

Приведенный краткий обзор литературы позволяет заключить, что, несмотря на многочисленные исследования по изучению действия гербицидов и тяжелых металлов — свинца и кадмия — на растения, вопрос об их фитотоксичности остается до конца невыясненным, что связано с особенностями условий в разных регионах страны. Мало данных и о применении антистрессантов при загрязнении агроценозов пестицидами и тяжелыми металлами.

Недостаточно исследована роль селена как антиоксиданта при загрязнении чернозёмов свинцом.

Поэтому важно было изучить всравнении влияние разных препаратов, снижающих негативное действие токсикантов непосредственно в условиях конкретного региона. Это и предопределило проведение наших исследований в правобережной лесостепи Среднего Поволжья.

ГЛАВА 2.УСЛОВИЯ, ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

2.1 Абиотические и эдафические особенности района исследований

Исследования проводились в правобережной лесостепи Среднего Поволжья с 2013 по 2015 год в условиях Пензенской области. Территории её, а также Ульяновской, Самарской, Саратовской и других областей и республик входит в состав Приволжского федерального округа — крупного промышленного и сельскохозяйственного региона России, производящего более 25% всего российского зерна при невысокой урожайности. Так, в 2014 г. средняя урожайность зерновых культур по региону составила 18,3ц, при средней урожайности 22,6 ц с 1 га по Российской Федерации [100].

Территория Пензенской области на северо-западе и северо-востоке входит в лесную, а на юге — в степную зону. Большая же её часть расположена в лесостепи на западном склоне Приволжской возвышенности, переходящей на западе в Окско-Донскую низменность [20]. Протяженность территории между 42 и 47° восточной долготы — 330 км, между 54 и 52° северной широты — 204 км.

Климам умеренно-континентальный, характеризуется повышением температуры в летний период года с севера на юг, усилением морозности в зимний период с запада на восток, а также уменьшением количества осадков и повышение засушливости с северо-запада на юго-восток [63]. В целом же климату свойственны резкие температурные контрасты, дефицит влаги, интенсивная ветровая деятельность, высокая инсоляция.

Осадки сильно варьируют как по годам и месяцам, так и по отдельным периодам вегетации сельскохозяйственных культур. Годовое количество осадков колеблется от 410 до 550 мм. До 70% осадков выпадает в теплый период года. В среднем за вегетационный период с температурой выше +10°C осадки составляют от 208 до 275мм[2]. Годовое количество осадков на территории области сопоставимо с величиной испаряемости. Однако по-

верхностный сток (15-20% осадков) и нерегулярность их выпадения обусловливают неустойчивость увлажнения [63].

Гидротермический коэффициент (ГТК), характеризующий влагообеспеченность сельскохозяйственных культур, изменяется в пределах области от 0.9 до 1,1. Влагообеспеченность составляет для ранних яровых — 60-70%, для озимых культур — 70-90% от оптимальной обеспеченности влагой. Запасы продуктивной влаги в слое 0-100см к моменту перехода среднесуточной температуры воздуха через +5°C составляют 125-175мм [2].

Засухи и суховеи, обычное явление в лесостепной зоне Среднего Поволжья. Средние и сильные засухи наблюдались в Пензенской области за период с 1890 г. по 2012г. 52 раза [58]. Они характерны для весенне-летнего периода, что является одним из негативных экологических факторов для формирования продукционного процесса зерновых и других сельскохозяйственным культур. Особенно сильно от них страдают яровые зерновые культуры, в меньшей степени – озимые.

Условия перезимовки озимых во многом зависят от высоты снежного покрова, которая в среднем составляет 30-40 см. Постоянный снежный покров образуется в основном в конце ноября и сохраняется 128-135 дней, достигая максимальной высоты в первой декаде марта.

Годовая температура воздуха колеблется от 3.2° до 4.6° С. В течение года она изменяется от -11 - -13° в январе и до +19 — $+20^{\circ}$ С в июле. Сумма эффективных температур выше 10° С, при которой происходит активный рост и развитие растений, составляет $2200-2400^{\circ}$ С [2].

Погодные условия в годы проведения исследований соответствовали приведенной выше климатической характеристике. Неравномерность выпадения осадков и повышенные температуры в период прохождения зерновыми культурами основных фаз развития отражали климатические особенности Среднего Поволжья.

В связи с тем, что изучалось влияние антистрессовых препаратов на продукционный процесс зерновых культур при послевсходовой гербицидной

обработке, на рисунке 1,в таблице 1 и в приложении 1 данные погодных условий представлены за весенне-летний период.

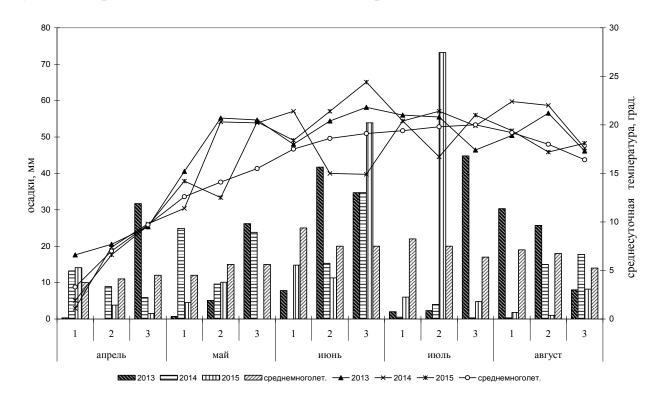


Рисунок 1 – Погодные условия 2013-2015 гг.

Таблица 1 — Гидротермический коэффициент в межфазные периоды вегетации зерновых культур в условиях Пензенской области

M. I.,	Годы исследования					
Межфазные периоды	2013	2014	2015			
Яровая пшеница						
Посев - всходы	2,53-	0,51	0,47			
Всходы-кущение	0,05-	1,20	0,21			
Кущение- выход в трубку	2,12-	0,06	0,11			
Выход в трубку-колошение	1,34-	1,82	0,17			
Колошение- молочная спелость	0,55-	0,68	1,80			
Молочная-полная спелость	1,86-	0,11	0,70			
В среднем за вегетацию	1,38	0,79	0,58			

Анализ данных показал, что гидротермическая ситуация в годы исследований существенно различалась.

2013 год был благоприятным для роста и развития зерновых культур. Запасы влаги обеспечивались за счет осадков, как осеннее - зимнего, так и

весенне-летнего периода. Сумма активных температур за вегетацию пшеницы составляла 2214°C, гидротермический коэффициент (ГТК) – 1,38.

В вегетационный период 2014 и 2015гг. отмечалась высокая температура воздуха и неравномерное выпадение осадков. ГТК составил 0,79 и 0,58 соответственно, что и определило урожайность зерновых культур.

Эдафические особенности. По данным Росреестра земельный фонд Пензенской области на 1 января 2015г. имел площадь в 4335,2 тыс. га, в том числе: 3072,9 — сельскохозяйственные угодья, 964,5 — земли лесного и 14,8 — водного фонда, 283,0 тыс. га — прочие земли (рис. 2)

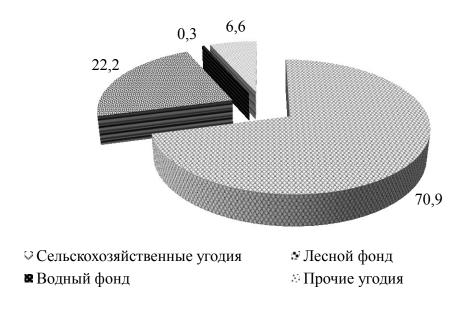


Рисунок 2 – Земельный фонд Пензенской области

Почвенный покров области сложен, что обусловлено большим разнообразием физико-географических, геоморфологических и климатических условий, почвообразующих пород, типов растительности [61, 127].

В формировании почв в основном принимал участие дерновый процесс, где ему благоприятствовали природные условия, поэтому наибольшее распространение получили черноземы (выщелоченные, оподзоленные, типичные). Площадь черноземных почв составляет 2205,4 гектаров или 50,7% от общей территории области. Среди черноземов 80,8 % занимают черноземы выщелоченные [61, 127].

Черноземные почвы приурочены к тем элементам поверхности, в пределах которых исторически находились северные (луговые) степи. Вместе с тем, проявляется закономерное изменение характера почвенного покрова при движении с севера на юг.Так, в северных районах западной части области наиболее широко распространены оподзоленные и выщелоченные черноземы.В центральных и южных районах преобладают выщелоченные и типичные черноземы [61].

Активная хозяйственная деятельность человека на протяжении последних столетий, начавшаяся на территории Пензенской области с конца XVII века, обеспечила вмешательство человека в почвообразовательные процессы и предопределила изменение свойств зональных почв.

Анализ современного состояния земельных ресурсов и динамики свойств почв показывает, что в сельскохозяйственных экосистемах наметилась устойчивая тенденция к деградации почв: усиление эрозионных процессов, дегумификация, дисбаланс гумуса и питательных элементов, переуплотнение почвенного профиля, сокращение мощности гумусового горизонта, подкисление и т.д. [16].

Главной причиной деградации почв является усиление экологических противоречий в землепользовании в результате незнания или (что чаще) игнорирования экологии почв и отсутствия системы экологических ограничений, а также из-за усиления антропогенного загрязнения почв химическими веществами.

Почва — уникальное природное тело, от экологических свойств которого зависит будущее человечества. Поэтому знание экологии почв, ландшафтов имеет значение для эффективного решения проблем плодородия на основе адаптивного земледелия и увеличения продуктивности сельскохозяйственных культур[88].

Изучение общих химических свойств почв Пензенской области выявило тенденцию к неполной насыщенности почвенного поглощающего комплекса (ППК) основаниями в верхней части пахотных оподзоленных и выще-

лоченных черноземов. При длительном сельскохозяйственном использовании черноземов в верхних горизонтах происходит возрастание величины соотношения кальция к магнию до 6:1 против 5:1 в целинных разностях, вследствие вытеснения их водородом.

По данным ГЦАС «Пензенский» по области черноземные почвы в основном имеют средне- и слабокислую реакцию (рН от 4,6 до 5,5), вместе с тем, зарегистрированы черноземы даже с сильнокислой реакцией среды.

Гидролитическая кислотность (Нг) в пахотном слое черноземов оподзоленных изменяется от 4,2 до 8,4 мг-экв./100г почвы, выщелоченных — от 5,6 до 8,0 мг-экв./100г почвы.

На 1января 2015 года около 78% всех почв имеют кислую реакцию, разной степени кислотности.

Анализ содержания тяжелых металлов (определенных 1н HNO₃) в почвах области выявил, что в среднем 96,6-99,5% площадей по содержанию валовых форм свинца, меди, кадмия, марганца, ртути и цинка — 81,8% относятся к первой группе, т.е. такое их количество не представляет опасности для накопления в сельскохозяйственной продукции. Исключение составляет никель, по содержанию которого 67,9% обследованной площади относится во второй группе, а на 8,6% — отмечается превышение ОДК.

Нами были проанализированы данные, полученные сотрудниками ГЦАС «Пензенский» при обследовании почв 60 хозяйств в разных районах области.

Анализ содержания тяжелых металлов в почвах указывает на пространственную неоднородность их распределения в основных типах почв (табл.2). Несмотря на то, что среднее содержание не превышает предельнодопустимый уровень, на отдельных полях отмечаются высокие концентрации кадмия, никеля и свинца.

Наименьшая вариабельность характерна для ртути, максимальное содержание которой превышает минимальное на 8% в черноземах и в 1,8 раза в серых лесных почвах; наибольшая – для цинка 7,5 раза.

Таблица 2 — Содержание тяжелых металлов в почвах Пензенской области, мг/кг почвы

	Черноземы			Серые лесные почвы			
Металл	min (n=67)	max (n=228)	среднее	min (n=195)	max (n=98)	среднее	
Медь	10,6	18,6	16.8	2,5	17,0	7.4	
Цинк	31,2	71,7	64.8	7,0	89,0	34.4	
Кадмий	0,17	0,41	0,36	0,3	0,48	0,36	
Свинец	11,2	47,0	38.9	2,5	20,0	8.4	
Никель	19,1	54,3	46,1	11,0	55,0	25.9	
Марганец	364	533	495	132	540	268	
Ртуть	0,020	0,027	0,025	0,005	0,009	0,007	

Внутри подтипов черноземов выявлены определенные различия в содержании валовых форм ТМ. Наименьшее количество марганца и ртути характерно для чернозема типичного; марганца, меди и кадмия — для чернозема оподзоленного; свинца, цинка и ртути — для чернозема выщелоченного.

Причина выявленных особенностей может основываться на различиях, обусловленных как почвообразовательным процессом, так и антропогенными причинами, а именно — разной интенсивностью сельскохозяйственного про-изводства и поступлением тяжелых металлов с удобрениями и аэральным путем.

Анализ содержания ТМ выявил зависимость накопления их от гранулометрического состава почв. Данные показывают, что в черноземах среднесуглинистого гранулометрического состава максимальное содержание меди превышает ПДК в 1,1 раза, цинка — в 1,6 раза, никеля и кадмия — в 2 раза. В тяжелосуглинистых почвах содержание свинца, кадмия и марганца составляет от 62 до125% от ПДК.

Данные, полученные в результате наблюдений на реперных участках локального мониторинга (с 1994г.), показали изменения содержания тяжелых металлов в пахотном слое почв (табл.3).

Таблица 3 — Изменения содержания свинца, кадмия и ртути в пахотном слое почв реперных участков за 20лет наблюдений

		Содержание тяжелых металлов, мг/кг почвы					
Хозяйство	Почва	кадмий		свинец		ртуть	
		1994	2014	1994	2014	1994	2014
		Период с 1994г. по 2014г.					
ОАО «Мокшан- ский»	Чернозем выщелоченный тяжелосугинистый	0,22	0,50	11,0	14,6	0,023	0,021
ЗАО «Колыш- лейскийхлеб»	Чернозем выщело- ченный среднесу- глинистый	0,23	0,43	11,7	12,6	0,029	0,021
ООО «Учхоз»	Чернозем выщело- ченный глинистый	0,29	0,35	11,5	12,3	0,023	0,023
ООО «Бумеранг»	Чернозем оподзо- ленный среднесу- глинистый	0,16	0,49	19,7	13,2	0,022	0,027
ОНОППЗ «Па- челма»	Чернозем оподзо- ленный глинистый	0,19	0,27	13,9	139	0,025	0,021
ООО РАО «Наровчатское»	Чернозем оподзо- ленный суглини- стый	0,16	0,76	14,2	14,6	0,021	0,019

Полученные данные характеризуют проблемную экологическую ситуацию черноземов области по загрязнению тяжелыми металлами, особенно кадмием. В отдельных случаях при двадцатилетнем использовании почв загрязнение превышает начальные значения в 2-5 раз.

Изучение содержания селена в почвах области показало, что его количество в верхних горизонтах варьирует в пределах от 59 до 501 мкг/кг почвы. В исследованиях выявлена зависимость аккумуляции селена от подтиповых особенностей этих почв (табл.4).

В рамках имеющейся выборки, почвы основных подтипов чернозема можно расположить в следующей последовательности по мере уменьшения содержания в них микроэлемента: чернозем типичный $(335\pm15 \text{ мкг/кг}) > \text{вышелоченный}$ $(153\pm16) > \text{оподзоленный}$ $(92\pm8 \text{ мкг/кг})$.

Пахотные почвы по содержанию селена можно охарактеризовать следующим образом: чернозем типичный имеет оптимальное количество микро-

элемента, чернозем выщелоченный – недостаточное, а чернозем оподзоленный находится в зоне селенодефицита (по шкале, предложенной J.Tan) [258].

Таблица 4 — Среднее содержание валового селена в почвах Пензенской области (В.А.Вихрева, Надежкина Е.С.и др., 2015)

	Глубина		Содеря	жание сел	іена, мг /кі	г почвы		
Почва	взятия образ-	n	min	max	среднее	отклоне- ниеот		
	ца,см		111111	1110/1	Среднее	среднего		
		че	рнозем					
оподзоленный	0-25	16	68	230	126	7,2		
выщелоченный	0-25	29	63	267	164	16,1		
типичный	0-30	10	230	303	258	17,9		
	c	ерые ло	есные почв	Ы				
светло-серая	0-12	8	78	124	93	6,3		
серая	0-18	17	65	167	109	5,9		
темно-серая	0-20	16	96	254	126	8,7		
	аллювиальные							
дерново-	0-20	3	62	330	157	4,1		
подзолистая	0 20		02	330		1,1		

Полевые исследования проводились нами в ОАО «Петровский хлеб» на типичной почве Среднего Поволжья — черноземе выщелоченном среднемощном тяжелосуглинистом, пахотный слой которого характеризовался следующими агрохимическими показателями: содержание гумуса 5,07-6,19% (по Тюрину в модификации ЦИНАО, ГОСТ 26213-91), подвижных форм — азота 106-111мг/кг (по Корнфилду), фосфора — 80-93, калия — 117-140 (по Чирикову), свинца — 15,6-17,9мг/кг, кадмия — 0,38-0,47 мг/кг (ГОСТ 30692-00), селена 59-134 мкг/кг почвы (МУ 4. 1.044-95); рНкс1 5,0-5,39 (потенциометрически, ГОСТ 26483-85), Нг — 4,95-5,07мг-экв. (ГОСТ 26212-91), сумма поглощенных оснований 27,6-30,7 мг-экв./100г почвы (ГОСТ 27821-88).

Почва в опыте характеризовалась как слабокислая, имеющая низкое содержание доступного азота, среднее — фосфора и селена, повышенное — калия. Содержание валовых форм свинца и кадмия ниже ПДК. Обеспеченность гумусом и подвижными формами элементов минерального питания позволя-

ет рассчитывать на получение высокой урожайности зерновых культур при минимальных затратах минеральных удобрений.

2.2 Общие условия проведения опытов и объекты исследований

Изучение влияния антистрессовых препаратов на продукционный процесс зерновых культур у стрессовых условиях, вызванных гербицидной обработкой посевов и загрязнением почв тяжелыми металлами, осуществлялось в полевых, вегетационных и краткосрочных лабораторных опытах.

Опыты проводились по общепринятым методикам: полевые по Б.А. Доспехову [35], вегетационные опыты – по З.И. Журбицкого [40].

Полевой опыт по выяснению действия антистрессантов при гербицидной обработке посева ранних зерновых культур проводились в вегетационные периоды 2013-2015гг. Объектами исследования были яровая пшеница (Triticum aestivumL.) сорта Тризо и яровой ячмень (Hordeum vulgarL.) сорта Эксплоер.

Посевы обрабатывались гербицидом Прима (доза 0.5 л/гa) и его смесью с препаратами, имеющими разный химический состав, в период трёх листьев - кущения растений. Схема опыта: 1. контроль-1 — ручная прополка, 2. контроль-2 — без прополки, 3. гербицид, 4. гербицид + селенат натрия (200 мг/гa), 5. гербицид + селенит натрия(200 мг/гa), 6. гербицид + гуми-90 (0.175 кг/гa), 7. гербицид + мегафол (0.7 п/гa).

Общая площадь делянок -20 m^2 , уборочная -5m^2 , размещение вариантов рендомизированное, повторность в опытах трехкратная.

Агротехника в опыте общепринятая в хозяйстве. Предшественником яровой пшеницы и ячменя была озимая пшеница. Характеристика сортов представлена в приложении 2.

Мелкоделяночный двухфакторный опыт по изучению формирования продукционного процесса озимой пшеницы сорта Скипетр при использовании селената натрия на почве, загрязненной свинцом, был проведен в вегетационный период 2012-2013 гг. и 2013-2014гг. на делянках площадью 1 m^2 .

Схема опыта $(4\times3)\times5$, где фактор A— фоны: 1. контроль—естественный почвенный фон, 2. Pb 50 мг/кг, 3. Pb 150 мг/кг, 4. Pb 350 мг/кг почвы; фактор В— варианты: 1 вода, 2.Se 0,4 мг/кг, 3. Se 0,8 мг/кг почвы.

Использовали: свинец в форме Pb $(NO_3)_2$, селен – селената натрия – Na_2SeO_4 . Свинец и селен растворяли в одном литре дистиллированной воды и равномерно разбрызгивали ручным опрыскивателем по поверхности в соответствие со схемой опыта и заделывали в почву на глубину 10-15 см за два месяца до посева пшеницы. Пшеницу высевали семенами, обработанными препаратом Максим Стар $(1\kappa \Gamma/T)$.

В опыте определяли: всхожесть и сохранность растений после перезимовки, структуру урожая, в урожае – содержание белка, клейковины в зерне, свинца и селена в зерне и соломе.

Почва в опыте — чернозём выщелоченный среднесуглинистый содержал гумуса 6,19%, подвижных форм: $N_{\text{шг}}$ — 111 мг/кг (по Корнфилду), P_2O_5 — 93 и K_2O — 140 (по Чирикову), валовых форм Se — 59 мкг/кг, Pb 15,6 мг/кг; сумма поглощенных оснований (S) — 30,7 мг-экв. (по Каппену-Гильковицу), pHkcI— 5,1; Hг — 4,95 мг-экв./100г почвы (Каппену).

Двухфакторный вегетационный опыт № I по изучению действия разных по химическому составу гербицидов и их сочетаний с антистрессантами на формирование продукционного процесса яровой пшеницы сорта Тризо, проводился в вегетационный период 2014 г. в условиях естественного фотопериода, температуры и освещенности.

Опыт закладывался в сосудах, вмещающих 5кг воздушно-сухой почвы, взятой из пахотного слоя контрольного варианта (№1) полевого опыта. Высевали по 20 стерилизованных 3% H_2O_2 зерен в каждый сосуд, после всходов оставляли по 15 растений, которые выращивали до полной спелости зерна.Схема опыта $(3\times7)\times6$, где фактор А — фоны: 1. вода; 2. —гербицид Диален Супер (в дозе 0,5 л/га); 3. гербицид Прима (0,5л/га); фактор В — препараты:1. вода-контроль; 2. гербицид; 3.гербицид+селенатнатрия; 4.гербицид + селенит натрия; 5.гербицид + гуми-90; 6.гербицид + мегафол, 6.гербицид + гуми-90,

7. гербицид + силиплант. Дозы препаратов те же, что и в полевых опытах. Расход рабочей жидкости 10мл/сосуд.

Повторность в опыте шестикратная. Характеристика гербицидов и препаратов приведена в приложении 3.

В краткосрочном вегетационном опыте №2 в 2015г. изучалось действие селена на почве, загрязненной свинцом. Определялись ростовые и биохимические показатели яровой пшеницы сорта Тризо: высота и биомасса надземных органов, содержание хлорофилла (a+b), длина и биомасса корней; содержание свободного пролина, интенсивность перекисных процессов (по ТБКРп), активность ферментов: супероксиддисмунтазы, глутатионредуктазы, аскорбатпероксидазы и гваяколпероксидазы.

Свинец вносили в почву в дозах 50мг (Pb1), 100мг (Pb2) в виде $Pb(NO_3)_2$, селен -0.4 (Se1) и 0.8 (Se2) мг 1кг почвы в виде Na_2SeO_4 . Соли растворяли в 1 л дистиллированной воды.

Почва в опыте — чернозём выщелоченный среднемощный тяжелосуглинистый — содержал: гумуса 5,17 %, подвижных форм: Nшг — 106 мг/кг, P_2O_5 — 80 мг, K_2O — 93 мг/кг почвы; валовых форм свинца — 15,6 мг1кг (в 1н HNO_3), селена 59 мкг/кг почвы; pH_{KCl} — 5,1, Hг — 4,95 мг-экв, сумма поглощенных оснований — 27,6 мг-экв /100 г почвы.

Семена пшеницы промывали в водопроводной воде, подсушивали, а затем стерилизовали 3% H_2O_2 в течение 10 минут, после чего замачивали в дистиллированной воде 24 часа. Проращивали на влажной фильтровальной бумаге в темноте 2 суток, затем, при контролируемых условиях: 14 часов свет/10 часов темнота (освещение 200 мкмоль ${\rm M}^{-2}$ ${\rm c}^{-1}$), при температуре 20° С днем и 18° С ночью. Исследовались 14-ти суточные растения и листья в фазу молочной спелости.

В кратковременном лабораторном опыте изучалась стрессрезистентность яровых зерновых культур — мягкой пшеницы сортов Кинельская 59, Тризо, Фаворит и ячменя — Одесский 100, Аннабель и Сурский фаворит к действию тяжелых металлов свинца, кадмия, а также металлоида селена на начальных этапах онтогенеза.

Стрессовая ситуация была смоделирована обработкой семян растворами уксуснокислого свинца – $(CH_3COO)_2Pb$ в концентрации 50мг/л (Pb), сульфата кадмия – $3Cd(SO_4)$ $8H_2O$ – 3мг/л (Cd), селената натрия Na_2SeO_4 – 2 мг/л (Se).

Стерилизованные семена предварительно проращивались в кюветах между слоями фильтровальной бумаги, увлажненной водой и сооьветствующими растворами металлов и селена в течение трех суток в темноте, затем растения выращивались 11 дней при температуре 20-22°C и фотопериоде 14/10 часов (использовались люминесцентные лампы ЛБ-40). На 15-е сутки по 10 растений переносили в сосуды и выращивали в гидропонной культуре на питательной смеси Кнопа в бумажных рулонах.

Схема опыта следующая: 1. вода — контроль; 2.селен; 3.свинец; 4. кадмий; 5. селен+ свинец; 6.селен+ кадмий.

Устойчивость растений к металлам определяли по всхожести семян, морфометрическим показателям ростков и корней, общей и рабочей поверхности корневой системы, сырой массе на 35-ый день. Биологическая повторность в опыте шестикратная, аналитическая трехкратная.

2.3 Методы лабораторных анализов и расчётов

При проведении лабораторных анализов использовались следующие методы. Морфометрические показатели — длина корней и проростков, их масса определялись по ГОСТу 12036-66, общая и рабочая адсорбирующая поверхность корневой системы по Д.А. Сабинину - И.И. Колосову [116], энергия прорастания семян и всхожесть ГОСТ 12038-84;сырая и сухая биомасса растений весовым методом; фотосинтетический потенциал, чистая продуктивность фотосинтеза, коэффициент хозяйственной эффективности по Ничипоровичу [82],площадь листовой поверхности по Кумакову [62].

Фотосинтетические пигменты (хлорофилл a и b) в листьях [116, 117] по оптической плотности в вытяжке 80% ацетоном на спектрометре СФ-46 при длине волн 665и 649 нм и хлорофилл (a+b) по методу Lichtenthaler и Wellburn

[217] при длине волн 470,645и 663 нм на сектрофотометре «Hitachi-557» (Киото, Япония).

Накопление свободного пролина оценивали по методу L. Bates etal. [155]. Степень окрашивания экстракта определяли на спектрофотометре СФ - 46 при длине волн 520 нм. Концентрацию пролина рассчитывали по стандартной кривой. Анализ выполнен в лаборатории Пензенского ГУ при поддержке и помощи доктора биологических наук А.П. Стаценко.

Активность антиоксидантных ферментов определяли в ИнститутеФундаментальных проблем биологии РАН. Помощь в определении активности ферментов оказала кандидат биологических наук Т.И.Балахнина.

Для приготовления грубого гомогената и ферментативных экстрактов брали 0,5г листьев и корней пшеницы сорт «Тризо» и гомогенизировали вручную в ступке с 4,5мл охлажденного 30мМ К / Na-фосфатного буфера (рН 7,4), содержащим 0,1мМ ЭДТА, 2% PVP (М.м. 25 000). Гомогенаты фильтровали через нейлоновую ткань и часть центрифугировали при 5000 g в течение 20 минут.

Супернатант использовали для оценки интенсивности перекисных процессов, тестируемых по содержанию продуктов, реагирующих с тиобарбитуровой кислотой, которые оценивали методом Uchiyama and Mihara [225], а также, для определения активности аскорбатпероксидазы методом, предложенным Y. Nakano и K. Asada [229], глутатионредуктазы по Foyer и Halliwel [179] по глутатион-зависимому окислению НАДФ·Н при 340 нм (коэффициент экстинции 6,22 мМ·см⁻¹) и гваяколпероксидазы спектрофотометрически по окислению гваякола [23].

Вторую часть гомогената центрофугировали при 11000 g в течение 20 мин, супернатант использовали для определения активности супероксиддисмунтазы по С.М. Giannopolitis и S.K. Ries [183]. Определение каталазы и пероксидазы проводили по методуБояркина [116].

Методы определения свободного пролина и ферментов представлены в приложении 4.

Структуру урожая определяли по «Методике государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур» [71]. Для характеристики донорно-акцепторных отношений рассчитывали следующие соотношения: массы колоса к массе листьев и массы колоса к массе побега в период молочной спелости зерна.

Тяжелые металлы в почве и биомассе растений определяли в ГЦАС «Пензенский» методом атомно-адсорбционной спектрометрии [74], определение в растениях свинца и кадмия (ГОСТ 30692-00), подготовка образцов к анализу проводилась по ГОСТ 26929-94 и 30178-96. Анализы выполнены на атомно-адсорбционном спектрофотометре Спектр-5-1(Россия). В зерне и соломе пшеницы свинец определяли методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (МС ИСП) на масс-спектрометре Nexion 300D (PerkinElemer, США). Селен— флуорометрическим методом с 2,3 диаминонафталином (МУ 4.1.044-95) на приборе Флюорат 0,2-3 М.

Содержание белка – расчетным методом (азот по Къельдалю, умноженный на коэффициент 5,7 по И.Н. Конареву); количество клейковины (ГОСТ 135861-68), массу 1000 зерен (ГОСТ 12042-80).

Оценка уровня засоренности посева в полевых опытах проводилась количественным методом [36] дважды – перед обработкой посева гербицидом и перед уборкой урожая.

Результаты экспериментов обрабатывались статистическими методами математического анализа по общепринятым методикам [35, 138] с использованием программ «Statistica» и «Statgrafica».

ГЛАВА З ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ФОТОСИНТЕТИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ РАСТЕНИЙ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ АНТИСТРЕССОВЫХ ПРЕПАРАТОВ В ГЕРБИЦИДНОЙ ОБРАБОТКЕ ПОСЕВОВ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР

Необходимость в проведении экологической оценки фотосинтетической деятельности растений обусловлена тем, что при обработке посевов зерновых культур послевсходовыми гербицидами в первую очередь подвергается их негативному воздействию фотосинтетический аппарат.

Поддержание фотосинтетического аппарата в работоспособном состоянии крайне важно, так как экологическое благополучие биосферы, вплоть до возможности существования человеческой цивилизации, определяют как раз зеленые растения посредством фотосинтеза [77].

Продукционный процесс растений зависит от взаимодействия фотосинтеза и ростовых процессов [77, 81, 195, 199, 207, 221]. По масштабам и интенсивности роста можно судить о реализации программы урожая, о степени оптимизации условий его получения [134].Растущие органы создают центры мобилизации и потребления продуктов фотосинтеза, одновременно оказывая влияние на интенсивность фотосинтеза. Получение высоких урожаев в результате усиления ростовых процессов растений возможно лишь при наличии интенсивной работы фотосинтетического аппарата.

В настоящей работе сделана попытка проанализировать влияние обработки посева яровой пшеницы и ярового ячменя послевсходовыми гербицидами и их комбинациями с препаратами разного химического состава на некоторые показатели фотосинтетической деятельности растений.

3.1 Формирование площади ассимиляционной поверхности растений зерновых культур при использовании антистрессантовв условиях гербицидного стресса

Исследователи считают, что одним из важнейших аппаратов взаимодействия растительного ценоза с внешней средой, посредством которого идет транспирация, происходит углеродное питание и улавливание ФАР, является лист. Выполняя такие важные функции, лист развивается в строгом соответствии с состоянием внешней среды, с её производительной способностью [82, 260]. Поэтому одним из главных условий хорошей фотосинтетической деятельности растений является быстрое достижение оптимальной для данной культуры площади ассимиляционной поверхности листьев и удержание её в таком состоянии длительное время [57, 62, 121].

На ход формирования и продолжительность работы листьев оказывает влияние большое число факторов: абиотических, биотических, агротехнических, организационно-хозяйственных и других. Кроме того, формирование площади листьев зависит от видовых, сортовых, физиологических особенностей растений. Таким образом, ассимиляционная поверхность листьев является показателем реакции растения на экстремальные экологические воздействия.

В 2013-2015 гг. изучалось формирование площади листовой поверхности растений яровой пшеницы, а в 2015 году и ярового ячменя в условиях стресса, вызванного гербицидной обработкой посевов. Проведение одновременно опыта с яровой пшеницей и ячменем ставило цель выяснить действие препаратов-антистрессантов в зависимости от видовых особенностей культур в одних и тех же агрометеорологических и почвенных условиях.

Полученные данные свидетельствуют о том, что растения яровой пшеницы и ярового ячменяв в условиях правобережной лесостепи Среднего Поволжья, независимо от их биологических особенностей и абиотических условий, активно наращивали площадь листовой поверхности с фазы кущения до колошения.

Яровая пшеница. В опыте с яровой пшеницей наибольшего размера площадь листьев достигала к периоду колошения, а далее листовая поверхность уменьшалась (табл.5). Рост листьев зависел не только от особенностей культуры, но и от абиотического фактора — температурного и влажностного режимов (табл.6, прилож.5, 6).

Таблица 5— Динамика формирования площади ассимиляционной поверхности листьев растениями яровой пшеницы в среднем за 2013-2015гг. (полевой опыт)

Вариант	Ассимиляционная поверхность листьев по фазам развития яровой пшеницы, см ² / 1растение						
Вариант	кущение	выход в трубку	колошение	молочная спелость			
Контроль 1	14,4	33,3	91,4	79,9			
Контроль 2	14,4	30,4	71,7	60,3			
Гербицид	14,5	30,8/	82,8	74,3			
Γ ербицид + Na_2SeO_4	14,3	33,7	96,7	90,7			
Γ ербицид + Na_2SeO_3	14,5	32,4	96,1	84,3			
Гербицид + гуми-90	14,5	33,1	93,5	83,3			
Гербицид + мегафол	14,5	33,9	101,4	92,5			
В среднем	14,4	32,5	90,5	80,8			
HCP ₀₅	0,047	1,06	2,62	2,17			

Таблица 6— Динамика формирования площади ассимиляционной поверхности листьев растениями яровой пшеницы независимо от изучаемых приемов (полевой опыт)

Годы проведения		Ассимиляционная поверхность листьев по фазам развития яровой пшеницы, см ² / 1растение							
исследований	илление	выход в	колошение	молочная					
	кущение	трубку	колошение	спелость					
2013	18,4	51,9	119,5	107,6					
2014	14,9	21,5	81,0	67,3					
2015	10,0	24,1	71,0	67,4					
В среднем за Згода	14,4	32,5	90,5	80,8					

Наиболее благоприятные условия формирования листовой поверхности были в 2013году. Осенне-зимние осадки обеспечили достаточные запасы

влаги. Температура воздуха в апреле и начале мая месяцев, превышающая среднюю годовую норму на+3,9°C, создали хорошие условия для всходов и кущения пшеницы, роста ассимиляционной поверхности растений. Вторая половина вегетации пшеницы также проходила в благоприятных для развития культуры условиях, что обеспечило хороший рост листовой поверхности и более продолжительный период её работы. Независимо от изучаемых препаратов и гербицида, ассимиляционная поверхность листьев в фазу колошения в среднем составила 119,5см²на 1 растение, в фазу молочной спелости она уменьшилась до 107,6 см² или на 10,0% (рис. 3).

В 2014 году погодные условия были более жесткие в начале вегетации зерновых культур. Однако осадки, выпавшие в конце фазы выхода в трубкуначале колошения, способствовали увеличению размера листьев, и особенно последнего – флагового листа.

Флаговый лист обладает самой высокой фотосинтетической активностью, что обеспечивается большим числом хлоропластов, приходящимся на единицу ассимиляционной поверхности. Листья нижних ярусов к этому времени утрачивают способность снабжать репродуктивные органы ассимилятами [62, 77, 274]. При высокой температуре и недостаточной увлажненности (ГТК 0,68) в фазу молочной спелости произошло сокращение площади листовой поверхности. В среднем по вариантам опыта в фазу молочной спелости она оказалась на 16,9 % меньшей по сравнению с фазой колошения.

В 2015г. погодные условия в период всходы-выход в трубку сложились неблагоприятно для роста пшеницы. Погода была сухой с высокой температурой (ГТК 0,21-0,11). Однако выпавшие дожди в период колошение - молочная спелость позволили дольше сохранить площадь листовой поверхности, которая снизилась на 5,1% по сравнению с предшествующей фазой, и снижение её было на 11,8% меньше, чем в 2014г.

Статистический анализ подтвердил отмеченные особенности формирования площади ассимиляционной поверхности в зависимости от ГТК в основные фазы развития растений пшеницы (рис. 4).

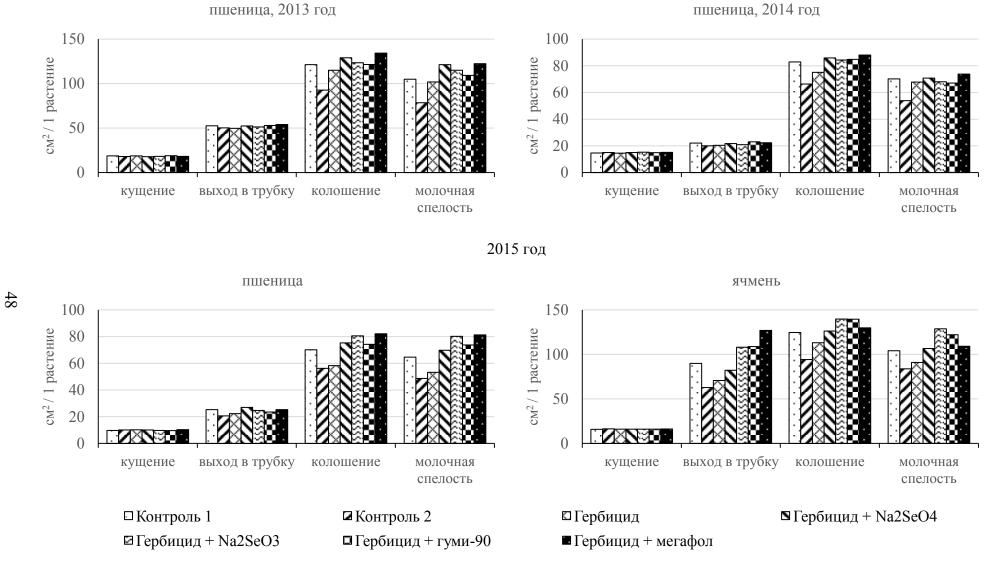
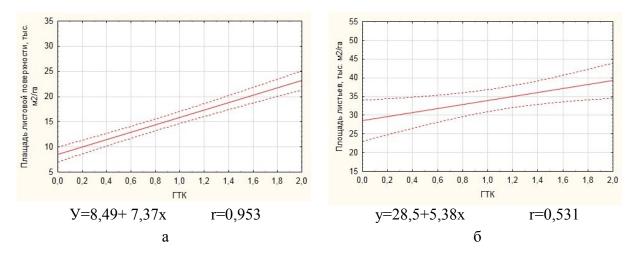


Рисунок 3 – Динамика ассимиляционной поверхности листьев яровой пшеницы и ячменя



а – кущение-выход в трубку, б – выход в трубку-колошение

Рисунок 4 — Зависимость площади листовой поверхности растений от ГТК в период вегетации яровой пшеницы

Размер площади листовой поверхности (У) в большей степени зависел от влажностно-теплового режима – ГТК (х) в период кущения-выхода пшеницы в трубку, чем от периода выхода в трубку –колошение.

Сорняки отрицательно влияли на развитие листовой поверхности. В среднем за три года засоренность посева (контроль 2) привела к уменьшению площади листьев пшеницы в фазу колошения на 21,6% по сравнению с их площадью на чистом контроле (рис. 5).

Гербицидная обработка посева вызывала стресс у растений яровой пшеницы, который проявлялся в снижение площади листовой поверхности. Под действием гербицида Прима площадь листовой поверхности в среднем за три года уменьшилась к фазе выход в трубку на 7,5%, а к фазе колошение на 9,0% по сравнению с площадью листьев при ручной прополке сорняков. Наибольшее (на 16,8%) уменьшение площади листовой поверхности от гербицида произошло в фазе колошение в 2015 г. Видимо, сказалось сразу действие двух негативных факторов – гербицида и низкого обеспечения растений влагой (ГТК в этот период был 0,17).

Селенат и селенит натрия, внесённый при обработке посева пшеницы совместно с гербицидом, снижали негативное действие последнего.





Яровая пшеница

Ячмень



Контроль 2



Гербицид

Рисунок 5 – Действие гербицида в полевом опыте

При использовании селена площадь листьев в фазу колошения оказалась в среднем за три года на 1,17-1,18 раза большей по сравнению с обработкой посева только гербицидом. В среднем за 3года эффективность солей селена была одинаковой. Однако в условиях более засушливого 2015 года селенит натрия действовал лучше, чем селенат. Площадь листовой поверхности в фазу молочной спелости оставалась той же, что и фазу колошения.

Полученные результаты еще раз подтверждают выводы, сделанные многими исследователями о том, что микроэлемент селен уменьшает стресс зерновых культур в условиях засухи [60, 104, 186].

Сочетание препарата гуми-90 с гербицидом в фазу выхода в трубку практически не сказалось на размерах листовой поверхности. В среднем за 3 года в фазу выхода в трубку она была всего на 2,3% больше по сравнению с листовой поверхностью растений в варианте только с гербицидной обработкой. В фазу молочной спелости площадь листовой поверхности сократилась, но была на 4,3% больше площади растений контрольного варианта 1.

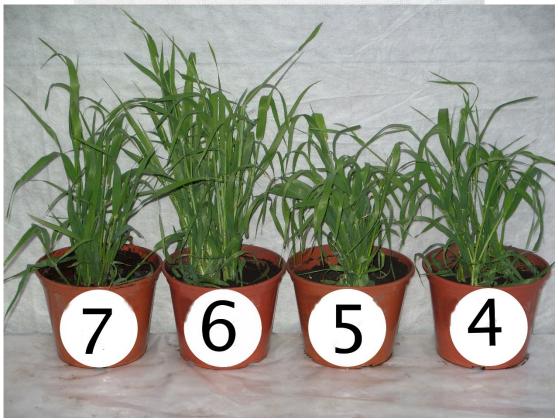
Ход развития листовой поверхности при совместном использовании гербицида с препаратом мегафол был примерно таким, как и на варианте с селенатом натрия. Площадь листьев в фазу выхода в трубку в варианте с мегафолом превышала действие гербицида на 16,1%, с селенатом натрия — на 9,3%. Мегафол дольше, чем другие препараты сохранял рабочее состояние листовой поверхности.

Таким образом, независимо от погодных условий, изучаемые препараты в полевых условиях проявляли способность снижать токсичное действие гербицида Прима на формирование ассимиляционной поверхности листьев пшеницы, при этом оказывая ростостимулирующий эффект на растения.

По эффективности на рост листовой поверхности препараты можно разместить в следующей убывающей последовательности: мегафол \geq селенат натрия \geq селенит натрия > гуми-90.

В вегетационном опыте №1 изучалось влияние препаратов: селената и селенита натрия, мегафол, гуми-90, силиплант, используемых с гербицидами Диален Супер и Прима на формирование ассимиляционной поверхности листьев пшеницы сорта Тризо (рис. 6).





– контроль; 2 – гербицид; 3 – гербицид +Na₂SeO₄; 4 – гербицид +Na₂SeO₃; 5 – гербицид +Гуми-90; 6 – гербицид +Мегафол; 7 – гербицид +Силиплант

Рисунок 6 — Вегетационный опыт №1. Изучение влияния антистрессовых препаратов на растения яровой пшеницы.

Выявлено, что оба гербицида, применённые в начале фазы кущения, вызвали стресс у растений, который проявился в изменении интенсивности окраскилистьев послеопрыскивания посева. Наиболее сильное токсичное действие проявлял гербицид Диален Супер, при использовании которого отмечалось устойчивое пожелтение листьев пшеницы в течение пяти суток. При опрыскивании растений гербицидом Прима светло-зеленая окраска листьев уже на третьи сутки переходила в зеленую окраску.

Исследования показали, что негативное действие гербицидов проявлялось в течение длительного времени. Так, в фазу колошения общая ассимиляционная поверхность главного побега при применении гербицидов была меньшей на 29,9% в варианте с ДиаленСупер и на 13,1% – с Примой по сравнению с площадью листьев контрольного варианта (табл.7).

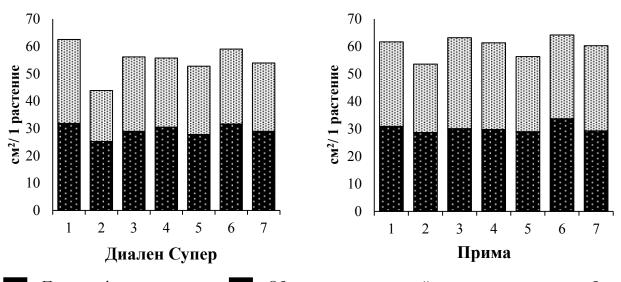
Таблица 7 — Динамика формирования листовой поверхности яровой пшеницы в зависимости от изучаемых факторов, $cm^2/1$ растение)

	Плог	Площадь листовой поверхности по фазам развития							
Вариант	кущение		выход в трубку		колошение		молочная спелость		
1			1.5	герби	циды				
	1	2	1	2	1	2	1	2	
Контроль-вода	3,3	3,6	10,2	10,0	62,5	61,7	50,0	51,2	
Гербицид	3,6	3,4	9,2	9,4	43,8	53,6	33,5	43,4	
Гербицид+ Na ₂ SeO ₄	3,4	3,7	11,6	16,7	56,1	63,2	46,0	54,4	
Гербицид+ Na ₂ SeO ₃	3,8	3,5	10,9	15,0	55,7	61,3	45,3	52,7	
Гербицид+гуми-90	3,1	3,2	14,0	18,0	52,7	56,3	42,7	46,1	
Гербицид+мегафол	3,3	3,4	13,9	17,0	58,0	64,2	47,9	51,4	
Гербицид+силиплант	3,6			14,6	53,9	60,3	45,9	52,5	
HCP ₀₅	0,19	0,15	0,61	1,04	3,87	3,76	2,12	2,03	

Примечание: Гербициды: 1. – Диален Супер, 2 – Прима; Площади листьев в фазу кущения определялась накануне опрыскивания посева

Фотосинтетическая поверхность листьев на фоне Диален Супер, независимо от антистрессанта, составляла в среднем $54.8 \text{ cm}^2/\text{растение, на}$ фоне гербицида Прима -60.1 cm^2 , при этом доля флагового листа в общей площа-

ди листьев была 53,6 и 50,4 % соответственно, а это значит, что в последнем случае более активно функционировали листья других ярусов (рис.7).



— Площадь флагового листа — Общая площадь листовой поверхности главного побега 1- Контроль, 2- Гербицид, 3- Гербицид + Na_2SeO_4 , 4- Гербицид + Na_2SeO_3 , 5- Гербицид + гуми-90, 6- Гербицид + мегафол, 7- Гербицид + силиплант

Рисунок 7 — Площадь ассимилирующей поверхности листьев главного побега яровой пшеницы в фазу колошения (вегетационный опыт № 1)

Большее негативное действие гербицида Диален Супер на формирование фотосинтезирующей поверхности главного побега, возможно, связано с химическим составом гербицида.

Системные гербициды типа 2,4-Д проявляют свойства ауксинов. При нормальном состоянии растений ауксины содержатся в оптимальных количествах. 2,4-Д создает их избыток, что и приводит к повреждению тканей флоэмы, истощению листьев, нарушению целостности внешних покровов [141].

Вероятно, обработка растений гербицидом нарушает баланс ауксинов не только в сорняках, но и в защищаемой культуре, что приводит к нарушению роста листа. Кроме того, наличие в гербициде Диален Супер дикамбы усугубляет это действие. Известно, что дикамба тоже имеет свойства ауксинов.

Гербицид Прима содержит два действующих вещества 2,4-Д и флорасулам, которые отличаются по механизму действия, но обладают синергизмом. Флорасулам меньше снижает синтез сахарозы и белков, но подавляет

синтез таких незаменимых аминокислот как валин, изолейцин, лейцин. Меньшее токсичное действие гербицида Прима, возможно, связано и с более низкой дозой внесения 2,4-Д, рекомендованной на один гектар посева. При обработке посева пшеницы гербицидом Прима в пересчете на 1 гектар приходилось 2,4-Д 150 мл, а при использовании Диален Супер – 240,8 мл.

Применение изучаемых препаратов способствовало уменьшению стрессовых проявлений и нивелированию негативного действия гербицидов.

Действие антистрессовых препаратов на формирование площади листовой поверхности проявлялось по-разному. Использование препарата гуми с изучаемыми гербицидами действовало наиболее эффективно на рост площади листьев в период кущения — выхода в трубку. Листовая поверхность главного побега возросла к фазе выхода в трубку в 4,4-5,6 раз соответственно по сравнению с площадью в предшествующую фазу и была значительно больше, чем у растений на других вариантах. Затем рост листовой поверхности несколько затормаживался, и в фазу молочной спелости отмечался большой сброс листьев. Уменьшение к фазе колошения составляло 19%.

При применении селената, селенита натрия и силипланта в смеси с гербицидами формирование площади листьев происходило более равномерно в течение всего периода наблюдений. К фазе молочной спелости листовая поверхность главного побега оставалась в рабочем состоянии, и её снижение относительно максимума (в фазу колошения) составляло от солей селена 18,0-18,6%, мегафола—15,0 и от силипланта 14,8%.

Ячмень. Изучение формирования листовой поверхности ячменя в одинаковых условиях с яровой пшеницей в 2015году показало, что ячмень имел ту же закономерность формирования площади листовой поверхности, т.е. наибольшая площадь, как и у пшеницы, была в фазу колошения, но ход нарастания площади листьев был несколько иным (рис.8, табл.8, прилож.7).

В период от начала кущения до выхода в трубку площадь листьев ячменя сорта Эксплоер увеличилась в среднем по сравнению с началом куще-

ния (до обработки посева), независимо от изучаемых факторов, в 5,8 раза, в то же время у яровой пшеницы только в 2,4 раза (прилож.6).

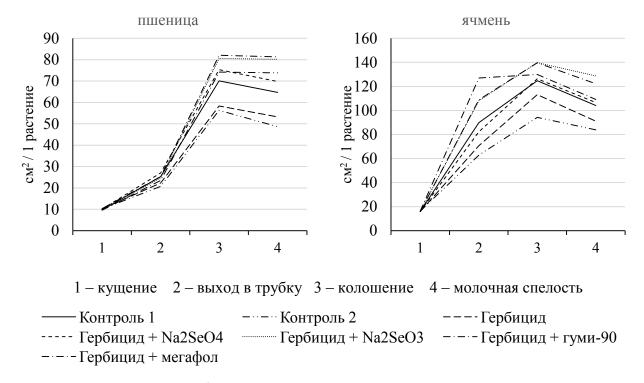


Рисунок 8— Динамика формирования ассимиляционной поверхности листьев яровойпшеницы и ячменя в 2015 году

Таблица 8 — Динамика формирования площади ассимиляционной поверхности листьев растениями ячменя (полевой опыт), 2015год

	Ассимиляционная поверхность листьев по фазам развития ячменя, см ² / 1 растение						
Вариант	*до об- работки	**кущение	риуолр	колоше-	молочная спелость		
Контроль 1	15,9*	19,8**	89,9	124,7	104,1		
Контроль 2	16,4	17,3	62,8	94,2	83,9		
Гербицид	16,0	18,9	70,7	113,1	91,1		
Гербицид + Na ₂ SeO ₄	16,0	22,5	82,3	126,3	106,6		
Гербицид + Na ₂ SeO ₃	16,1	22,2	108,1	139,8	128,7		
Гербицид + гуми-90	16,0	22,7	108,9	139,6	122,2		
Гербицид + мегафол	16,3	21,6	127,0	129,9	109,2		
В среднем	16,1	20,7	92,8	123,9	106,5		
HCP ₀₅	0,62	1,73	4,21	3,76	3,13		

Примечание: Площадь листьев определялась в период *3-его листа и в**конце кущения

Далее ход её нарастания у ячменя несколько замедлялся. К фазе колошения площадь листовой поверхности ячменя возросла в 1,32 раза, у пшеницы — в 2,94 раза по отношению к площади листьев в фазу выхода в трубку, а к периоду молочной спелости она — снизилась у ячменя на 14,0%, у пшеницы на 10,7%.

Уменьшение площади листовой поверхности к концу вегетации — естественный процесс. Происходит старение и отмирание листьев Листья отмирают постепенно от нижних к верхним, последний (флаговый) лист продолжает функционировать иногда до восковой спелости зерна [62].

Сравнение площади листовой поверхности на контрольных вариантах 1 и 2 показало, что сорняки сильно угнетали рост поверхности листьев. Площадь листовой поверхности ячменя, начиная с фазы выхода в трубку, у растений на контроле 2 была на 30,1-24,5-19,4% меньше по сравнению с площадью листьев растений при ручной прополке (контроль1).

Обработка посева гербицидом Прима приводила к снижению площади листовой поверхности растений ячменя по сравнению с контролем 1 (ручная прополка сорняков). В фазу выход в трубку ассимиляционная поверхность листьев при использовании гербицида была большей по сравнению с началом кущения ячменя в 4,4 раза, в то время как на чистом контроле в 5,7 раз. Снижение площади на варианте с гербицидом к фазе молочной спелости зерна составило 19,5%, или на 3,0% больше, чем у растений чистого контроля.

Применение изучаемых препаратов в баковой смеси с гербицидом уменьшало негативное действие ксенобиотика. Наибольшая листовая поверхность к фазе выхода в трубку сформировалась в варианте гербицид+ мегафол. Площадь листьев ячменя в фазу выхода в трубку у растений с этого варианта достигла 97,8% от максимальной площади (в фазу колошения). Возможно, это связано с присутствием в составе препарата аминокислот с высокой степенью усвояемости и низкой молекулярной массой, что позволило растениям использовать их для синтеза первичных белков и быстрее преодолеть гербицидный стресс. Однако к фазе молочной спелости площадь листь-

ев уменьшилась на 15,9% по сравнению с предыдущей фазой, что было связано с быстрым старением и отмиранием нижних листьев, у растений к этой фазе оставалось в среднем 2 верхних листа.

Площадь листовой поверхности у растений, обработанных смесью гербицида с селенитом натрия, нарастала активно, как и в комбинации с препаратом мегафол, но к фазе выхода в трубку она составила только 77,9% от максимальной и была меньше на 19,9%, чем у растений в варианте с мегафолом. В фазе молочной спелости снижение от максимальной площади листовой поверхности составило всего 7,9%, в то время как при использовании только гербицида — 19,4% по сравнению с фазой колошения.

Действие селена можно объяснить следующим образом. В результате нарушения оптимальных условий выращивания в растениях происходит изменение интенсивности и направленности целого ряд метаболических и перекисных процессов. Влияние селена исследователи связывают с одним из важных биохимических механизмов –детоксикацией гербицидов в клетках растений. Можно предположить, что в стрессовой ситуации растения активнее потребляют ионы селена. Потребление их приводит к ускоренному расходу восстановленного глутатиона, участвующего в детоксикации различных перекисей и гидроперекисей [209].

Опыты с козлятником восточным показали, обработка растений селенатом натрия вызывала увеличение активности глутатионредуктазы. Исследователи связывают с откликом на усиление активности обменных процессов под влиянием ростостимулирующего действия селена, с одной стороны, и антиоксидантным действием восстановленного глутатиона, с другой [18].

Влияние селенита на величину площади листьев ячменя в опыте оказалось несколько больше, чем селената натрия, хотя ход нарастания листовой поверхности под действие обоих форм селена был одинаковым. Возможно, это связано с различиями в химических свойствах ионов селена. В селенитах селен входит в состав кислотного остатка в степени окисления +4.В этом

случае селенит имеет промежуточную степень окисления, он может проявлять двойственные окислительно-восстановительные свойства.

Селенаты содержат селен в степени окисления +6. Это максимально возможная степень окисления селена. Таким образом, селенаты проявляют только окислительные свойства. Учитывая эти различия можно предположить, что селенит натрия с большей скоростью встраивается в органические соединения и тем самым способствует росту пластин листьев.

Вместе с тем, при сравнении действия ионов селена, выявилась зависимость их от биологических особенностей злаковых культур. В одних и тех же абиотических (температура и увлажнение) и почвенных условиях влияние селенита и селената натрия было различным. Так, в среднем за вегетационный период яровой пшеницы активнее действовал селенат натрия, ячменя — селенит, внесенный с гербицидом Прима.

По эффективности действия на ячмень препараты в убывающем порядке можно разместить в следующей последовательности: смесь гербицида с селенитом натрия > гуми-90 > мегафолом > селенатом натрия.

3.2 Фотосинтетический потенциал и чистая продуктивность посева зерновых культур в условиях гербицидного стресса и при действииизучаемых препаратов

А.А. Ничипорович [82] обобщил огромный фактический материал по фотосинтезу и сформулировал основные положения теории получения высоких урожаев сельскохозяйственных культур. Согласно этой теории величина хозяйственного урожая определяется размерами ассимиляционной поверхности, временем её работы и интенсивностью работы ассимиляционного аппарата —чистой продуктивностью фотосинтеза, эффективностью использования поглощенной в этом процессе CO₂ на формирование фитомассы растения.

Определение показателей фотосинтетической деятельности зерновых культур только в расчете на одно растение является не совсем объективным.

В полевых условиях наблюдается разная густота стояния растений, т.е. разное количество сохранившихся растений в разные периоды вегетации. Поэтому данные полученные в период вегетации были пересчитаны на 1 гектар с учетом густоты стояния растений (прилож.5)

В полевых условиях фотосинтетическая деятельность посева яровой пшеницы зависела от агрометеорологических условий, применения гербицида и препаратов-антистрессантов (табл.9). Наибольшая активность фотосинтетических процессов независимо от изучаемых приемов отмечалась в 2013 г., меньшая в 2014 и 2015гг.

Таблица 9 — Фотосинтетические показатели посева яровой пшеницы в зависимости от применения препаратов при гербицидной обработке в среднем за 2013-2015гг. (полевой опыт, фаза колошения)

	Показате	ли фотосинте	тической деят	ельности
Вариант	ПЛ, тыс.	ФП,тыс.	Сухая мас-	ЧП Φ , Γ/M^2
	м ² /га	$\mathbf{m}^2 \times \mathbf{cyt.} / \mathbf{ra}$	са,т/га	в сутки
Контроль 1	34,2	1119	6,15	5,50
Контроль 2	28,2	921	5,08	5,52
Гербицид	30,4	1007	5,24	5,20
Γ ербицид + Na_2SeO_4	39,1	1272	6,77	5,32
Γ ербицид + Na_2SeO_3	36,9	1180	6,77	5,64
Гербицид + гуми-90	34,9	1143	6,27	5,10
Гербицид + мегафол	40,8	1307	6,91	5,52
В среднем	34,9	1136	6,17	5,40

Примечание: ПЛ–площадь листьев, ФП–фотосинтетический потенциал, ЧПФ– чистая про

В среднем за три года под действием гербицида площадь листовой поверхности уменьшилась на 5,3% по сравнению с чистым контролем, но была на 15,3 % большей по сравнению с засоренным посевом.

Одним из показателей продуктивности посева является фотосинтетический потенциал. Величина его зависит от площади ассимиляционной поверхности и продолжительности её функционирования [81].

Исследования показали, что погодные условия и изучаемые приемы оказывают влияние на формирование фотосинтетического потенциала агро-

ценоза яровой пшеницы. В среднем за три абсолютно разных года наибольший $\Phi\Pi$ был сформирован в 2013 году независимо от изучаемых факторов – 1478 тыс. м²× сут./га. Среди вариантов в среднем за 3 года наибольший фотосинтетический потенциал был у агроценоза на варианте гербицид + мегафол – 1687 тыс. м²× сут./га, что на 14% больше, чем при использовании только гербицида (рис.9, прилож.7).

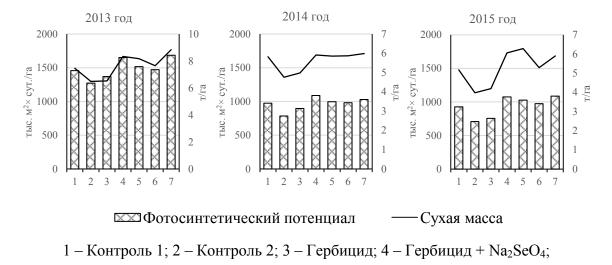


Рисунок 9 — Фотосинтетический потенциал и накопление сухой массы яровой пшеницей в зависимости от применения препаратов

 $5 - \Gamma$ ербицид + Na₂SeO₃; $6 - \Gamma$ ербицид + гуми-90; $7 - \Gamma$ ербицид + мегафол

Важным и самым точным показателем продуктивности растений является накопление сухой массы [82]. Определение сухой надземной массы выявило, что использование антистрессантов позволяет не только уменьшить негативное действие гербицида, но и увеличить количества сухой массы посева зерновых культур. Применение препаратов в среднем за 3 года увеличивало массу растений от 2,0% варианте с гуми до 12,8% — с мегафолом по сравнению с контролем1. Действие солей селена повышало выход сухой массы по сравнению с чистым контролем на 10,0%. Наиболее эффективным было использование их в смеси с гербицидом в 2015 году. В этот год селенит натрия по влиянию на формирование наземной массы показывал лучший результат, чем селенат.

Изучение фотосинтетической деятельности посева яровой пшеницы в течение трех лет свидетельствует о том, что не только изменялась площадь

листовой поверхности в зависимости от агрометеорологических особенностей региона, но и другие показатели.

Чистая продуктивность фотосинтеза в большей степени зависела от гидротермических условий в период вегетации растений. В 2015году она в среднем по всем вариантам опыта оказалась ниже, чем в другие годы (рис. 10). Видимо, в этот год сказалось взаимодействие факторов – недостатка влаги и токсичности гербицида.

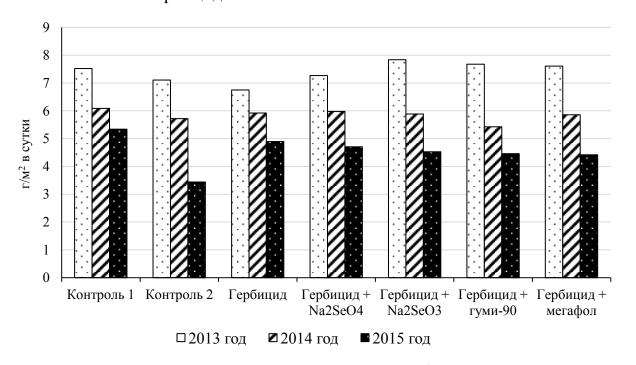


Рисунок 10 – Чистая продуктивность фотосинтеза

Результаты проведенных исследований в полевом опыте с яровой пшеницей и ячменем в 2015году свидетельствуют о том, что в одинаковых почвенных и агрометеорологических условиях фотосинтетическая деятельность была различной и зависела от биологических особенностей изучаемых культур и средств защиты растений (табл.10).

Так, площадь листьев посева ячменя в 2015 г. в период максимума (фаза колошения), независимо от изучаемых приемов, составляла 36,4 тыс. м² на 1га и была на 8,9 тыс. м² больше площади листовой поверхности яровой пшеницы. Аналогично изменялся и фотосинтетический потенциал.

Селенат натрия и мегафол показали одинаковый эффект при использовании смеси гербицида с ними при выращивании яровой пшеницы.

Несколько иные данные получены на посевах ячменя. Наибольший эффект проявила комбинация гербицида с селенитом и мегафолом. Фотосинтетический потенциал оказался выше, чем у контрольного посева (контроль 1) на 9,8-10,6 % соответственно.

Таблица 10 — Фотосинтетические показатели посева зерновых культур в зависимости от применения изучаемых препаратов и гербицидной обработке посева, фаза колошения (полевой опыт), 2015 год

	Площадь ли-	ФΠ	Сухая	ЧПФ,					
Вариант	стьев, тыс. м ²	тыс. м ²	фитомасса,	Γ/M^2					
	/га	хсут./га	т/га	в сутки					
Яровая пшеница									
Контроль 1	27,3	928	5,17	5,57					
Контроль 2	20,8	707	3,98	5,63					
Гербицид	26,1	755	4,20	5,56					
Гербицид+ Na ₂ SeO ₄	31,6	1074	6,06	5,64					
Гербицид+ Na ₂ SeO ₃	29,8	1028	6,28	6,10					
Гербицид+гуми-90	28,7	976	5,29	5,42					
Гербицид+мегафол	32,0	1088	5,90	5,42					
В среднем	27,5	934	5,27	5,62					
HCP ₀₅	2,28	33,9	0,17	0,03					
	Яч	мень							
Контроль 1	36,8	1104	6,80	6,16					
Контроль 2	26,8	884	5,64	6,38					
Гербицид	33,6	1008	6,12	6,71					
Гербицид+ Na ₂ SeO ₄	36,6	1098	6,76	6,16					
Гербицид+ Na ₂ SeO ₃	40,4	1221	7,48	6,13					
Гербицид+гуми-90	39,8	1190	6,82	5,73					
Гербицид+мегафол	40,7	1212	6,91	5,70					
В среднем	36,4	1102	6,65	6,14					
HCP ₀₅	2,15	30,1	0,51	0, 06					

Сорные растения снижали поглощение ФАР и фотосинтетический потенциал обеих культур был меньше на 23,8 % у пшеницы и на 19,9 % у ячменя по сравнению с чистым посевом. Это еще раз подтверждает, что без химической прополки засорённых посевов невозможно нормальное развитие зерновых культур. Наиболее активная фотосинтетическая деятельность растений отмечена в посевах ячменя.

Известно, что на долю органических соединений, создаваемых в ходе фотосинтеза, приходится около 95% общей массы растительного организма. Изменение сухой биомассы в течение вегетации может довольно объективно отражать фотосинтетическую деятельность растений [77, 165, 212, 274].

Определение наземной массы изучаемых культур в фазу колошения показало, что ячмень, несмотря на сложные погодные условия, накапливал органическое вещество не только более активно, но и в большем размере, чем яровая пшеница (табл.11).

Таблица 11 — Накопление сухой надземной биомассы яровой пшеницей и ячменём, 2015 г. (m/га)

Варианты	Яровая	пшеница	Ячмень		
Барианты	1	2	1	2	
Контроль 1	1,62	5,17	3,30	6,80	
Контроль 2	1,62	3,98	3,31	5,64	
Гербицид	1,66	4,20	3,30	6,12	
Гербицид+ Na ₂ SeO ₄	1,62	6,06	3,32	6,76	
Гербицид+ Na ₂ SeO ₃	1,59	6,28	3,60	7,48	
Гербицид+гуми-90	1,60	5,29	3,31	6,82	
Гербицид+мегафол	1,63	5,90	3,29	6,91	
HCP ₀₅	0,09	0,17	0,14	0,51	

Примечание: 1-фаза кущения, 2-фаза колошения

Для оценки производительности работы ассимиляционного аппарата в полевых условиях используется величина чистой продуктивности фотосинтеза, получаемая путём деления величины общего урожая сухой массы на величину $\Phi\Pi$ и показывающая, сколько граммов сухого вещества накапливается за сутки в расчете на 1 м 2 листьев.

Большую производительную работу ассимиляционного аппарата по сравнению с яровой пшеницей показывал ячмень. Независимо от изучаемых факторов ЧПФ ячменя превосходил пшеницу в 1,4 раза.

Известно, что состояние фотосинтетического аппарата зависит от многих факторов окружающей среды, поэтому воздействие разного рода стрессоров может приводить к изменению физико-химических свойств пигмент-

ных систем ассимиляционной поверхности, в первую очередь, хлорофилла, к нарушению динамического равновесия между их синтезом и разрушением.

Изучение содержание хлорофилла a и δ проводилось в вегетационном опыте №1. Результаты исследования свидетельствуют о том, что обработка растений пшеницы гербицидами Диален Супер и Прима приводила к снижению пигментов в листьях растений пшеницы. В течение первых суток после опрыскивания растений происходило резкое снижение количества хлорофиллов (табл.12, 13).

Таблица 12 — Изменение содержания хлорофилла а при обработке яровой пшеницы, мг/г сырой массы (вегетационный опыт№ 1)

Вариант	Врем	ия после обраб	отки посева, с	утки
Барнант	первые	третьи	пятые	седьмые
Контроль-вода	2,36	2,48	2,67	3,89
Гербицид	1,27	0,96	1,32	2,42
Гербицид+ Na ₂ SeO ₄	1,27	1,05	1,50	2,54
Гербицид+ Na ₂ SeO ₃	1,21	1,21	1,42	2,46
Гербицид+гуми-90	1,24	1,27	1,32	2,44
Гербицид+мегафол	1,33	1,42	1,80	2,56
Гербицид+силиплант	1,29	1,35	1,46	2,88
НСР ₀₁ , мг/г массы	0,021	0, 015	0,014	0,016
	Герби	цид Прима		
Контроль-вода	2,39	2,46	2,71	3,71
Гербицид	1,86	2,39	2,50	3,50
Гербицид+ Na ₂ SeO ₄	2,03	2,51	2,56	3,77
Гербицид+ Na ₂ SeO ₃	2,05	2,53	2,68	3,70
Гербицид+гуми-90	2,07	2,61	2,73	2,89
Гербицид+мегафол	2,13	2,55	2,69	3,84
Гербицид+силиплант	2,43	2,57	2,62	4,29
НСР ₀₁ ,мг/г массы	0,013	0,019	0,015	0,018

При одностороннем применении гербицида Диален Супер содержание хлорофиллов a и b оказалось меньше на 46,2 и 37,2% соответственно, а гербицида Прима — на 22,2 и 10,3% по сравнению с содержанием хлорофиллов в листьях растений на контроле.

На третьи сутки количество хлорофиллаa возрасло по сравнению с первыми сутками на 28,5 %, хлорофилла б— на 6,1 % при использовании гербицида Прима и несколько уменьшилось (на 24 и 6,7 %) от Диалена Супер.

Таблица 13 — Изменение содержания хлорофилла б при обработке яровой пшеницы, мг/г сырой массы (вегетационный опыт)

Вариант	Врем	ия после обраб	отки посева, с	утки					
Бариант	первые	третьи	пятые	седьмые					
Диален Супер									
Контроль-вода	1,67	1,72	1,80	1,91					
Гербицид	1,05	0,98	1,18	1,69					
Гербицид+ Na ₂ SeO ₄	0,99	1,45	1,52	1,74					
Гербицид+ Na ₂ SeO ₃	1,07	1,13	1,62	1,72					
Гербицид+гуми-90	1,00	1,12	1,53	1,42					
Гербицид+мегафол	1,08	1,24	1,67	2,33					
Гербицид+силиплант	1,09	1,13	1,60	2,04					
HCP ₀₅	0,011	0,016	0,014	0,012					
	Герби	цид Прима							
Контроль-вода	1,65	1,70	1,74	1,97					
Гербицид	1,48	1,57	1,70	1,90					
Гербицид+ Na ₂ SeO ₄	1,20	1,66	1,90	2,22					
Гербицид+ Na ₂ SeO ₃	1,19	1,52	1,90	2,20					
Гербицид+гуми-90	1,17	1,37	1,90	2,09					
Гербицид+мегафол	1,19	1,60	1,91	2,37					
Гербицид+силиплант	1,21	1,49	1,90	2,37					
HCP_{001} ,м Γ/Γ	0,013	0,12	0,012	0, 016					

На седьмые сутки содержание хлорофиллаaв варианте с гербицидом Прима составило в среднем 94,3% и с гербицидом Диален Супер 62,2 %, хлорофилла 6 96,3 %, и 88,5 % соответственно от количества их в контрольных растениях.

Эффективность действия изучаемых препаратов на фоне гербицида Прима на содержание хлорофилла a в среднем за семь суток можно представить в порядке уменьшения следующим образом: силиплант \geq мегафол > селенат \geq селенит > гуми; хлорофилл δ — мегафол > селенат \geq силиплант > гуми $-90 \geq$ селенит.

По эффективности действия на хлорофилл a препараты, внесённые в смеси с гербицидом Диален Супер можно разместить в убывающей последовательности: силиплант > мефафол > селенат > селенат > гуми-90; на хлорофилл δ : мегафол > селенат > силиплант > гуми-90.

Полученные данные о том, что введение препаратов - антистрессантов в баковую смесь с гербицидами уменьшает токсическое действие последнего, согласуются с результатами других исследователей.

О.С. Зуева[47] и В.А. Вихрева [18, 19] подчеркивают увеличение хлорофилла в листьях ярового ячменя под действием гуми-30 и селената; М. Seppaenen [248] в листьях картофеля при использовании смесей гербицидов с солями селеновой кислоты. Е.К. Яблонская [141] отмечает положительное влияние на хлорофильный комплекс в листьях озимой пшеницы аминокислоты метионина. Эта кислота как раз входит в состав мегафола.

В своих исследованиях мы не изучали механизмы действия препаратов на хлорофилл, поэтому можем только привести данные других исследователей.В литературе роль селена в фотосинтезе трактуется по-разному. Есть предположения, что селен участвует в реакциях образования хлорофилла [226, 260].

А.Х. Шеудхен [136] показал, что селен участвует в синтезе трикарбоновых кислот, а также в метаболизме длинноцепочковых жирных кислот. Все это и присутствие микроэлемента в растительных клетках ферредоксинов, содержащих вместо серы селен, свидетельствует об участие Se в процессах фотосинтеза. Высказано предположение, что активизация селеном синтеза хлорофилла обусловлена симбиотическими отношениями микроэлемента с витамином Е. Известно, что микроэлемент селен предохраняет витамин Е от окислительной деструкции [10].

Положительное действие мегафола на сохранение хлорофилла в условиях гербицидного стресса, возможно, связано с тем, что в его составе аминокислота метионин, которая, по мнению Н.И Ненько [80] и Е. К.Яблонской [141], снижает негативное воздействие гербицидов типа 2,4-Д на разрушение хлорофилла.

В наших исследованиях использовался силиплант, который содержал 7,8% кремния, поэтому представляет интерес механизм его действия на сохранение хлорофилла при гербицидном стрессе.

S. Ali и др.[146] связывают защитное действие кремния на фотосинтетические процессы с уменьшением дыхания, так как кремний располагается под кутикулой листа, создавая двойной слой кремний-кутикула, что приводит к уменьшению дыхания и сохраняет хлорофилл от разрушения.

В вегетационном опыте № 1 оценивалась фотосинтетическая деятельность яровой пшеницы при использовании комбинаций препаратов разного химического состава с гербицидами Диален Супер и Прима.

Исследования показали, что к фазе колошения наблюдалось усиление ростовых процессов в растениях пшеницы на всех вариантах опыта. Однако надземная масса независимо от применения антистрессантов в варианте с гербицидом Диален Супер отставала от контрольных растений на 15,6%, а в варианте с Примой – на 6,6% (табл.14).

Таблица 14 — Влияние изучаемых препаратов на фотосинтетические показатели растений яровой пшеницы в период колошения (вегетационный опыт №1)

]	Показа	тели ф	отосинте	тическо	ой деято	ельност	'N
	П	ІЛ,	(ΦП,		я мас-	ЧПФ, г/м²·сут.	
Вариант	см ² /р	см ² /расте-		² ·сут./	c	a,		
	Н	ие	pac	стение	мг/рас	стение	17M 'CyT.	
				герби	щиды			
	1	2	1	2	1	2	1	2
Контроль-вода	62,5	61,7	1,31	1,30	553	544	4,07	4,18
Гербицид	43,8	53,6	0,92	1,13	437	506	4,75	4,48
Гербицид+ Na ₂ SeO ₄	56,1	63,2	1,17	1,33	486	557	4,15	4,19
Гербицид+ Na ₂ SeO ₃	55,7	61,3	1,16	1,29	474	529	4,09	4,10
Гербицид+гуми-90	52,7	56,3	1,11	1,18	431	427	3,88	3,62
Гербицид+мегафол	59,0	64,2	1,24	1,35	499	588	4,02	4,36
Гербицид+силиплант	53,9	60,3	1,13 1,27		495	441	4,20	3,80
HCP ₀₅	2,62	3,15	0,14	0,08	28,6	29,1	0,21	0,13

Примечание: Гербициды: 1 – Диален Супер, 2 – Прима. ПЛ – площадь листьев

Под действием гербицидов ухудшилась активность фотосинтетических процессов. Фотосинтетический потенциал за период кущение-колошение в варианте с гербицидом Диален Супер уменьшился на17,6%, в варианте с Примой—на 4,1% по сравнению с контролем. Следует отметить, что при использовании гербицида Прима проявление стресса носило кратковременный характер.

Изучаемые препараты нивелировали негативное действие гербицидов. Наибольшая надземная масса растений пшеницы отмечена при комбинации гербицида Диален Супер с мегафолом, далее шли смеси с селенатом ≥ селенитом натрия > силиплантом > гуми.

Использование мегафола и ионов селена с гербицидом Прима было более эффективным. Надземная масса растения достигла значений массы контрольного варианта и, в комбинации с мегафолом и селенитом натрия, даже отмечалось её увеличение.

Таким образом, проведенные исследования по изучению влияния препаратов — антистрессантов, примененных совместно с послевсходовыми гербицидами позволили установить, что эффективность их действия зависела отгенотипических (видовых) особенностей растений. агрометеорологических условия в период вегетации культур, химического состава послевсходовых гербицидов, особенностей химического состава применяемых препаратов.

ГЛАВА 4 ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ РОЛЬ АНТИСТРЕССОВЫХ ПРЕПАРАТОВ В ФОРМИРОВАНИИ УРОЖАЙНОСТИ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР

4.1 Оценка влияния засоренности посева на урожайность зерновых культур

В последние десятилетия значительно увеличилась численность популяции сорняков, фитофагов, возбудителей болезней в посевах зерновых культур. Так, в Пензенской области по данным ФГБУ «Россельхозцентр» за период с 2008 г по 2015 г. засоренность посевов увеличилась на 7,8%. В настоящее время 72,3% всех посевов зерновых культур имеют уровень засоренности средний и выше среднего.

Определение запаса сорняков в почве хозяйства «Петровский хлеб», где проводились наши полевые опыты, показало, что после озимой пшеницы в 0-40 см слое чернозема содержалось 4045,1 тыс. шт. семян сорных растений на 1 м². Из этого количества имело всхожесть до 3,0% сорняков [9].

Огромный потенциальный запас сорняков в почвах области связан с тем, что, начиная с 90-х годов, много земель не обрабатывается, они превратились в бурьянный перелог. Переход на коротко ротационные севообороты, широкое применение минимальных систем обработки почвы, несоблюдение оптимальных норм, способов, сроков посева и ухода за растениями – еще одна причина увеличения численности сорняков [42, 85].

В этих условиях обходиться без применения химических средств защиты растений, особенно в интенсивных технологиях, очень трудно, поэтому широко используются пестициды. Большинство химических пестицидов, являются токсичными веществами. Поэтому, зачастую, они помимо своей основной функции (защиты растений от болезней, сорняков и вредителей) оказывают стрессовое действие на основную культуру, которую призваны защищать [45, 145].

Среди пестицидов наиболее низкая селективность у гербицидов, поэтому они вызывают больший стресс у культурных растений, чем фунгициды.

Результаты наших исследований в полевом опыте свидетельствуют о том, что урожайность яровой пшеницы и ячменя определялась биологическими особенностями этих культур, их фотосинтетической деятельностью, засоренностью посева, применением гербицидов и антистрессантов, гидротермическими условиями в период вегетации.

Определение засоренности посева яровой пшеницы в опыте показало, что в начале вегетации культуры, перед обработкой посева гербицидом, в среднем по всем вариантам опыта количество сорных растений на одном квадратном метре колебалось от 80 шт. в 2014г. до 107 шт. в 2013г. (прилож. 9). В среднем за три года, независимо от изучаемых факторов, число сорняков на 1м² составляло 91 шт., что свидетельствует о сильной засоренности посева. Экономический порог вредоносности сорной растительности 15-20 шт. на 1 м² [36, 109].

Сорные растения в это время были представлены в основном малолетниками, многолетние сорняки составляли в среднем 4,4% от общего количества сорняков, среди них были и корнеотпрысковые — бодяк полевой (Cirsiumarvensis), осот полевой (Sonchus arvensis).

На варианте, где потом использовался только гербицид Прима, в начале вегетации в среднем за три года количество сорняков было 96 экземпляров на 1 квадратном метре. После обработки посева гербицидом произошло существенное снижение засоренности до 14 шт. на 1м². К уборке урожая агроценоз был на 96,2% представлен пшеницей и только на 3,8% сорной растительностью (табл. 15, прилож. 9, 10).

Применение одного гербицида исо смесямиего с различными препаратами уменьшало засоренность посева. Однако выявить влияние антисстресантов, внесенных совместно с гербицидом, на засоренность посева пшеницы не удалось.

Таблица 15— Количество сорных растений в посеве яровой пшеницы в 2013-2015 гг. (полевой опыт)

	Количество сорных растений, шт. на одном м ²									
Варианты	Перед обработкой посева гербицидом				Пер	ред убор	кой уро	кая		
опыта			Годы пр	оведени	ия иссле,	дований				
	2013	2014	2015	2013- 2015	2013	2014	2015	2013- 2015		
Контроль 1	91	80	97	89	20	9	14	14		
Контроль 2	117	73	105	98	126	82	94	101		
Гербицид	112	99	77	96	16	12	14	14		
Гербицид + Na ₂ SeO ₄	113	51	86	83	23	6	21	17		
Гербицид + Na ₂ SeO ₃	94	79	74	82	18	9	14	14		
Гербицид + гуми-90	110	90	78	93	20	14	10	15		
Гербицид + мегафол	109	89	93	97	17	11	20	16		
В среднем	107	80	87	91	34	20	27	27		
HCP ₀₅ ,шт./м ²	16,3	10,6	10,4		4,87	3,29	2,91			

Засоренность посева пшеницы зависела от погодных условий в вегетационный период. Наиболее благоприятные условия для роста сорной растительности сложились в 2013 г. Количество сорняков в среднем по всем вариантам опыта составляло в период кущения 107 шт на 1 м^2 , что было больше на 17,5%, чем в среднем за 3 года.

После обработки посева гербицидом в среднем за 3 года количество сорняков по всем вариантам опыта к уборке составило 27 шт. на1м², или снизилось в 3,4 раза по сравнению с начальным периодом вегетации пшеницы. Такая же тенденция отмечалась и в остальные годы.

В 2014г. количество осадков было небольшим, особенно в первую половину вегетации, что способствовало меньшей засоренности посева.

Однако в период колошения выпавшие осадки спровоцировали рост сорняков, и к уборке урожая засоренность посева составила 5,2%. В 2015г. она была несколько больше – 6,7%.

На контроле 2, где сорная растительность не удалялась, в среднем за три года исследований количество сорняков к уборке урожая составило 101 шт. на 1 м², что превышало количество их на контроле 1 (ручная прополка) в 7,2 раза. В основном фитоценоз был представлен малолетними сорняками, среди которых наибольший процент занимали щирица запрокинутая (*Amaranthus retroflexus*), марь белая (*Chenopodium album*) и просо куриное (*Echinochloacrus-galli*). В составе многолетних сорняков ведущее место занимали осот полевой (*Sonchus arvensis*) и вьюнок полевой (*Convolvulus arvensis*).

Общая засоренность посева пшеницы на контроле 2 в среднем за три года была 22,8%. Такая засоренность оказывала негативное действие на рост и развитие пшеницы, что отразилось в значительном снижении урожайности зерна и ухудшении его качества. В среднем за три года засоренность посева снизила урожайность на 4,0 ц с 1 га, наибольшее снижение отмечено в 2013 г.— 15,8%.

Сравнивая агрономическую устойчивость яровой пшеницы и ячменя к засоренности посева при выращивании их в одинаковых почвенных и погодных условиях 2015г., следует отметить, что засоренность посева этих культур была примерно одинаковой, засоренность пшеницы была всего на 0,9% большей, чем ячменя (табл.16).

Полученные данные еще раз подтверждают, что только агротехническими мерами справиться с такой сильной засоренностью невозможно.

Необходимы химические меры борьбы с сорной растительностью. Вместе с тем, и сам гербицид снижал урожайность зерна пшеницы по сравнению с ручной прополкой в среднем за три года на 2,0 ц/га, или 5,8 %. Поэтому нами изучалось действие антистрессовых соединений различной природы для повышения устойчивости зерновых культур к гербицидному стрессу в период формирования урожайности зерна.

Таблица 16 — Засоренность посевов яровой пшеницы и ячменя в 2015г. во время уборки урожая

Donus um Lorri imo		Пшеница		Ячмень			
Варианты опыта	1*	2**	3***	1	2	3	
Контроль 1	383	14	3,5	295	8	2,6	
Контроль 2	336	94	21,9	263	82	23,8	
Гербицид	370	14	3,6	297	9	2,9	
Гербицид + Na ₂ SeO ₄	372	21	5,3	245	7	2,8	
Гербицид + Na ₂ SeO ₃	380	14	3,7	241	6	2,4	
Гербицид + гуми-90	383	10	2,5	255	3	1,2	
Гербицид + мегафол	381	20	5,0	234	5	2,1	
В среднем	372	26,7	6,7	276	17	5,8	
HCP ₀₅	18,8	3,5		11,5	3,1		

Примечание: * число растений основной культуры $\text{на1}\text{m}^2$; **число сорняков $\text{на1}\text{ m}^2$; *** засоренность посева, %

4.2 Формирование продуктивности зерновых культур в зависимости от препаратов—антистрессантов при гербицидной обработке посевов

4.2.1 Влияние антистрессантов на формирование урожайности и качество зерна яровой пшеницы

Результаты наших исследований свидетельствуют о том, что в условиях правобережной лесостепи Среднего Поволжья, независимо от изучаемых приемов, яровая мягкая пшеница на чернозёме выщелоченном тяжелосуглинистом способна формировать урожайность в среднем от 29,2 до 42,6 ц с одного гектара (табл.17).

Урожайность зерна пшеницы определялась агрометеорологическими условиями, которые складывались в период вегетации культуры и фотосинтетической деятельностью посева. Зависимость урожая зерна от ГТК выражалась коэффициентом корреляции в среднем 0,833.

Коэффициент корреляции (r) урожайности пшеницы с площадью листовой поверхности составлял 0,961, чистой продуктивности фотосинтеза – 0,914, сухой массой растений – 0,851 (прилож. 11).

Коэффициент корреляции урожайности ячменя с этими показателями равен – 0,847; 0,939; 0,786 соответственно.

Наибольший сбор зерна с 1 га площади посева отмечался в 2013 г. и составлял на чистом контроле 43,0 центнера (ГТК=1,38), наименьший в 2015 г. – 29,0 центнеров (ГТК = 0,58).

Таблица 17 — Влияние изучаемых приемов на урожайность яровой мягкой пшеницы (полевой опыт)

	Урожай	іность пшени	цы, ц/га	В среднем	
Варианты	в го	ды исследова	ний	В среднем	
	2013 2014 2015		за три года		
Контроль 1	43,0	32,3	29,0	34,8	
Контроль 2	37,9	28,4	26,0	30,8	
Гербицид	41,0	29,5	27,5	32,7	
Гербицид + Na ₂ SeO ₄	43,9	33,4	30,8	36,0	
Γ ербицид + Na_2SeO_3	43,6	33,3	30,6	35,8	
Гербицид + гуми-90	43,4	32,6	30,1	35,4	
Гербицид + мегафол	45,6	34,2	30,5	36,8	
В среднем	42,6	32,0	29,2	34,6	
HCP ₀₅	1,63	0,862	0,980		

Сорняки существенно снижали урожайность зерна яровой пшеницы. Потери от засоренности посева составили в среднем за 3 года 4,0 ц с 1га. Гербицид Прима уменьшал негативное действие сорняков, но урожайность на гербицидном фоне оказалась на 2,1 ц с1га меньшей по сравнению с чистым контролем 1.

Селеновые соли снижали токсичное действие гербицида на формирование урожайности пшеницы и даже повышали урожай к контролю 1 на 1,2-1,0 ц с 1га в среднем за три года.

Эффективность селената и селенита натрия зависела от погодных условий в период вегетации пшеницы.

При благоприятных условиях для роста и развития культуры (ГТК 1,38) селен уменьшал негативное действие гербицида, но урожайность зерна была близкой к урожайности на контрольном варианте, где сорняки пропалывались вручную, а посев опрыскивался водой.

В условиях небольшого количества осадков и высоких температур ионы селена снижали действие гербицида в большей степени, чем при благоприятных погодных условиях. Особенно заметные и достоверные прибавки урожая зерна 1,8-1,6 ц/га, (НСР = 0,980) отмечены в 2015г., когда гидротермический коэффициент в среднем за вегетацию составлял 0,58ед. При этом действие селената и селенита натрия было практически одинаковым.

Наши данные об эффективности ионов селена в условиях высоких температур и недостатка влаги согласуются с результатами работ других исследователей, которые отмечали эффект от применения солей селеновой и селенистой кислоты при выращивании яровой пшеницы в условиях засухи [60, 105, 112, 181, 238]. Исследователи отмечают, что устойчивость растений пшеницы при обработке её семян селеном в условиях окислительного стресса, вызванного засухой, обусловлена более активным ростом и накоплением биомассы растений в ранние фазы развития. Отмечается, что микроэлемент селен способствует лучшей закладке цветочных зачатков на шестом этапе органогенеза, формированию большего количества цветков и меньшим их сбросом под влиянием стресса, а также образованием зерен, имеющих большую массу [104,186].

Препарат мегафол в комбинации с гербицидом был эффективен во все годы исследований и прибавки зерна к контролю 1 были в пределах 1,5-2,6 ц с 1га. Урожайность зерна зависела от количества продуктивных растений к уборке, количества зёрен в колосе и их массы (табл.18, прилож.12).

Статистическая обработка экспериментального материала и их графическое отображение позволили установить, что урожайность пшеницы зависела от фотосинтетической деятельности и погодных условий. Так, по мере роста площади листьев яровой пшеницы на 5 тыс. $\text{м}^2/\text{га}$ (в интервале от 20 до 45 тыс. $\text{м}^2/\text{га}$) урожайность зерна возрастает на 2,5-4,0 ц/га (рис. 11 а).

Адекватность полученного уравнения регрессии составляет 93,0%.

Таблица 18 — Влияние антистрессантов и гербицида на ростовые показатели и структуру урожая яровой пшеницы (полевой опыт)

D	Длина, см		Число продук-	Число зёрен, в	Mac	са, г
Варианты	стеб-	коло-	тивных	колосе,	1000	Зерна с 1
	ЛЯ	ca	стеблей	ШТ.	зёрен	растения
Контроль 1	61,6	9,2	370	28,9	32,4	0,94
Контроль 2	61,2	7,6	367	26,8	31,3	0,84
Гербицид	60,7	8,4	363	28,4	31,7	0,90
Гербицид+ Na ₂ SeO ₄	62,4	9,3	367	30,1	32,6	0,98
Гербицид+ Na ₂ SeO ₃	63,1	9,0	373	29,5	32,5	0,96
Гербицид+гуми-90	61,2	8,3	369	29,6	32,4	0,96
Гербицид+мегафол	63,4	9,7	361	30,6	33,3	1,02

При увеличении величины фотосинтетического потенциала на 100 тыс. м^2 /га x сутки урожайность зерна пшеницы возрастает на 1,9-2,0ц/га с вероятностью 93,5% (рис. 11 б).

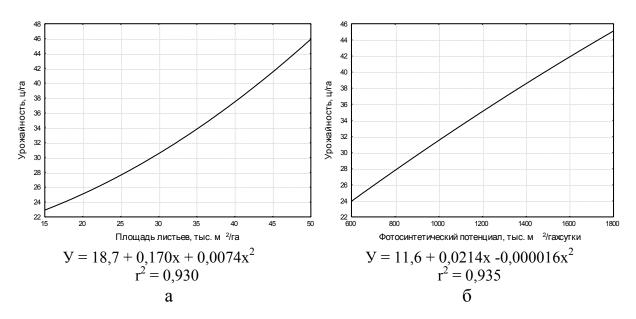
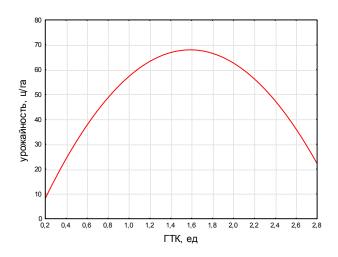


Рисунок 11— Урожайности зерна яровой пшеницы (У)в зависимости от площади листовой поверхности (а) и фотосинтетического потенциала (б)

Как показывает решение уравнения регрессии и его графическое отображение урожайность яровой пшеницы на 83,3% зависит от уровня ГТК в периодвегетации (рис. 12). При этом в интервале ГТК от 0,4 до 1,2 рост величины показателя увлажненности на 0,1 ед.обеспечивает рост урожайности



 $Y = -10,3 + 98,0x - 31,1x^2r^2 = 0,833,$ где Y - урожайность, ц с 1 га, x - значения ΓTK

Рисунок 12 – Влияние уровня ГТК на урожайность зерна яровой пшеницы

пшеницы на 4,5-5,5 ц/га. Максимальная урожайность обеспечивается при уровне ГТК 1,4-1,8 ед., а при его росте свыше 1,8 ед. происходит существенное снижение урожайности. Изучение формирования продуктивности пшеницы в вегетационном опыте №1 показало, что урожайность зависела, как от химического состава гербицидов, так и антидотов.Средняя общая продуктивность пшеницы на фоне

гербицида Прима была на 9,8% выше, чем на вариантах с гербицидом Диален Супер, зерна – на 18,2%.

Применение в комбинации с гербицидами антистрессантов приводило к более эффективному протеканию продукционного процесса пшеницы, о чем свидетельствует повышение коэффициента хозяйственной эффективности фотосинтеза.

Тенденция изменения урожайности зерна под действием антидотов на обоих фонах была однотипной.

Наибольший прирост зерна отмечен на варианте с препаратом мегафол. Далее следовали: селенат > селенит натрия > силиплант > гуми-90. Препараты на основе селена показывали близкие результаты.

Известно, что величина хозяйственно-полезной части урожая зависит от фотосинтетической деятельности культуры и характера распределения ассимилятов в растении между вегетативными и запасающими органами в ходе онтогенеза [57, 105, 110].

Основным показателем, характеризующими влияние условий выращивания на продуктивность, является накопление биомассы растениями пшеницы (рис. 13, прилож. 13).

Гербициды снижали как общую биомассу растения, так и зерна. Применение в комбинации с гербицидами антистрессантов приводило к более эффективному протеканию продукционного процесса пшеницы.

Применение изучаемых препаратов увеличивало продуктивность растения по сравнению с гербицидной обработкой. Независимо от гербицида по эффективности на зерновую продуктивность препараты можно представить в следующей последовательности по мере уменьшения их действия: мегафол > селенат \geq селенит > силиплант > гуми.

Исследователи отмечают, что в период после цветения и оплодотворения в растениях пшеницы протекают сложные процессы. Во-первых, это процессы формообразовательные, связанные с делением, ростом клеток, в ходе которых возникают все части зерновок: зародыш с зачаточными органами будущего растения, эндосперм, семенные и плодовые оболочки. Вовторых, это накопление сухих веществ в зерне, увеличение его массы. Источником сухих веществ в растении служат, с одной стороны, фотосинтез и корневая система, с другой – запасные вещества стебля и вещества, освобождающиеся при старении и отмирании листьев. Размер и соотношение этих источников влияют на величину и качество урожая [62, 64, 104, 169, 171].

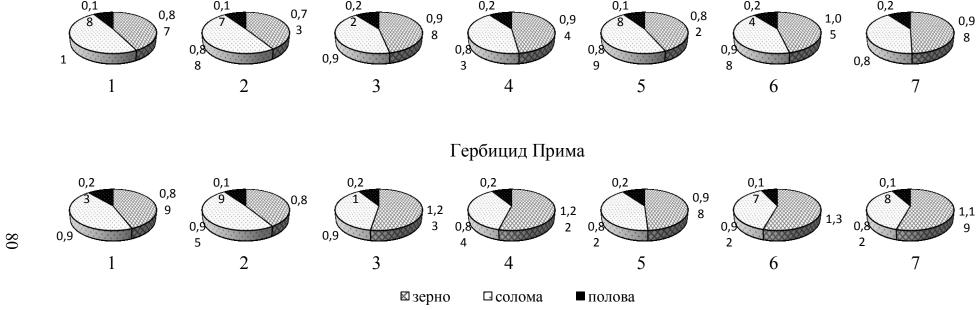
Вмешательство в процессы формирования зерновок внешних факторов может приводить к изменениям количественного соотношения между производящими и потребляющими ассимиляты органами растений, т. е. изменять донорно-акцепторные отношения [52].

Определение сухой массы растения в период молочной спелости зерна пшеницы показало, что наибольшая доля в общей биомассе приходилась на побег независимо от применяемых в опыте гербицидов и антидотов. Доля побега в общей биомассе в среднем составляла 55,7-54,4%. (табл. 19, прилож.14).

Гербициды изменяли соотношение между колосом и листьями по сравнению с контролем, уменьшая его на 13,6-11,7%, а между колосом и побегом – на 18,8-9,3%. Наибольшее снижение вызывал гербицид Диален Супер, что отразилось на урожайности зерна.



Гербицид Диален Супер



1 – Контроль-вода; 2 – Гербицид; 3 – Гербицид+ Na_2SeO_4 ; 4 – Гербицид+ Na_2SeO_3 ; 5 – Гербицид+ гуми-90; 6 – Гербицид+ мегафол; 7 – Гербицид+ силиплант

Рисунок 13– Продуктивность пшеницы в зависимости от использования препаратов – антистрессантов и гербицидов (вегетационный опыт № 1)

Таблица 19 — Влияние антидотов на распределение сухой массы вегетативных органов растения пшеницы в фазу молочной спелости зерна (вегетационный опыт N = 1)

	Cyxas	и масса од	ного раст	ения, г	Отношение массы						
Варианты		В	том числ	ie	колоса	к массе					
	общая	листьев	побега	колоса	листьев	побега					
	Гербицид Диален Супер										
Контроль-вода	0,970	0,191	0,568	0,211	1,10	0,37					
Гербицид	0,815	0,182	0,461	0,172	0,95	0,37					
Гербицид+N а ₂ SeO ₄	1,161	0,239	0,635	0,287	1,20	0,45					
Гербицид+ Na ₂ SeO ₃	1,134	0,241	0,601	0,292	1,21	0,49					
Гербицид+ гуми-90	0,990	0,195	0,569	0,226	1,16	0,40					
Гербицид+ мегафол	1,212	0,396	0,514	0,302	1,24	0,59					
Гербицид+ силиплант	1,134	0,211	0,663	0,260	1,23	0,39					
		Гербицид	Прима								
Контроль-вода	0,965	0,193	0,557	0,215	1,11	0,39					
Гербицид	0,880	0,189	0,505	0,186	0,98	0,37					
Гербицид+ Na ₂ SeO ₄	1,188	0,248	0,638	0,302	1,22	0,47					
Гербицид+ Na ₂ SeO ₃	1,194	0,244	0,643	0,307	1,26	0,48					
Гербицид+ гуми-90	1,062	0,191	0,625	0,246	1,29	0,39					
Гербицид+ мегафол	1,105	0,377	0,438	0,290	1,30	0,66					
Гербицид+ силиплант	1,199	0,245	0,652	0,302	1,23	0,46					
НСР ₀₅ ,фактор А	0,12	0,01	0,05	0,12							
фактор В	0,13	0,03	0,07	0,08							
частных различий	0,15	0,04	0,09	0,21							

При использовании антистрессантов в баковой смеси с гербицидами отмечено увеличение массы колоса к массе листьев на 9,5-11,2 % по сравнению с контролем. Это свидетельствует о том, что листья продолжали накапливать ассимиляты и в фазу молочной спелости, и тем самым влияли на формирование зерновок. Увеличение отношения массы колоса к массе листьев от антидодов на фоне гербицида Прима было большим на 5,2% по сравнению с их действием на фоне Диален Супер. Независимо от гербицида большее отношение между колосом и листьями отмечено при использовании мегафола 1,30, далее в убывающем порядке шли препараты на основе селена, силиплант, гуми. Однако разница между селенитом и селенатом, силиплантом и гуми несущественна.Отношение массы колоса к массе побега было большим,

чем отношение массы колоса к массе листьев. В среднем это увеличение составило 5,1%, что свидетельствует о том, что увеличение урожайности зерна пшеницы на этих вариантах обеспечивалось в большей степени за счет оттока, накопленных ассимилятов из побега, чем из листьев.

Определение количества белка и сырой клейковины в зерне, полученном в полевом опыте, показало, что засоренность посева существенно снижала качество зерна пшеницы (табл.20).

Таблица 20— Влияние антистрессантов на фоне гербицидной обработки посева на качество зерна яровой пшеницы

		Baj	рианты опь	та – обра	ботка пос	ева			
Год	конт	роль			Гербі	ицид+			
	1	2	гербицид	NaSeO ₄	NaSeO ₃	гуми-90	мегафол		
			Яровая пп	пеница					
Содержание белка, %									
2013	11,7	10,0	10,9	12,4	12,1	11,7	12,9		
2014	12,8	12,3	12,4	12,8	12,6	13,6	14,0		
2015	14,1	12,8	13,0	13,5	14,0	15,6	15,0		
В среднем	12,87	11,70	12,10	12,90	12,90	13,63	14,30		
	HCP ₀₅ ,	%: 2013 г	-0,49;20	14 г. – 0,68	3; 2015 г.	- 0,42			
		Macco	вая доля к	пейковинь	J, %				
2013	22,7	21,3	21,0	24,0	23,2	23,9	24,2		
2014	23,4	22,9	22,6	23,2	23,0	24,8	25,0		
2015	26,2	25,1	25,5	25,9	26,8	25,1	26,0		
В среднем	24,1	23,1	23,0	24,4	24,3	24,6	25,1		
	HCP ₀₅ ,	%: 2013 I	-0,56;20	$14\Gamma 0.75$	5; 2015г. –	- 0,47	_		

В среднем за три года содержание белка снизилось на 1,17%, а сырая клейковина на 1,0% по сравнению с чистым контролем.

Использование гербицида Прима также негативно влияло на эти показатели качества. Количество белка в зерне пшеницы уменьшилось на 0,77% в среднем за три года, в том числе в 2013г. на 0,8%, в 2015г. – 1,1% (табл.20). Клейковина уменьшилась на 1,1%, 1,7 и 0,7% соответственно. Применение солей селена в комбинации с гербицидом полностью ликвидировало токсичное действие ксенобиотика, но количество белка и сырой клейковины в зерне не отличалось от его содержания в зерне с контрольного варианта.

Определение количества селена в урожае пшеницы показало, что основное количество его накапливалось в зерне независимо от изучаемых факторов (табл.21).

Таблица 21 — Содержание селена в урожае яровой пшеницы, мкг/кг сухой массы

	Варианты полевого опыта									
Год	контроль				5005	~		cej	іен	
	пер	вый	второй		гербицид		NaSeO ₄		NaSeO ₃	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
2013	51	54	42	50	46	40	60	55	60	49
2014	54	30	46	48	50	46	79	80	82	96
2015	77	82	70	39	75	84	86	95	99	122
В среднем	60,7	55,3	52,7	45,7	57,0	56,7	75,0	76,7	80,3	89,0

Примечание: Содержание селена в: 1-в соломе, 2-в зерне; $3-HCP_{05}$,мкг/кг для зерна и соломы соответственно: 2013г. -3,21,2,76; 2014г. -3,01,2,93; 2015г. -2,28,1,01.

Засоренность посева пшеницы существенно снижала содержание селена как в зерне, так и соломе. Гербицид Прима уменьшал количество селена в урожае пшеницы в меньшей степени, чем сорняки. Применение солей селена резко увеличивало количество селена в зерне на 26,4% - 35,6% по сравнению с чистым контролем в среднем за три года.

Применение селенита натрия в комбинации с гербицидом увеличивало количество микроэлемента в зерне больше, чем в варианте с селенатом натрия. Накопление селена в урожае зависело и от погодных условий. Большее накопление в урожае отмечалось при низкой влагообеспеченности (2014-2015 гг.). В соломе селена содержалось незначительно меньше, чем в зерне независимо от изучаемых факторов.

Таким образом, использование солей селена в комбинации с послевсходовым гербицидом решает не только задачу уменьшения токсичного действие ксенобиотика на формирование урожайности, но и обогащение зерна и соломы селеном, что особенно важно в регионах, где низкое содержание селена в продукции приводит к ряду заболеваний животных и человека.

4.2.2 Влияние антистрессантов в комбинации с гербицидом на урожайность и качество зерна ярового ячменя

Урожайность зерна ячменя в 2015 году оказалась выше, чем пшеницы на 2,9 ц с 1га при тех же погодных и почвенных условиях (табл. 22).

Таблица 22 — Структура урожая, урожайность зерна ячменя в зависимости от изучаемых приемов (перед уборкой урожая)

Варианты	Число зёрен в колосе	Количество белка,%	Масса 1000 зёрен,г	Урожай- ность, ц/га
Контроль 1	21,6	10,8	50,9	32,4
Контроль 2	19,1	10,3	47,2	27,0
Гербицид	20,2	10,6	48,0	28,8
Гербицид+ Na ₂ SeO ₄	26,6	10,8	51,1	33,9
Гербицид+ Na ₂ SeO ₃	26,6	11,0	54,6	35,0
Гербицид+гуми-90	25,1	11,4	53,4	34,1
Гербицид+мегафол	26,9	11,8	53,2	33,5
В среднем	23,7	11,0	51,2	32,1
HCP ₀₅	1,06	0,52	2,36	0,97

Изучение влияния антидотов на урожайность ярового ячменя показало, что наибольший эффект был получен при использовании селенита натрия в комбинации с гербицидом. Урожайность зерна превысила чистый контроль на 2,6 ц с 1 га. Увеличение урожайности происходило в основном за счет большей массы зерна и количества зерен в колосе. Далее в убывающем порядке шли препараты гуми-90, селенат натрия и мегафол, которые также снимали гербицидный стресс, но прибавки зерна были в пределах 4,6-3,4% к чистому контролю.

Определение белка в зерне ячменя не выявило достоверных изменений под действием изучаемых факторов.

Таким образом, полученные в опытах результаты свидетельствуют:

- в полевых условиях при высокой и средней засоренности посевов яровых зерновых культур происходит существенное снижение урожайности. В этих условиях сложно обойтись без химических средств защиты растений;
- применение гербицидов оказывает токсичное действие на защищаемую культуру, которое зависит от химического состава пестицида. Большее снижение урожайности зерна яровой пшеницы отмечено при опрыскивании посева гербицидом Диален Супер по сравнению с гербицидом Прима;
- использование в комбинации с гербицидами препаратов на основе аминокислот, гуминовых кислот, селена, кремния уменьшает негативное действие гербицидов, способствуя формированию урожайности не меньше, чем на контроле и в отдельных случаях повышая её;
- увеличение продуктивности зерна пшеницы и ячменя связано с усилением фотосинтетической деятельности растений. Установлена прямая корреляционная зависимость урожайности от площади листовой поверхности в период её максимума (фаза колошения), фотосинтетического потенциала, чистой продуктивности фотосинтеза и гидротермического коэффициента в среднем за вегетационный период.

ГЛАВА 5 ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ВЛИЯНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ И СЕЛЕНА НА РОСТОВЫЕ ПРОЦЕССЫ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР

Реальная продуктивность растения определяется его устойчивостью к неблагоприятным условиям окружающей среды [43, 92]. Поэтому, чтобы выжить растения подключают процессы физиолого-биохимических барьеров и защитные системы[75, 213]. Однако этого бывает недостаточно и сельско-хозяйственные культуры в таких условиях имеют низкую продуктивность.

Из большого числа разнообразных веществ, поступающих в окружающую среду из антропогенных источников, особое внимание исследователей обращено на изучение влияния тяжелых металлов на живые объекты [6, 12, 16, 21, 46, 49, 83, 87, 119, 130, 152, 201, 254].

Исследования свидетельствуют о том, что возможна эффективная интенсификация отдельных процессов, сниженных тяжелыми металлами, путем использования микроэлементов, многие из которых являются коферментами адаптивно-значимых ферментов [75].

Уменьшение негативного действия факторов окружающей среды на растения с помощью селена показано во многих исследованиях [105, 106, 112, 172, 173, 175, 188, 200, 205]. Вместе с тем, данных по влиянию этого микроэлемента на снижение негативного действия тяжелых металлов мало, либо они противоречивы.

5.1Влияние селена на продукционный процесс озимой пшеницы при загрязнении чернозема выщелоченного свинцом

Результаты полевого опыта № 2 свидетельствовали о том, что свинец проявлял токсичное действие на ростовые процессы и урожайность озимой пшеницы сорта Спектр в зависимости от уровня загрязнении почвы. При внесении его в дозе350 мг/кг почвы происходило снижение: всхожести семян, фотосинтетических показателей, высоты растений и урожайности зерна.

Дозысвинца 50 и 150 мг/кг повышали всхожесть семян, но не влияли на выживаемость растений пшеницы во время перезимовки,высоту растений и фотосинтетические показатели(табл.23).

Таблица 23 — Влияние селена на всхожесть семян, выживаемость растений и фотосинтетические показатели озимой пшеницы на почве, загрязненной свинцом

		Всхо-	Сохран-		Фаза кол	пошения		
Фон	Вари-	жесть семян	ность растений	высота растения,	ПЛП, см/1расте	ΦП, cм ² cyт./	ЧПФ,	
		%		см	ние	растение	Γ/M^2 ·cyT.	
	0	90,4	87,3	83,8	142	117	5,25	
0	Se1	91,8	88,7	86,2	156	124	5,40	
	Se2	88,7	84,2	82,1	135	103	5,01	
	0	92,6	87,9	85,5	146	119	5,36	
Pb1	Se1	93,9	88,7	86,8	152	120	5,39	
	Se2	92,0	85,2	83,2	138	94	5,00	
	0	90,8	87,4	82,2	142	105	4,95	
Pb2	Se1	92,2	87,3	83,9	155	107	5,05	
	Se2	86,2	84,2	80,1	109	90	4,83	
	0	78,8	80,2	76,4	106	78	3,72	
Pb3	Se1	79,3	81,0	77,0	118	83	3,98	
	Se2	70,2	75,6	70,1	78	52	2,98	
HCP ₀₅								
Фактор А		3,20	2,89	3,01	10,3	7,12	1,99	
Фактор В		0,98	0,73	0,68	3,28	4,01	1,01	
AB		3,24	2,99	4,9	10,11	7,32	2,04	

Селен в дозе 0,4 мг/кг почвы на естественном фоне увеличивал высоту растений на 1,4 см, а при использовании 0,8 мг снижал её на 1,7см по сравнению с фоном. При сочетании свинца с Se2 происходило снижение высоты растений на всех фонах. Особенно существенным было ухудшение ростовых процессов при сочетании Pb3+Se2.

Загрязнение почвы свинцом оказывало влияние на фотосинтетическую деятельность растений. Ассимиляционная поверхность листьев наиболее существенно снижалась под действием свинца только в дозе 350 мг/кг почвы.

Селен в первой дозе стимулировал рост листовой поверхности, а во второй — ингибировал его. Аналогично изменялся фотосинтетический потенциал и продуктивная работа листьев. Изменение фотосинтетической деятельности влияло на продуктивность озимой пшеницы.

Независимо от внесения селена на естественном фоне урожайность зерна в среднем составила 46,4 ц с1га. На фонах Pb1 и Pb2 урожайность зерна практически оставалась одинаковой с урожайностью на естественном фоне (0), находясь в пределах ошибки опыта. Внесение Pb3 уменьшало урожайность зерна на 7,1 ц с 1га по сравнению с естественным фоном (табл.24)

Внесение селена в почву в дозе 0,4мг/кг увеличивало массу зерна на естественном фоне на 1,5 ц,а при 0,8 мг/кг почвы – снижал на 2,6 ц с 1га.

Таблица 24 — Влияние селена на структуру урожая и качество зерна озимой пшеницы на почве, загрязненной свинцом (в среднем за 2 года)

Фон	Вари-	Число зёрен, в	Масса зерна с	Macca 1000	Урожай- ность,	Содеря	жание,%
ΨΟΠ	ант	колосе	1 расте- ния, г	зёрен, г	ц/га	белка	клейко- вины
	0	27,9	1,01	36,2	46,8	12,2	23,8
0	Se1	28,3	1,05	37,1	48,3	12,4	24,0
	Se2	27,1,	0,96	35,3	44,2	11,5	22,2
	0	28,3	1,05	37,0	47,4	12,2	26,0
Pb1	Se1	29,0	1,10	37,8	48,7	12,4	26,6
	Se2	27,3	0,99	36,3	46,3	12,0	23,2
	0	27,9	0,99	35,5	45,2	12,3	23,7
Pb2	Se1	28,1	1,02	36,2	46,5	12,8	22,9
	Se2	26,8	0,94	34,9	43,5	10,9	21,4
	0	24,2	0,73	30,1	40,9	10,5	20,2
Pb3	Se1	24,9	0,80	32,0	41,2	11,3	21,7
	Se2	24,0	0,55	22,9	35,9	10,2	20,0
HCP ₀₅							
фактор А		0,48	0,003	0,56	1,24	0,14	1,73
фактор Б		0,31	0,005	0,49	1,16	0,21	0,22
AB		0,52	0,006	0,97	1,61	0,32	1,95

Сочетание свинца во всех дозах с селеном в дозе 0,8мг/кг почвы снижало не только урожайность пшеницы, но и качество её зерна. Особенно сильное негативное действие на формирование продуктивности и качества

продукции было при внесении комбинации 350 мг свинца и 0,8мг /кг почвы селената натрия.

С увеличением количества свинца в почве возрастало его содержание в продукции (табл.25), причем в соломе больше, чем в зерне.

Таблица 25- Содержание свинца и селена в надземной массе пшеницы

Фон-	Ромионт	Свинеі	ц, мг/кг	Селен	,мкг/кг			
	Вариант-	зерно	солома	зерно	солома			
свинец	селен	мг/кг сухой массы						
	0	$0,27\pm0,03$	$0,41\pm0,02$	39±0,004	57±0,21			
0	0,4мг/кг	$0,27\pm0,01$	$0,36\pm0,04$	51±0,002	66±0,53			
	08 мг/кг	$0,26\pm0,03$	$0,29\pm0,01$	82±0,004	97±0,24			
50 /	0	$0,31\pm0,05$	$0,53\pm0,02$	34±0,004	53±0,43			
50 мг/кг	0,4мг/кг	$0,29\pm0,02$	$0,48\pm0,05$	47±0,001	61±0,11			
почвы	08 мг/кг	$0,33\pm0,01$	$0,42\pm0,03$	49±0,003	54±0,23			
150 257/207	0	$0,36\pm0,04$	$0,66\pm0,02$	32±0,005	49±0,34			
150 мг/кг	0,4мг/кг	$0,30\pm0,01$	$0,59\pm0,01$	39±0,004	41±0,30			
почвы	08 мг/кг	$0,27\pm0,04$	$0,56\pm0,04$	30±0,002	40±0,17			
350 мг/кг	0	$067\pm0,04$	1,04±0,01	31±0,003	37±0,24			
	0,4мг/кг	$0,59\pm0,03$	$0,89\pm0,01$	36±0,005	21±0,52			
ПОЧВЫ	08 мг/кг	$0,52\pm0,04$	$0,84\pm0,03$	29±0,007	33±0,33			

При использовании селена проявлилась тенденция к снижению содержания свинца, как в зерне, так и в соломе.

На основании результатов исследования можно заключить, что селен, внесенный в почву в дозе 0,4 мг/кг почвы, положительно влиял на рост и развитие озимой пшеницы, как при одностороннем применении, так и в сочетании со свинцом. Высокая доза 0,8 мг/кг Se, внесенная на естественном фоне чернозема выщелоченного в одностороннем порядке и в составе полиэлементной смеси, усиливала негативное действие свинца.

5.2 Влияние селена на ростовые процессы яровой пшеницы сорта Тризо при загрязнении почвы свинцом

В краткосрочном вегетационном опыте №2 было изучено действие свинца и селена на ростовые процессы яровой пшеницы на II-IVэтапах огра-

ногенеза (рис.14). Определение показателей роста растений (высоты, надземной массы, длины корневой системы, их массы) связано с тем, что они являются одними из наиболее важных интегральных параметров, отражающих физиологическое состояние растений.

Результаты исследования показали, что свинец, внесенный в почву, вызывал стресс, подавляя ростовые процессы в развивающихся растениях пшеницы. Действие стрессора зависело от примененной дозы.

У растений в варианте (Pb1) высота и биомасса были на 20 и 21% меньшей, чем у растений на контроле (естественный фон). При увеличении дозы свинца до 100 мг/кг эти показатели снижались в большей степени, чем при 50мг/кг почвы и уменьшение по сравнению с контролем составило 36 и 29% соответственно (табл.26).

Таблица 26 — Влияние селена на рост растений яровой пшеницы на начальном этапе онтогенеза при загрязнении почвы свинцом

	F	Надземные ор	ганы	Корни		
Вариант	высота	биомасса	содержание		масса	
1	расте-	одного	хлорофилла	длина, см	одного-	
	ния,см	растения,г	(а+b), мг/г с.м.		корня,мг	
Контроль	$25\pm1,3$	$0,24\pm0,012$	$2,33\pm0,13$	16±0,96	$0,44\pm0,026$	
Se1	$28\pm1,4$	$0,30\pm0,018$	$2,35\pm0,14$	13±0,85	$0,51\pm0,031$	
Se2	$17\pm1,0$	$0,09\pm0,005$	$1,86\pm0,09$	11±0,67	$0,31\pm0,020$	
Pb1	$20\pm1,2$	$0,19\pm0,009$	$1,68\pm0,10$	10±0,53	$0,28\pm0,020$	
Pb1+ Se1	26±1,6	$0,28\pm0,019$	$1,88\pm0,12$	12±0,64	$0,36\pm0,020$	
Pb1+ Se2	19±1,2	$0,16\pm0,008$	$1,03\pm0,07$	9±0,55	$0,30\pm0,015$	
Pb2	$16\pm1,1$	$0,17\pm0,011$	$1,06\pm0,11$	9±0,47	$0,21\pm0,013$	
Pb2+ Se1	$15\pm0,8$	$0,16\pm0,009$	$1,09\pm0,08$	8±0,51	$0,18\pm0,013$	
Pb2+ Se2	11±0,6	$0,09\pm0,006$	$0,89\pm0,06$	5±0,28	$0,11\pm0,067$	

Рост пшеницы зависел и от концентрации вносимого в почву селена. При дозе 0,4 мг/кг почвы селен незначительно стимулировал рост растений в высоту (4,0%) и на 17% увеличивал накопление биомассы надземных органов.Внесение вдвое большего количества свинца вызывало торможение ростовых процессов. Высотабыла меньше контрольных растений на 32%, а биомасса на 62%.

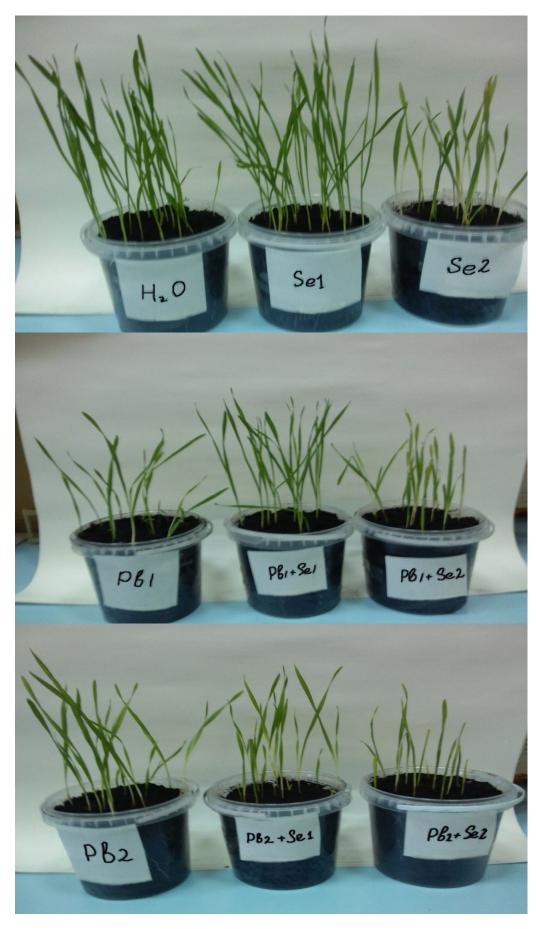


Рисунок 14 — Вегетационный опыт №3. Влияние селена на растения пшеницы на почве, загрязненной свинцом

Это еще раз подтверждает, что между количеством селена – стимулятором роста растений и количеством, которое является токсичным, мала [180, 261].

Совместное действие свинца и селена на рост растений также зависел от дозы вносимых в почву элементов. Так, у растений в варианте Pb1+Se1 наблюдали интенсификацию роста в высоту и накопление биомассы на 24 и 38%, соответственно, относительно варианта. Pb1. Внесение большей дозы селена в варианте Pb1+Se2 усугубило негативное влияние свинца. Особенно сильно негативный эффект взаимодействия свинца и селена проявился у растений варианта Pb2+Se2, где высота и биомасса надземных органов снизились на 44 и 38%, соответственно, относительно контроля.

В целом, реакция на действие разных концентраций свинца и селена на рост корней растений, которые находились непосредственно в зоне действующих факторов, была такая же, как и у надземных органов, но выраженная в большей степени. При этом следует особенно отметить, что длина корней у растений при Se1 была меньше, чем у контрольных растений почти на 20%, а их биомасса была больше, чем у растений на контроле на 15%.

Во многих работах показано, что селен улучшает работу фотосинтетического аппарата. Отмечается участие селена в продуцировании хлорофилла за счет взаимодействия с SH-группами ферментов, участвующих в его синтезе [122, 191, 198].

Определение содержания хлорофилла (а+б)в листьях пшеницы показало, что под влиянием свинца, количество фотосинтетических пигментов снижалось в зависимости от дозы стрессового фактора. Так, в листьях растений в вариантах Pb1 и Pb2 концентрация пигментов была ниже на 28 и 31%, соответственно, относительно контроля.

Улучшению ситуации способствовало внесение селена в дозе 0,4мг/кг почвы как у растений в варианте Pb1+Se1, так в варианте Pb2+Se1, где количество хлорофилла возрастало на 12% относительно варианта Pb1 и на 5,8% относительно варианта Pb2.

Увеличение дозы свинца до 100 мг/кг и селена лр 0,8мг/кг почвы подавляло процесс образования хлорофилла, тем самым оказывая влияние нафизиологические процессы. Количество хлорофилла в листьях пшеницы от действия этой полиэлементной смеси снизилось на 62%.

Проведенное исследование позволяет заключить, что свинец является сильным стрессором, который подавляет ростовые процессы и образование хлорофилла (а+б) у растений яровой пшеницы на начальном этапе онтогенеза культуры.

5.3 Влияние обработки семян солями свинца, кадмия и селена на ростовые процессы зерновых культур на ранних этапах онтогенеза

В лабораторном опыте было изучено влияние свинца, кадмия и селена на ростовые процессы зерновых культур на начальном этапе онтогенеза.

Изучение действия тяжелых металлов — свинца и кадмия — на всхожесть семян разных видов и сортов зерновых культур показало, что большее негативное действие оказывал кадмий. Кадмий снижал всхожесть семян яровой пшеницы на 30,8 % и ячменя — на 16,9% в среднем по сортам по сравнению с контролем (вода). Свинец уменьшал всхожесть семян — 6,2 и 3,8% соответственно (рис. 15).

Селен не оказывал влияния на всхожесть семян пшеницы, но увеличивал её на 5,0 процентов у семян ячменя. Внесенный совместно с металлами, селен снижал ингибирующее действие кадмия и свинца на лабораторную всхожесть семян яровых культур.

В условиях Среднего Поволжья, где часто повторяются весенние засухи и в начальный период роста ранних зерновых культур, как правило, низкие запасы влаги в почве, особое значение имеет способность зерновых культур и их сортов адаптироваться к таким условиям и быстро развивать корневую систему.



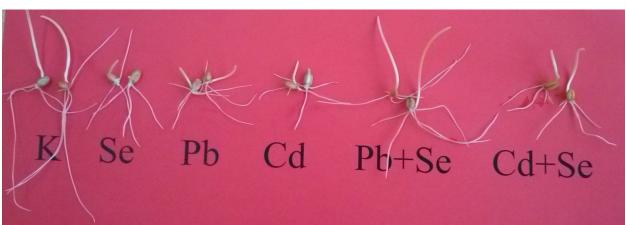


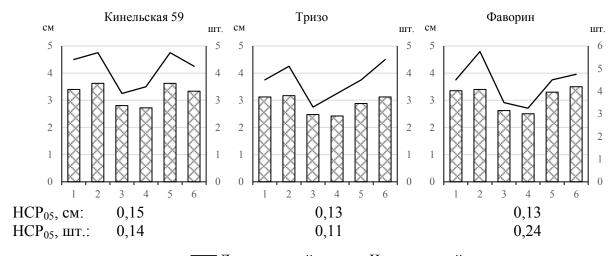


Рисунок 15 — Лабораторный опыт. Действие тяжелых металлов и селена на семена пшеницы

В литературе отмечается, что реакция корневой системы растений на начальных этапах онтогенеза может служить показателем степени устойчивости сорта на изменение факторов среды [19, 54, 67].

В результате проведенного опыта установлено, что устойчивость ранних яровых зерновых культур на начальных этапах онтогенеза зависит от способности клеток корня противостоять действию негативного фактора.

Оба металла ингибировали рост корневой системы независимо от вида растений Действие свинца и кадмия на развивающуюся корневую систему растений различалось. Кадмий сильней, чем свинец подавлял формирование корней, как пшеницы, так и ячменя. У пшеницы отмечено уменьшение количества зачаточных корней в среднем от кадмия на 21,6%, свинца 17,6%; у ячменя — на 9,2 и 8,2% соответственно по сравнению с контролем. Длина корней снижалась от кадмия в среднем на 22,5 %, от свинца на 20,1% у пшеницы и 11,6 и 8,7%— у ячменя (рис. 16, прилож.17).



Длина корней — Число корней
 1 –Контроль; 2 – Se; 3 – Pb; 4 – Cd; 5 – Se+Pb; 6 – Se+Cd

Рисунок 16 — Влияние тяжелых металлов и селена на длину и число корней 14-ти дневных растений яровой пшеницы

Селен увеличивал число корней пшеницы в среднем на 15,8%, но незначительно снижал этот показатель у ячменя.

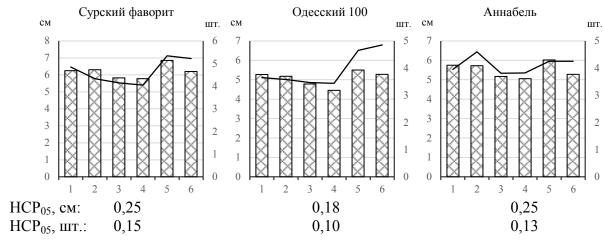
Таким образом, по негативному воздействию на формирование первичной корневой системы яровых зерновых культур элементы можно расположить следующей последовательности: Cd>Pb>Se.

Следует отметить, что действие тяжелых металлов и селена на развитие корневой системы зависело не только от вида растений, но и от генетических особенностей сорта.

Под действием кадмия длина корней, по сравнению с контролем, уменьшалась по сортам в следующей последовательности: Фаворит>Тризо>Кинельская 59.

Селеновая соль практически не влияла на длину корней у сортов Фаворит и Тризо, но увеличивала её у сорта Кинельская 59 6,5%.

Сорта ячменя реагировали на тяжелые металлы также неравнозначно. Наиболее сильно металлы подавляли образование корней у сорта Сурский фаворит (рис. 17, прилож.18).



Длина корней — Число корней 1 –Контроль; 2 – Se; 3 – Pb; 4 – Cd; 5 – Se+Pb; 6 – Se+Cd

Рисунок 17— Влияние тяжелых металлов и селена на длину и число корней 14-ти дневных растений ячменя

Количество корней, по сравнению с контролем, снижалось у сорта Сурский Фаворит от селена на 10,7%, от свинца — на 14,4%, от кадмия—16,5%. В то время как у сорта Аннабель снижение от свинца было только на 3,5%, кадмия — 3,3%. Селенат натрия увеличивал количество зародышевых

корней на 16,5% по сравнению с контролем. Вместе с тем, у сорта Сурский фаворит происходило большее уменьшение длины корней от кадмия, чем у других сортов ячменя. Аналогично изменялась масса корней (табл.27).

Таблица 27— Влияние тяжелых металлов и селена на массу первичной корневой системы 14-ти дневных растений, г/100 корней

Сорта			В	арианты					
Сорта	контроль	Se	Pb	Cd	Se+Pb	Se+Cd	НСР		
Яровая пшеница									
Кинельская	0,90	0,89	0,76	0,75	0,89	0,89	0,005		
Тризо	0,88	0,88	0,71	0,75	0,87	0,89	0,011		
Фаворит	0,88	0,89	0,72	0,72	0,89	0,89	0,014		
В среднем	0,887	0,887	0,730	0,740	0,883	0,890			
		Я	чмень						
Сурский фаворит	0,96	0,93	0,85	0,83	1,15	1,12	0,05		
Одесский 100	1,05	0,95	0,80	0,78	1,29	1,03	0,05		
Аннабель	1,03	0,91	0,82	0,81	1,19	1,03	0,07		
В среднем	1,01	0,93	0,82	0,81	1,21	1,06			

Действие металлов на показатели корневой системы растений исследователи связывают с тем, что при прорастании семени нарушается целостность семенной кожуры, что приводит к проникновению тяжелых металлов в ткани зародыша, что впоследствии приводит к ингибированию роста растения после прорастания семени[103]. Кроме того, отмечается снижение дыхания корней, что может вызвать ухудшение развития растения.

В увеличении продуктивности яровых зерновых культур имеет значение не только количество корней и скорость их нарастания, но и площадь общей и рабочей адсорбирующей поверхности корневой системы.

Под действием селената натрия доля рабочей поверхности в общей адсорбирующей поверхности корней обеих культур увеличивалась.

Селен повышал рабочую поверхность корневой системы 14-ти дневных проростков у пшеницы в среднем на 14,2%, ячменя –6,8%.

В зависимости от сорта пшеницы происходило её увеличение от 5,7 % у сорта Тризо до 20,5% у сорта Фаворит. У сортов ячменя: от 8,8% у сорта Сурский фаворит до 10% сорта Одесский 100.

Изменения ростовых процессов отмечено и у развивающихся ростков. Присутствие в растворе кадмия и свинца привело к уменьшению длины и массы ростков, как пшеницы, так и ячменя. Снижение этих показателей зависело от сортовых особенностей культуры (табл. 28, 29).

Таблица 28 — Влияние тяжелых металлов и селена на ростки 14-ти дневных растений яровойпшеницы

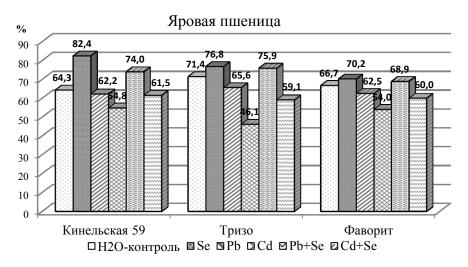
Сорта	Варианты							
	Контроль	Se	Pb	Cd	Se+Pb	Se+Cd	HCP, %	
Длина ростков, см								
Кинельская	10,35	12,94	11,00	7,28	10,28	10,33	0,15	
Тризо	10,72	12,86	9,67	8,20	10,69	10,62	0,13	
Фаворит	11,30	9,88	10,25	8,80	10,30	10,90	0,17	
Масса ростков, г /100растений								
Кинельская	1,02	0,890	0,860	0,750	0,990	0,890	0,045	
Тризо	0,98	0,880	0,810	0,750	0,970	0,890	0,091	
Фаворит	1,07	0,890	0,820	0,720	0,897	0,890	0,034	

Таблица 29— Влияние тяжелых металлов и селена на ростки14-ти дневных растений ячменя

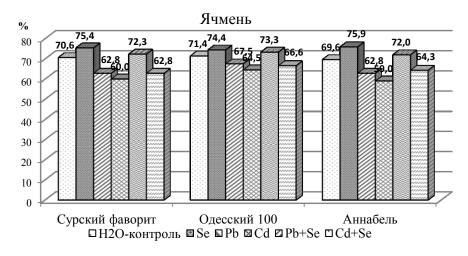
Сорта	Варианты							
Сорта	H ₂ O	Se	Pb	Cd	Se+Pb	Se+Cd	HCP, %	
Длина ростка, см								
Сурский фаворит	6,25	6,30	5,78	5,82	6,85	6,90	0,25	
Одесский 100	5,27	5,18	4,78	4,85	5,50	5,68	0,18	
Аннабель	5,75	5,72	5,17	5,15	6,02	5,98	0,25	
Масса ростков, г.								
Сурский фаворит	0,96	0,93	0,85	0,83	1,15	1,12	0,05	
Одесский 100	1,05	0,95	0,80	0,78	1,29	1,23	0,05	
Аннабель	1,03	0,91	0,82	0,81	1,19	1,23	0,07	

Одностороннее применение селена несколько ингибировало длину ростков у всех сортов ячменя, кроме сорта Одесский 100, у пшеницы – только у сорта Фаворит и увеличивало её у сортов Тризо и Кинельская 59 на 25-20% соответственно по сравнению с контролем.

Результаты анализа растений в 35-ти дневном возрасте показали, что тяжелые металлы оказывали влияние на формирование общей и рабочей адсорбирующей поверхности корневой системы (рис.18).



 HCP_{05} для сортов -5,27, вариантов -7,46, частных различий -12,91%



 HCP_{05} для сортов -5,85, вариантов -5,46, частных различий -12,1%

Рисунок 18 — Доля рабочей поверхности в общей адсорбирующей поверхности корневой системы яровой пшеницы и ячменя

Доля корневой системы в общей биомассе 35-дневных растений при свинцовом действии составляла 40,8%, кадмиевом—31,4%, т.е. оба тяжелых

металла в первую очередь проявляли фитотоксичность в отношении корневой системы растения (табл.30).

Таблица 30 — Влияние свинца, кадмия и селена на биомассу 35-ти суточных растений яровой пшеницы и ячменя

Сорта	Варианты							
Сорта	H ₂ O	Se	Pb	Cd	Pb+Se	Cd+Se		
Яровая пшеница								
	Общая масса, г/ 10растений							
Кинельская 59	1,09	1,43	1,26	0,83	1,35	1,08		
Тризо	0,92	1,34	1,20	0,81	1,32	1,07		
Фаворит	0,86	1,30	1,22	0,88	1,31	1,13		
	Macc	а, ростков	s, г / 10pac	гений				
Кинельская 59	0,83	0,34	0,70	0,54	0,79	0,70		
Тризо	0,68	0,56	0,75	0,51	0,63	0,73		
Фаворит	0,69	0,80	0,53	0,49	0,54	0,56		
Масса корней, г / 10 растений								
Кинельская 59	0,36	1,09	0,56	0,29	0,62	0,38		
Тризо	0,36	0,78	0,45	0,30	0,69	0,34		
Фаворит	0,40	0,50	0,69	0,39	0,81	0,57		
	Ячмень							
	Обі	цая масса,	г/10 расте	ение				
Сурский фаворит	1,18	1,45	1,09	0,73	1,26	0,93		
Одесский 100	1,76	2,11	1,64	1,39	1,97	1,70		
Аннабель	2,12	2,65	1,99	1,27	2,34	1,86		
Надземная масса, г / 10 растений								
Сурский фаворит	0,68	0,76	0,64	0,37	0,67	0,43		
Одесский 100	1,14	0,93	1,07	0,98	1,14	0,70		
Аннабель	1,54	1,22	1,47	0,74	1,36	0,80		
Масса корней, г / 10растений								
Сурский фаворит	0,50	0,69	0,45	0,36	0,59	0,50		
Одесский 100	0,62	1,18	0,57	0,41	0,83	1,00		
Аннабель	0,58	1,43	0,52	0,43	0,98	1,06		

Примечание: HCP_{05} биомассы корней: для сортов пшеницы -0.026; вариантов— 0.018; взаимодействие -0.044; для сортов ячменя -0.038; вариантов— 0.021; взаимодействие -0.049.

При применении селената натрия общая биомасса увеличивалась у пшеничного растения в среднем в 1,42 раза по сравнению с контролем, при этом 58,2% её приходилось на корневую систему растения.

Эффективность действия селена на ростовые процессы пшеницы зависела от сортовых особенностей культуры. Набольшее влияние микроэлемент оказывал на сорт Фаворит, далее следовали сорта Кинельская 59 и Тризо.

Селен, в комбинации с кадмием, увеличивал корневую биомассу растений пшеницы в среднем по сортам в 1,32 раза, со свинцом 1,25 раза — по сравнению с биомассой при одностороннем использовании металлов.

Аналогичные тенденции отмечены и у ячменя. Наименее подверженным действию тяжелых металлов оказался сорт Одесский 100 > Аннабель > Сурский фаворит.

Таким образом, результаты изучения влияния селена на устойчивостьрастений ранних яровых культурк стрессу, вызванному воздействием свинца и кадмия на семена, свидетельствуют о защитных функциях данного микроэлемента

Проведенный эксперимент еще раз подтверждает результаты других исследователей о том, что селен проявляет ростостимулирующее действие на начальном этапе онтогенеза и, в первую очередь, влияет на длину, количество корней и их адсорбирующую поверхность, тем самым повышает устойчивость сельскохозяйственных культур к условиям техногенного загрязнения солями тяжелых металлов [105, 108, 175, 200, 228].

Эффективность селена при воздействии свинца и кадмия на семена злаковых культур зависит от вида растений и их сортовой специфики.

Выявленные сортовые различия отзывчивости яровой пшеницы и ячменя на свинец и кадмий, а также особенности реакции сортов на селен в условиях загрязнения растений тяжелыми металлами, следует учитывать при оценке селекционного материала.

ГЛАВА 6. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ВЛИЯНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ И СЕЛЕНА НА БИОХИМИЧЕСКИЙ СТАТУС ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ

Растения, являясь основными продуцентами в биоценозах, постоянно подвергаются кратковременному или постоянному действию неблагоприятных факторов окружающей среды. Изменения экологических условий выращивания сельскохозяйственных культур, связанные в значительной степени с хозяйственной деятельностью человека, вызывают стресс, который влияет на рост, развитие и продуктивность растений.

Негативное действие стрессоров различной природы приводит к усилению генерации активных форм кислорода в клетках растений [53, 154, 269].

Активные формы кислорода, являясь продуктами нормального метаболизма, влияют на многие биохимические процессы в растениях. Абсолютно все системы жизнеобеспечения клетки — обмен липидов и активность мембраносвязанных ферментов, ионный транспорт, энергопродуцирующие процессы, лигнификация клеточных стенок, передача стрессорного сигнала — требуют определенной концентрации АФК, но инактивируются или повреждаются их избытком [10, 150, 151, 264].

В нормальных условиях АФК поддерживаются на безопасном уровне системой защиты, представленной множеством взаимосвязанных окислительно-восстановительных реакций. В этих реакциях участвуют антиоксидантные ферменты – супероксиддисмутаза, различные пероксидазы, каталазы, ферменты аскорбат-глутатионового цикла и низкомолекулярные соединения – аскорбиновая кислота, пролин, каротиноиды, антоциановые вещества, витамин Е, α-токоферол, восстановленный глутатион, полиамины и другие соединения [29, 129,131, 148, 176, 196, 208, 244].

В стрессовых условиях в результате неконтролируемого образования свободных радикалов, которые включают перекись водорода, синглетный кислород, супероксид-анион-радикал и гидроксильный радикал, в клетках

растений изменяется баланс между их образованием и системой антиоксидантной защиты в пользу первого [68, 150, 153]. В этом случае активные формы кислорода могут реагировать с белками, липидами, нуклеиновыми кислотами, изменяя и даже повреждая их структуру. Усиливается перекисное окисление липидов, нарушается структура ДНК, пигментов и других клеточных компонентов, что может приводить к повреждению всего растительного организм [190,211, 268].

Тяжелые металлы, включая свинец и кадмий, как известно, вызывают перепроизводство АФК и, следовательно, интенсификацию перекисных процессов [68,150, 227, 232, 234, 252].

Избыточное количество АФК усиливает окислительное повреждение органических соединений, включая мембранные липиды в клетках [187, 247, 253]. Одним из основных продуктов разложения полиненасыщенных жирных кислот в биомембранах является малоновыйдиальдегид (МДА), или, более точно, реагирующие продукты тиобарбитуровой кислоты (ТБКРп) [225, 265].В качестве индикатора окислительных процессов, происходящих при стрессах, широко используется показатель ТБКРп.

В краткосрочном вегетационном опыте № 2 нами было изучено влияние селена как антиоксиданта на уровень перекисного окисления липидов биомембран, активность антиоксидантных ферментов и свободного пролина.

Исследования показали, что свинец интенсифицировал окислительный стресс, что приводило к увеличению содержания продуктов, тестируемых по ТБКРп. Содержание продуктов, реагирующих с тиобарбитуровой кислотой, зависело от дозы внесенного свинца. Так, в листьях растений пшеницы, на почве загрязненной свинцом, ТБКРп в варианте Pb1 возросло на 44%, с более высокой дозой свинца (100 мг/кг) – на 53% относительно контроля(табл. 31).

Селен в дозе 0,4 мг/кг снижал уровень перекисного окисления липидов на 11%, а в дозе 0,8 мг/кг почвы — повышал на 56% по сравнению с контрольными растениями.

Таблица 31 — Влияние селена на интенсивность деструктивных процессов (ТБКРп), активность ферментов аскорбатпероксидазы (АсП), глутационредуктазы (ГР), и гваяклпероксидазы (ГПХ) в листьях проростков пшеницы сорта Тризо

Вариант	ТБКРп*	АсП,	ГР,	ГПХ,
	(нм/г с.м.)	μмол /г с.м./мин	μмолг с.м/мин	μмол/гс.м./мин
Контроль	219±13,1	35±2,1	$0,49\pm0,03$	14,1±0,9
Se1	196±12,7	49±3,2	$0,51\pm0,03$	10,4±0,6
Se2	342±23,9	43±2,7	$0,91\pm0,05$	30,8±1,6
P1	335±21,7	38±1,9	$0,61\pm0,01$	19,9±1,3
Pb1+ Se1	296±19,7	41±2,6	$0,59\pm0,03$	17,3±1,1
Pb1+ Se2	381±23,4	47±2,9	$0,58\pm0,03$	27,4±1,4
Pb2	377±24,5	34±1,7	$0,67\pm0,04$	25,3±1,5
Pb2+ Se1	325±21,1	58±3,7	$0,73\pm0,05$	24,7±1,6
Pb2+ Se2	292±18,9	51±3,3	$1,00\pm0,07$	22,1±1,4

Примечание: 1. приведены средние абсолютные значения из 3-4 повторений; 2. с.м. – сырая масса.

Совместное использование свинца и селена у растений варианта Pb1+Se1 приводило к снижению интенсивности окислительной деструкции на 17%, относительно уровня варианта Pb1, но при этом все еще оставалась выше (на 27%), контрольных значений.

В листьях растений в варианте Pb1+Se2содержание ТБКРп возросло на 30%, относительно количества в растениях варианта Pb1 и было на 74% выше контрольного уровня. Содержание ТБКРп в листьях растений с варианта Pb2 было на 72% выше, чем в контроле. В листьях пшеницы варианта Pb2+Se1 содержание ТБКРп было достоверно выше, чем в контроле, но ниже, чем в листьях растений на почве с дозой 100 мг/кг свинца.

При внесении селена в двойной дозе совместно с высокой дозой свинца в листьях регистрировалось снижение содержания ТБКРп по сравнению с содержанием в растениях варианта Pb2.

Интенсивности перекисных процессов в корнях оказалась ниже, чем в листьях (табл.32).

Так содержание ТБКРп в контрольном варианте составляло 109 нмоль/г сырой массы или в 2,0 раза было ниже, чем в листьях.

Таблица 32 — Влияние селена (Se) на интенсивность деструктивных процессов, активность антиоксидантных ферментов в корнях проростков пшеницы сорта Тризо при загрязнении почвы свинцом

Вариант	ТБКРп,	АсП,	ГР,	ГПХ,
	нм/г с.м.	μмол /г с.м./мин	μмолг с. м./мин	μмол / г с.м. мин
Контроль	109±7,1	34±2,2	$0,36\pm0,2$	39,8±2,6
Se1	94±6,3	47±3,1	$0,48\pm0,3$	$29,4\pm2,1$
Se2	$137\pm6,7$	42±2,8	$0,43\pm0,3$	69,6±4,4
Pb1	$136\pm7,8$	55±3,3	$0,59\pm0,4$	23,4±1,6
Pb1+ Se1	$90\pm0,54$	49±2,8	$0,49\pm0,2$	$31,7\pm2,1$
Pb1+ Se2	$120\pm7,2$	$31\pm2,0$	$0,37\pm0,2$	56,6±3,4
Pb2	$158\pm 9,7$	33±2,1	$0,30\pm0,2$	54,2±3,2
Pb2+ Se1	97±6,3	26±1,6	$0,33\pm0,2$	55,1±3,3
Pb2+ Se2	76±4,9	24±1,4	$0,30\pm0,2$	47,3±3,1

Свинец, также как и в первом случае, инициировал интенсификацию перекисных процессов. Содержание ТБКРп в корнях растений с вариантов Рb1 и Pb2 возрастало на 25 и 49% соответственно, относительно контроля.

Реакция на действие селена зависела от концентрации вносимого в почву элемента. В корнях растений с варианта Se1 содержание ТБКРп снижалось на 14%, а у Se2 – возрастало на 26%, относительно контроля.

Использование свинца в дозе 50 мг совместно с селеном в дозе 0,4 мг/кг почвы сопровождалось снижением интенсивности окислительной деструкции на 42% относительно варианта Pb1. В варианте Pb1+Se2 нивелирующий эффект селена на действие свинца был выражен в меньшей степени. Следует отметить, что внесение селена 0,4 и 0,8мг/кг почвы совместно с высокой дозой свинца сопровождалось снижением интенсивности перекисных процессов.

Известно, что в детоксикации перекиси водорода принимают участие ферменты аскорбат—глутатионового цикла, механизм функционирования которого заключается в восстановлении пероксида водорода до воды с участием аскорбата и аскорбатпероксидазы [25, 149, 243, 267, 270].

Изучение действия свинца и селена на активность аскарбатпероксидазы показало, что под влиянием свинца в условиях данного эксперимента достоверного возрастания активности АсП не обнаружено.

Реакция АсП на действие селена зависела от концентрации вносимого в почву элемента. В листьях двухнедельных проростков под влиянием селена она была выше при внесении Se1 на 38% и Se2 – на 24% по сравнению с контрольными растениями.

Максимальный уровень АсП активности был зарегистрирован в листьях пшеницы при использовании смеси Pb 100 мг/кг + Se 0,4 мг/кг почвы. В растениях варианта свинец 100 мг + селен 0,8 мг/кг почвы наблюдалось снижение активности фермента почти на 30% относительно контроля.

Активность фермента в корнях под влиянием свинца в дозе 50мг/кг почвы достоверно увеличивалась. Превышение активности в растениях контрольного варианта составило 62%. Удвоение количества внесения свинца не изменяло активности АсП по сравнению с контролем. Синергизм элементов в варианте Pb1+Se1 сопровождался возрастанием активности фермента на 44%, а в вариантах Pb2+Se1 и Pb2+Se2 — снижением на 24 и 29%, соответственно, относительно контроля.

Под действием солей изучаемых элементов происходили изменения активности ферментов глутатионредуктазыигваяколпероксидазы.

Активация фермента ГР под действием свинца зависела от концентрации элемента в почве. При внесении 50 мг она возрастала на 24%, при 100 мг/кг почвы – на 37% по отношению к контролю.

Достоверный прирост активности фермента (на 86% выше контроля) наблюдался в листьях пшеницы в варианте Se2. Активность ГР в листьях Se1-растений незначительно отличалась от контроля.

Свинец совместно с селеномусиливал активацию ГР на 49% у растений в варианте Pb2+Se1 и снижением на 33% в листьев растенийварианта Pb2+Se2.Под влиянием свинца в дозе 50 мг/кг активность фермента возрастала в корнях на 64% и опускалась ниже контроля на17% у растений в варианте с внесением 100 мг/кг.

Активность ГР в корнях (Se1) и (Se2)–растений превышала контрольный уровень на 33 и 19%, соответственно.

Совместное действие элементов приводило к возрастанию активности ΓP на 36% в варианте Pb2 + Se1 и снижению почти на 20% у растений в вариантах Pb2 + Se1 и Pb2 + Se2.

Под действием свинца наблюдалось повышение активности фермента гваяколпероксидазы (ГПХ), зависимое от концентрации стрессора. При использовании Рb1 прирост активности ГПХ в листьях пшеницы составил 42%, Pb2—79% по сравнению с контролем.

Селен изменял активность фермента следующим образом. В листьях растений с варианта Se1 активность фермента снижалась на 26%, а у растений с варианта Se2была более, чем в 2 раза выше контрольного уровня.

Совместное действие свинца и селена сопровождался достоверным возрастанием активности фермента в листьях растений во всех вариантах, кроме варианта Pb2+Se2, где отмечалось снижение активности фермента.

В корнях растений, в отличие от листьев, активация ГПХ наблюдалась как при внесении Se1, так и Se2. Совместное действие свинца и селена сопровождалось возрастанием активности фермента у растений варианта Pb1+Se1относительно Pb1, а у Pb1+Se2 относительно Pb1 и контроля. У вариантов Pb2+Se1 и Pb2+Se2 активность ферментов снижалась на 10 и 21% относительно контроля, соответственно.

Проведен анализ растений пшеницы в фазу молочной спелости зерна.

Изучение влияния свинца и селена на X этапе онтогенеза выбрано в связи с тем, что в это время закладываются все части и зачаточные органы зародыша, происходит быстрое нарастание клеток за счет растяжения, при этом увеличивается уровень дыхания. Это приводит к снижению концентрации участников антиоксидантной защиты клетки и к максимальной восприимчивости растения к стрессам [10, 62, 162, 243].

Результаты определения в листьях пшеницы интенсивности перекисных процессов, тестируемых по содержанию ТБКРп, показало, что свинец в дозах 50 и100 мг на1кг почвы в фазу молочной спелости мало влиял на окисление липидов. Возможно, это связано с тем, что, поступая с техногенными

выбросами в автоморфные почвы, свинец быстро переходит в новые устойчивые формы, среди которых основную долю составляют прочносвязанные металл - органические комплексы [5, 27, 49]. Связываясь в почвах, свинец достаточно быстро теряет подвижность, биодоступность и, соответственно, становится менее токсичным для растений.

Возможно, ко второй половине вегетации культуры восстанавливается система защиты клетки от действия стрессора. Однако в растениях, находящихся в фазе молочной спелости, просматривается тенденция увеличения перекисных процессов под действием повышенной дозы свинца.

Селен в дозах 0,4 и 0,8мг/кг почвы ингибировал процессы ПОЛ, увеличивая ТБКРп на 11,8 и 2,8% соответственно по сравнению с содержанием их в листьях контрольного варианта.

При использовании селена совместно со свинцом происходило снижение содержания в листьях продуктов перекисного окисления липидов биомембран.

Аналогичные данные получены в опытах с райграсом, где был обнаружен антиоксидантный эффект при внесении низких концентраций селена, однако при применении его в высоком количестве, напротив, усиливались окислительные процессы в растениях [189].

Селен ингибирует перекисное окисление липидов посредством увеличения уровней глутатиона. Эти данные свидетельствуют в пользу того, что механизм селенового протекторного действия включает подавление образования супероксиданиона — основного инициатора процессов свободнорадикального окисления липидов [10, 250, 272, 273].

Учитывая, что стабильное состояние клеточных мембран и, прежде всего, целостность их липидного компонента является важнейшей составной частью устойчивости растений к неблагоприятным внешним воздействиям, можно считать, что антистрессовая функция селена в растениях пшеницы состоит в снижении уровня и разрушительных последствий окислительного стресса [238, 251].

Определение супероксиддисмутазы (СОД), которая катализирует лимитирующую стадию в процессе превращения супероксиданиона в другие активные формы кислорода, показало, что в насыщенных свинцом растениях активность фермента зависела от дозы металла, внесенного в почву. При низкой дозе свинца активность СОД была на уровне контроля, а при высокой она увеличилась всего лишь на 7,2%. Активность супероксиддисмутазы возрастала под действием селена на фоне Рb1незначительно (на 5,3%), на фоне Рb2 в 1,17-1,12 раза. Повышение активности СОД при стрессах отмечали и другие исследователи [106, 174, 269].

Наши исследования показали, что активность аскорбатпероксидазы на фоне низкого загрязнения почвы свинцом была ниже, а на высоком фоне – выше на 14,1% по сравнению с активностью в листьях контрольных растений. Применение селената натрия на фоне низкого загрязнения почвы свинцом уменьшало активность АсП, при высоком загрязнении (варианты Pb2+Se1, Pb2+Se2) – увеличивало её к фону на 17,2-7,1% дозы селена, соответственно (табл. 33).

Таблица 33 — Влияние свинца и селена на интенсивность перекисных процессов, активность антиоксидантных ферментов (СОД, АсП, ГР и ГПХ) и накопление свободного пролина в листьях яровой пшеницы в фазу молочной спелости

Вариант	ТБКРп (нм/г с.м.)	ТБКРп нм/мг хл	СОД, ед/г см	АсП, µмол / г с.м. /мин	ГР, µмол г с.м. /мин	ГПХ, µмол / г с.м./мин	Пролин, мг/%
Контроль	67,7	31,8	375	10,50	1,78	0,308	18
Se1	75,7	36,04	390	11,15	1,57	0,462	34
Se2	69,6	34,9	389	11,62	1,98	0,404	21
Pb1	62,2	29,9	377	10,34	1,61	0,420	49
Pb2	66,4	33,9	402	11,99	1,60	0,424	57
Pb1+Se1	44,6	16,8	397	9,79	1,67	0,572	41
Pb1+Se2	44,6	16,8	397	9,79	1,67	0,572	34
Pb2+Se1	72,0	26,9	441	12,12	1,42	0,573	50
Pb2+Se2	60,0	24,2	450	12,84	1,54	0,585	44

Примечание: 1.с.м. – сырая масса листьев. Данные таблицы представляют средние значения; ошибка средней величины не превышает 5-7%.

Под действием свинца активность глутатионредуктазы снижалась на 9,6-10,1% относительно содержания в контрольных растениях, что хорошо коррелирует с уровнем перекисных процессов. При использовании селена на фоне загрязнения почвы свинцом ГР в листьях пшеницы изменялась незначительно (3,7-4,4%). Под влиянием свинца увеличивалась активность гвая-колпероксидазы на 26,3-36,1% по сравнению с активностью её в контрольных растениях. Селен, на почве загрязненной свинцом, активизировал действие ГПХ в подавлении реакционных форм кислорода. Активность фермента повышалась относительно свинцового фона на 41,8-38,8% (варианты Pb2+Se1, Pb2+Se2).

Кроме того, в данном опыте изучалось содержание свободного пролина в качестве маркера фитотоксичности при загрязнении среды свинцом. Свободный пролин и пролин в составе белковой молекулы — обязательные компоненты любой клетки. Иминокислотапролин является одним из широко распространенных метаболитов в высших растениях [15, 59, 256]. При стрессах пролин участвует в осморегуляции, в антиоксидантной защите (по утилизации гидроксильных радикалов), работает как энергетический субстрат, регулирует рН в клетке [96,135, 147, 197].

Осморегуляторная роль пролина заключается в повышении осмотического давления клеточного сока и сопровождается увеличением устойчивости растений на фоне снижения водного потенциала почвенного раствора.

Пролин, регулируя физическое состояние ДНК, облегчает процессы ее репликации и транскрипции, что может иметь большое значение при стрессе. Кроме того, при стрессе пролин может выступать в качестве водосберегающего пути фиксации углекислоты [59,202, 259].

Антиоксидантные свойства пролина связывают с его способностью стабилизировать структуры белков и мембран за счет образования гидрофильных оболочек. Такие образования препятствуют инактивации белков гидроксильными радикалами и синглетным кислородом, образование которых индуцируется в условиях действия многих стрессоров [59, 203, 220, 245, 259, 266].

Внесение в почву азотнокислой соли свинца перед посевом пшеницы проявляло негативное действие даже в фазу молочной спелости зерна, которое выразилось в увеличении содержания свободного пролина в листьях в 2,7-3,2 раза по сравнению с контролем, в котором растения не подвергались стрессовому воздействию свинца.

Полученные нами данные еще раз подтверждают результаты других исследователей о том, что при действии любых стрессоров растения реагируют быстрым увеличением содержания в клетках свободного пролина [15, 135, 137,192].

Селен, внесенный совместно со свинцом в почву, уменьшал количество пролина в листьях по сравнению с содержанием его при внесении только свинца. На фоне свинца в 50 мг на 1кг почвы селен в дозе 0,4 мг на 1кг снижал накопления пролина на 16,4%, а при 0,8 мг на 1кг почвы — на 30,6% (табл. 33). По мере увеличения дозы свинца эффективность действия селена несколько уменьшалась, а количество свободного пролина не превышало 87,7% и 77,2% относительно соответствующего его количества в листьях при дозах свинца 50 и 100 мг на 1кг почвы.

Как отмечают исследователи, это, возможно, связано с тем, что селен является катализатором накопления пролина и, одновременно, организатором его утилизации как энергетического материала в стрессовых условиях путем включения пролина как дополнительного субстрата в альтернативную дыхательную систему [10, 18, 193].

В лабораторном опыте изучалась активность ферментов каталазы и пероксидазы в зависимости от обработки семян яровой пшеницы солями свинца, кадмия и селена. Результаты опыта свидетельствуют о том, что при непосредственном соприкосновении тяжелых металлов с семенами разных сортов яровой пшеницы наблюдался стресс как у 14-ти, так и у 35-дневных растений, который проявлялся в изменении активности ферментов в корнях и надземных органах культуры (табл. 34, 35).

Таблица 34 — Изменение активности каталазы и пероксидазы под влиянием свинца,кадмия и селена в корнях яровой пшеницы

D	Варианты опыта	Сорта пшеницы						
Возраст проростков		Кинельская 59		Тризо		Фаворит		
		1	2	1	2	1	2	
14 дней	Н ₂ О-контроль	0,97	1,92	0,94	1,21	0,96	1,20	
	Se	0,93	3,17	0,92	2,98	0,93	2,91	
	Pb	1,26	2,00	0,98	1,30	1,11	1,68	
	Cd	1,60	4,03	1,32	5,12	1,29	5,46	
	Pb+Se	1,18	3,21	0,97	1,56	0,97	2,32	
	Cd+Se	1,04	2,05	1,01	2,14	0,99	2,49	
HCP ₀₅		0,13	0,97	0,19	0,14	0,06	1,14	
35 дней	Н ₂ О-контроль	0,93	2,10	0,82	1,13	0,94	1,35	
	Se	0,90	2,16	0,76	1,68	0,90	2,63	
	Pb	0,94	2,00	0,84	1,46	0,73	1,39	
	Cd	1,11	4,03	0,99	4,20	1,02	4,99	
	Pb+Se	0,95	2,99	0,93	2,32	0,96	2,42	
	Cd+Se	0,99	4,02	0,99	4,54	0,99	5,03	
HCP ₀₅		0,018	1,21	0,06	0, 31	0,014	1,16	

Примечание * активность ферментов: 1.— каталазы, мкмоль H_2O_2 мин⁻¹ Γ -1 сырой массы; 2 — пероксидазы, Е мин⁻¹ Γ -1 сырой массы.

Высокая активность каталазы в корнях пшеницы в любом возрасте проростков отмечалась там, где семена были обработаны водой (контрольный вариант). В проростках, семена которых были обработаны свинцом и кадмием, происходило увеличение активности фермента в среднем по сортам на 16,6 и 46,8% соответственно у 14-ти дневных и на 5,8% — 1,17 раза в 35-дневных растениях по сравнению с активностью в корнях растений соответствующего контрольного варианта. При обработке семян селенатом натрия активность фермента в корнях 14-ти и 35-дневных растений в среднем по сортам оказалась ниже на 9,2 и 4,1% соответственно, чем на контроле.

Изменение активности фермента при применении селена зависело от генетических особенностей сорта. По снижению активности каталазы под действием селена в корнях сорта можно разместить в следующей последовательности: Фаворит > Тризо > Кинельская 59.

Таблица 35 — Изменение активности каталазы и пероксидазы под влиянием свинца,кадмия и селена в надземных органах яровой пшеницы

Возраст	Варианты опыта	Сорта пшеницы						
		Кинельская 59		Тризо		Фаворит		
проростков		1	2	1	2	1	2	
14 дней	Н ₂ О-контроль	0,47	0,82	0,44	0,81	0,46	0,80	
	Se	0,53	1,05	0,62	1,08	0,53	1,01	
	Pb	0,76	1,09	0,87	1,00	0,81	1,08	
	Cd	0,90	2,13	1,02	2,02	0,89	2,46	
	Pb+Se	0,38	0,91	0,37	1,56	0,37	0,52	
	Cd+Se	0,66	1,63	0,74	1,16	0,99	1,36	
HCP_{05}		0,08	0,11	0,15	0,14	0,11	0,14	
35 дней	Н ₂ О-контроль	0,53	1,10	0,52	1,13	0,54	1,35	
	Se	0,98	1,16	0,76	1,28	0,90	1,13	
	Pb	0,74	1,18	0,84	1,16	0,79	1,29	
	Cd	1,31	2,91	0,99	3,20	1,02	2,99	
	Pb+Se	0,95	1,29	0,93	1,32	0,96	1,22	
	Cd+Se	1,29	2,82	0,96	2,94	0,99	1,73	
HCP ₀₅		0,08	0,21	0,06	0, 13	0, 11	1,12	

Примечание * активность ферментов: 1.— каталазы, мкмоль H_2O_2 мин⁻¹ Γ -1 сырой массы; 2 — пероксидазы, Е мин⁻¹ Γ -1 сырой массы.

Использование селената натрия совместно с солями свинца и кадмия снижало активность каталазы, как в начальный период роста, так и на третьем этапе онтогенеза (кущение) пшеницы по сравнению с односторонним использованием ТМ.

Изменения активности каталазы в надземных органах пшеницы под влиянием тяжелых металлов было несколько иным по сравнению с активностью фермента в корнях. В 35-дневных растениях, выращенных при обработке семян свинцом, активность каталазы оказалась ниже, чем в корнях, а при обработке кадмием — выше. Полученные данные свидетельствуют о том, что микроэлемент селен уменьшал стресс, вызванный свинцом и кадмием при непосредственном их воздействии на семена.

При непосредственном воздействии на семена свинцом активность пероксидазы увеличивалась в корнях растений в среднем по сортам в 1,15 раза, кадмием – в 3,37 раза по сравнению с контролем.

Наибольший стресс от кадмия испытывал сорт Фаворит, далее следовали сорта Тризо и Кинельская 59.

С увеличением возраста растений активность пероксидазы в корнях, изменилась незначительно, уменьшение составило 2,5-1,7%, т.е. было в пределах ошибки определения.

Селен увеличивал активность фермента, как при одностороннем использовании, так и в смеси с тяжелыми металлами. Наибольшее увеличение активности наблюдалось в корнях 14-дневных проростков при одностороннем использовании селената натрия было в 2,09 раза, в смеси со свинцом 1,6% и с кадмием в 1,4 раза по сравнению с контролем.

С увеличением возраста растения активность пероксидазы от использования селена снижалась, что, возможно, связано с восстановлением перекисного гомеостаза у пшеничного растения.

Полученные данные и анализ литературы позволяет нам сделать некоторые выводы:

- устойчивость растений к выживанию при стрессе, вызванном свинцом, определялась способностью их антиоксидантных ферментативных систем удерживать деструкционные процессы на безопасном для клетки уровне;
- в качестве косвенного показателя окислительного стресса, вызванного загрязнением почвы свинцом, можно использовать показатели активности антиоксидантных ферментов

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изучение действия антистрессовых препаратов на рост и развитие, продуктивность и качество зерновых культур при использовании гербицидов и загрязнении почвы и растений тяжелыми металлами, проведенное в полевых, вегетационных и лабораторных опытах, позволяет заключить:

- 1. Послевсходовые гербициды на основе 2,4-Д + дикамба (Диален Супер) и 2,4-Д + флорасулам (Прима), существенно снижая засоренность посевов яровой пшеницы и ячменя, вызывали стресс у зерновых культур, который проявлялся в уменьшении фотосинтетической активности, урожайности и ухудшении качества зерна. Более токсичным был гербицид Диален Супер;
- 2. Антистрессовые препараты, применённые совместно с гербицидами, ослабляли химический стресс, повышая фотосинтетическую деятельность растений зерновых культур. Эффективность их действия зависела от видовых особенностей растений и химического состава препарата. Наиболее сильно снижали токсичное влияние гербицидов на фотосинтетическую деятельность посева ячменя мегафол и селинит натрия, яровой пшеницы селенат натрия и мегафол. Эти препараты дольше сохраняли активной площадь ассимиляционной поверхности, чем препараты силиплант и гуми-90;
- 3. Рост урожайности зерна пшеницы и ячменя связан с усилением фотосинтетической деятельности растений. Установлена прямая корреляционная зависимость урожайности яровой пшеницы от площади листовой поверхности в период её максимума (фаза колошения), фотосинтетического потенциала, чистой продуктивности фотосинтеза и ГТК за вегетацию;
- 4. Препарат мегафол, внесенный совместно с гербицидом Прима, был эффективен во все годы исследований, прибавка урожайности зерна пшеницы составляла 1,5 2,6 ц с 1га. Соли селена повышали урожайность на 0,6-1,8 ц с 1 га. Эффективность селената и селенита натрия зависела от погодных условий в период вегетации пшеницы. При высоких температурах и недостатке влаги они обеспечивали прибавки урожайности на уровне 1,6-1,8 ц с 1 га. Действие селената и селенита натрия было практически одинаковым;

Силиплант и гуми-90 также снижали токсическое действие гербицида, урожайность в этих вариантах была близка к контролю;

- 5. Установлено действие свинца как стрессора, подавляющего ростовые процессы и образование хлорофилла у растений яровой пшеницы на начальных этапах онтогенеза и ослабляющего формирование продукционого процесса озимой пшеницы сорта Скипетр. Селен в дозе 0,4 мг/кг почвы, положительно влиял на рост и развитие озимой пшеницы, как при одностороннем применении, так и в сочетании с дозами свинца 50, 150 и 350 мг/кг. Селен в дозе 0,8 мг/кг почвы усиливала негативное действие металла;
- 6. Установлены сортовые различия отзывчивости яровой пшеницы и ячменя на загрязнение растений свинцом и кадмием. Устойчивыми к действию тяжелых металлов являлись: сорт яровой пшеницы Кинельская 59 и ячменя Одесский 100, неустойчивыми сорт Фаворит и Сурский фаворит;
- 7. Влияние селена на активность ферментов детоксикаторов реакционных форм кислорода и пролина свидетельствует о способности этого элемента корректировать окислительно-восстановительный статус клетки в сторону увеличения её стресс-толерантности. При совместном использовании селена со свинцом содержание в листьях пшеницы продуктов перекисного окисления липидов уменьшалось, активность ферментов увеличивалась. Уровень снижения ТБКРп и повышение активности антиоксидантных ферментов и пролина определялся, как дозой свинца, так и селена. Использование высокой доза селена на почве, с высоким уровнем загрязнения свинцом приводила к ослаблению адаптационного потенциала пшеницы.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Авцын, А.П. Микроэлементозы человека: экология, классификация, органопатология / А.П. Авцын и др. М.: Медицина, 1991. 496 с.
- 2. Агроклиматические ресурсы Пензенской области. Л.: Гидрометеоиздат, 1972. 131c.
- 3. Алексеев, Ю.В. Тяжелые металлы в почвах и растениях. Л: Агропромиздат, 1987. 142 с.
- 4. Алексеева, О.Г. Аллергия к промышленным химическим соединениям. /О. Г. Алексеева, Л.А. Дуева М.: Медицина, 1978. 270 с.
- 5. Баздырев, Г.И. Сорные растения и меры борьбы с ними в современном земледелии/ Г.И. Баздырев, Л.И. Зотов, В.Д. Полин М.: Изд-во МСХА, 2004. 288 с.
- 6. Балахнина, Т.И. Влияние кадмия на CO₂-газообмен, переменную флуоресценцию хлорофилла и уровень антиоксидантных ферментов в листьях гороха /Т.И. Балахнина, А.А. Кособрюхов//Физиология растений. 2005. Т. 52. С. 21-26.
- 7. Балахнина, Т.И. Эффект кремния на сопротивляемость растений к стрессам окружающей среды: обзор / Т.И. Балахнина, А. Боровска // Международная Агрофизика – 2013 – 27: С. 225-232
- 8. Безуглова, О. С. Гуминовые вещества в биосфере; учебное пособие/ О.С. Безуглова. Ростов-на Дону 2009– 120с.
- Близнов, В.А. Совершенствование защиты сахарной свеклы от сорняков / В.А. Близнов, С.М. Надежкин // Сборник материалов. Всерос. науч.-прак. конф., посвященной памяти профессора Г. Б. Гальдина «Роль почв в сохранении устойчивости агроландшафтов» Пенза: РИО ПГСХА, 2008.– С.124-126.
- 10. Блинохватов, А.Ф. Селен в биосфере / А.Ф. Блинохватов, Г.В. Денисова, Д.Ю. Ильин и др; под ред. А.Ф. Блинохватова. Пенза: РИО ПГСХА, 2001. 324c.

- 11. Болдырев, М.И. Действие стрессовых факторов на растения /М.И. Болдырев // Защита и карантин растений. 2008. № 4. С.14-15.
- 12. Большаков, В.А. Агротехногенное загрязнение почвенного покрова тяжелыми металлами: источники, масштабы, рекультивация/В.А. Большаков, Н.М. Краснова, Т.И. Борисочкина, С.Е. Сорокин, В.Г. Граковский М. 1993. 90 с.
- 13. Боряев, Г.И. Возможность регуляции процессов свободнорадикального окисления в раннем постнатальном периоде ягнят селеносодержащими препаратами/ Г.И. Боряев, И.В. Гаврюшина, Ю.Н. Федоров // Нива Поволжья. 2015.—№3.— 26-33
- 14. Бочаров, С.С. Влияние гуминовых препаратов на адаптацию картофеля к пестицидной нагрузке / С.С. Бочаров, Н.А. Фомин // Нива Поволжья. №4 (29). -С. 2-8.
- 15. Бритиков, Е.А. Биологическая роль пролина / Е.А. Бритиков М. Наука, 1975. 87c.
- 16.Вальков, В.Ф. Влияние загрязнения тяжелыми металлами на фитотоксичность чернозема / В.Ф. Вальков, С.И. Колесников, К.Ш Казеев // Агрохимия.— 1997 №.6 С. 50-56
- 17. Варшал, Г.М. Гуминовые кислоты как природный комплекснообразующий сорбент, концентрирующий тяжелые металлы в объектах окружающей среды / Г.М. Варшал, Т.К. Велюханова, Д.Н. Чхетия и др. // Геохимические барьеры в зоне гипрегенеза. Межд. симпозиум. М., 1999. С. 51-53.
- 18.Вихрева, В.А. Влияние селена на интенсивность перекисных процессов и активность ферментов в листьях козлятника восточного при экстремальных условиях выращивания /В.А. Вихрева, Т.И. Балахнина, В.К. Гинс // Доклады РАСХН. 2002. № 1. С. 6 8
- 19. Вихрева, В.А. Селен в жизни растений: монография / В.А. Вихрева, А.А. Блинохватов, Т.В. Клейменова. Пенза: РИО ПГСХ 2012. 222с.

- 20.Вишневский, К.Д. Пензенская область / К.Д. Вишневский, В.Г. Пащенко Пензенская энциклопедия Науч. изд-во «Большая Российская энциклопедия», 2001. 453 с.
- 21. Водяницкий, Ю.Н. Тяжелые и сверхтяжелые металлы и металлоиды в загрязненных почвах / Ю.Н. Водяницкий. М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 2009 (a). 182 с.
- 22. Воронина, Л. П. Оценка действия селена на растения ярового ячменя с учетом доз минеральных удобрений /Л.П. Воронина, А.П. Долгодворова //Проблемы агрохимии и экологии. 2014. № 4. С. 26–29
- 23. Гавриленко, В.Ф. Определение пероксидазной функции: Метод Бояркина / В.Ф. Гавриленко, М.Е. Ладыгина, Л.М. Хандобина // Большой практикум по физиологии растений (Bigpracticalworkinplantphysiology). 1975 М: Высшая школа, С. 284–286
- 24. Гаврюшина, И. В. Практическая значимость применения селеноорганического соединения в овцеводстве/ И.В. Гаврюшина//Образование, наука, практика: инновационный аспект :Сбор. мат. Межднар. науч. –прак. конф., посвящ. Дню российской науки.— Пенза : РИО ПГСХА, 2015.— С222-224
- 25. Гарифзянов, А.Р. Динамика активности антиоксидантных ферментов в органах тритикале на фоне натрий-хлоридного засоления /А.Р. Гарифзянов, Н. Н. Жуков, В.В. Иванищев // Известия Тульского государственного университета 2012 №2: С. 165-176
- 26. Гераськин, С. А. Биологический мониторинг окружающей среды: генетический мониторинг: учеб. пособие для студ. выс. проф. образования / С. А. Гераськин, Е.И. Сарапульцева, Л.В. Цаценко и др.; под ред. С. А. Гераськина, Е.И. Сарапульцевой.— М.: Издательский центр «Академия», 2010.—208с.
- 27. Глазовская, М. А. Критерии классификации почв по опасности загрязнения свинцом / М.А. Глазовская// Почвоведение −1994.—№ 4. С. 110-120.

- 28. Голубкина, Н.А. Селен в питании: растения, животные, человек / Н.А. Голубкина, Т.Т. Папазян. М.: Печатный город, 2006. 254 с
- 29. Голубкина, Н.А. Аккумулирование селена зерновыми культурами России / Н.А. Голубкина // Доклады РАСХН. –2007. –№ 5. С. 6–9.
- 30. Гродзинский, А.М. Роль токсинов растительного и микробиального происхождения в аллелопатии / под. общ. ред. А.М. Гродзинского — Киев: Наук. думка, 1983. - 152 с.
- 31. Давыдова, Л.С. Тяжелые металлы как супертоксиканты XXI века / С. Л. Давыдова, В. И. Тагасов // М: РУДН 2002. 140 с.
- 32. Дмитраков, Л.М. Транслокация свинца в растения овса / Л.М. Дмитраков, Л.К. Дмитракова // Агрохимия. 2006. № 2. С. 71–80.
- 33. Добровольский, В.В. Свинец в окружающей среде / В. В. Добровольский, А. И. Обухов, Е. А. Лобанова и др.; отв. ред.: В. В. Добровольский. М.: Наука, 1987. 181 с.
- 34. Долгодворова, А.П. Влияние селеновых удобрений на рост и развитие ярового ячменя / А.П. Долгодворова, Л.П. Воронина // Питание растений. 2013. №3. С. 15–19.
- 35. Доспехов, Б.А. Методика полевого опыта / Б.А. Доспехов. М.: Агропромиздат, 1985.— 351 с.
- 36. Доспехов, Б.А. Практикум по земледелию / Б.А. Доспехов, И.П. Васильев, А.М. Туликов. М.: Агропромиздат, 1987. 385 с.
- 37. Дурынина, Е.П. Влияние биопрепарата Альбит на продуктивность ячменя и содержание биофильных элементов в урожае / Е.П. Дурынина, О.А. Пахненко, А.К. Злотников, К.М. Злотников // Агрохимия. 2006. № 1. С. 49-54.
- 38. Елькина, Г. Я. Влияние тяжелых металлов на урожайность и физиологобиохимические показатели овса / Г.Я. Елькина, Г.Н. Табаленкова, С.В. Куренкова// Агрохимия. — 2001. —№8. — С.73-78.
- 39. Ермаков, В.В. Биологическое значение селена / В.В. Ермаков, В.В.Ковальский. М:1974. 300 с.

- 40. Журбицкий, 3.И. Теория и практика вегетационного опыта / 3.И. Журбицкий. М.: Изд-во Наука, 1968. 260с.
- 41. Захаренко, А.В. Теоретические основы управления сорным компонентом агрофитоценоза в системах земледелия / А.В. Захаренко. М.: МСХА, 2000.—466 с.
- 42.Захаров, Н.Г. Влияние основной обработки почвы на засоренность посевов яровой пшеницы /Н.Г. Захаров, М.А. Полняков // Современные системы земледелия: опыт, проблемы, перспективы: материалы международной научно-практической конференции, посвященной 80-летию со дня рождения профессора Морозова В.И. Ульяновск: Ульяновская ГСХА, 2011. С. 98-102.
- 43.Зенков, Н.К. Окислительный стресс / Н.К. Зенков, В.Е. Ланкин, Е.Б. Менщикова. – М.: Наука, 2001. – 343с.
- 44.Зинченко В.А. Химическая защита растений: средства, технология и экологическая безопасность. М.: «КолосС», 2012. 127 с.
- 45. Злотников, А.К. Биопрепарат Альбит для повышения урожая и защиты растений: опыты, рекомендации, результаты применения / А.К. Злотников, В.Т. Алёхин, А.Д. Андрианов. Под ред. акад. В.Г. Минеева // М., ООО «Издательство Агрорус». 2008. 248 с.
- 46.Зубкова, В. М. Химический состав растений при загрязнении почвы тяжелыми металлами. Монография/ В.М. Зубкова, Н.В. Зубков//М.: Издательство РГСУ 2013. 148 с.
- 47.Зуева, О.С. Влияние селената натрия на продукционный процесс и урожайность ярового ячменя в лесостепи Среднего Поволжья: автореф. дис. ... канд. с-х наук:06.01.09/Зуева Ольга Сергеевна. Пенза,2009.– 21с.
- 48.Иванов, В.П. Пестициды агропромышленного комплекса как экологический фактор и их влияние на заболевание детского населения/В.П. Иванов, В.А. Королев, А.Д. Богомазов //Здоровье населения и среда обитания. 2004. №11. С.12-16.

- 49.Ильин, В.Б. Микроэлементы и тяжелые металлы в почвах и растениях Новосибирской области/ В.Б. Ильин, А. И. Сысо.— Новосибирск: ИздвоСОРАН, 2001. 290 с.
- 50.Ильин, В.Б. К оценке массопотока тяжелых металлов в системе почвасельскохозяйственная культура / Агрохимия – 2006 –№ 3: с. 52-59.
- 51. Ильинских, Н. Генетические эффекты тяжелых металлов и здоровье человека / Н. Ильинских, Н. Шакиров / Palmarium Academic Publishing. 2012 572 с.
- 52.Ионов, Э.Ф. Нетто-фотосинтез и озернённость колоса яровой пшеницы под влиянием донорно-акцепторных отношений / Э.Ф. Ионов, Н.Э. Ионова, В.А. Драгавцев // Сельскохозяйственная биология. 2012. №1. С.66-70.
- 53. Кириллова, Н.В. Изучение пероксидазы в различных штаммах каллусной культуры женьшеня / Н.В. Кириллова, В.П. Комов, Л.А. Троицкая // II- III Всеросс. Симп. Общества физиологов растений СПб, 1993.— Т.2.—219 с.
- 54. Климашевский, Э.Л. Генетический аспект минерального питания растений / Э.Л. Климашевский. М.: Агропромиздат, 1991. 157 с.
- 55. Ковальский, В.В. Геохимическая экология: очерки/ В.В. Ковальский. М.: АН СССР, Институт геохимии и аналитической химии им.В.И. Вернадского. М.: Изд-во Наука, 1974. 300с.
- 56. Колесников, С.И. Ранжирование химических элементов по степени их экологической опасности / С.И. Колесников // III Межд. конф. «Современные проблемы загрязнения почв». М., 2010. С. 362-365.
- 57. Коломейченко, В.В. Теория продукционного процесса растений и фитоценозов / В.В. Коломейченко, В.П. Беденко // Вестник ОрелГАУ. Физиология, биохимияизащитарастений. –2008. Т.13. —№4 (08). —С. 17-21
- 58. Коротнев, В.Д. Сельское хозяйство и аграрная наука в Пензенском крае / В.Д. Коротнев, А.И. Чирков. Г.Е. Гришин. Пенза: РИО ПГСХА, 2007. 220 с.

- 59. Кузнецов, В.В. Пролин при стрессе: биологическая роль, метаболизм, регуляция / В.В. Кузнецов, Н.И. Шевякова // Физиология растений. -1999. Т. 46. С. 321-336.
- 60. Кузнецов, В.В. Селен регулирует водный статус растений при засухе / В.
 В. Кузнецов, В.П. Холодова, В.В. Кузнецов, Б.А. Ягодин // Доклады РАН.
 2003. Т. 390 № 5. С. 713-715.
- 61. Кузнецов, К.А. Повышение плодородия почв / К.А. Кузнецов, Г.Б. Гальдин, Т.Б. Лебедева, и др.; под общ. ред. К.А. Кузнецова. Пенза: Поволжское кн. изд-во, 1976.—192 с.
- 62. Кумаков, В.А. Физиология яровой пшеницы / В.А. Кумаков. М. Колос, 1980. 207с.
- 63. Куприянов, В.В. Климат / В.В. Куприянов Пензенская энциклопедия. М.: Научное издательство «Большая Российская энциклопедия», 2001. 238-240 с.
- 64. Курносова, Т.Я. Влияние азотного питания и условий среды на продуктивность, фотосинтетическую деятельность и донорно-акцепторные отношения растений пшеницы /Т.Я. Курносова // Доклады РАСХН.— 2012.— 33-37.
- 65. Кшникаткина, А.Н. Влияние баковой смеси гербицида Корсар и антидота Альбит на формирование урожая и качество зерна ярового голозерного ячменя / А.Н. Кшникаткина, М.И. Юров // Ульяновской ГСХА. 2013.— № 3(23). С.42-48.
- 66. Лебедева, Т.Б. Влияние ростостимулирующих препаратов Лариксина, Аминоката, Гуми на ростовые процессы зерновых культур / Т.Б. Лебедева// Проблемы плодородия почв на современном этапе развития: сбор. Матер. Всероссийской науч. прак. Конференции, посвященной 50-летию кафедры почвоведения и агрохимии Пензенской ГСХА (19-20 ноября 2002г.) . Пенза, 2002. С. 22-24.

- 67. Лисицын, Е.М. Физиологические основы эдафической селекции растений на европейском северо-востоке России / Е.М. Лисицын. Киров, 2003. 194 с.
- 68. Лукаткин, А.С. Окислительный стресс в растениях и культурах клеток при действии ксенобиотиков и тяжелых металлов / А.С. Лукаткин, И.В. Егорова, И.Д. Латюк, М.М. Русяева, Ю.Н. Арсланкина // Тез. док. Всерос. симпозиума «Растения и стресс». М.: 2010. С. 221-223.
- 69. Лукин, С.В. Результаты мониторинга плодородия почв государственного заповедника «Белогорье» / С.В. Лукин, В.Д. Соловиченко //Достижения науки и техники АПК, Выпуск № 8. 2008 С. 15-17.
- 70. Матвеев, В.Н. Биологическая оценка вовлечения тяжелых металлов в основные трофические цепи биогеохимический круговорот в условиях агрофитоценозов (на примере лесостепного Высокого Заволжья): Автореф. дис. канд. биол. наук: 03.00.16 / Матвеев Владимир Николаевич. Тольятти, 2004.–20 с.
- 71. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. М.: Колос, 1971. 248 с.
- 72. Методика оценки экологических последствий техногенного загрязнения агроэкосистем.—М.: РАСХН, 2004.—87с.
- 73. Методика выполнения измерений массовой доли элементов в пробах почв атомно-адсорбционного анализа— М.: Госком СССР по гидрометеорологии, 1990.—37с.
- 74. Методические указания по определению тяжелых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства издание 2-е, переработанное и дополненное М.: Министерство сельского хозяйства Российской Федерации 1992 61 с.
- 75. Минеев, В.Г. Экологические функции известкования кислых почв, загрязненных кадмием и цинком / В.Г. Минеев, Л.А. Лебедева, Ю.Б. Соловьев // Доклады РСХН. 2000. № 6. С. 30-32.

- 76. Минкина, Т. Тяжелые металлы в почвах / Т. Минкина // LAP Lambert Academic Publishing. 2011 528 с.
- 77. Мокроносов, А.Т. Фотосинтез. Физиолого-экологические и биохимические аспекты: учебник для студ. вузов / А.Т. Мокроносов, В.Ф. Гавриленко, Т.В. Хиглова; под ред. И.П. Ермакова.—2-е изд., исп. и доп. М.: Академия, 2006 448с.
- 78. Морозов, В.И. Сорные растения и регулирование засоренности на сельскохозяйственных угодьях /В.И. Морозов. Ю.Я. Злобин, А.Х. Куликова// Ульяновск, УГСХА, 1999. 198с.
- 79. Мусекаев, Д.А. Гербициды и торфо-гуминовые удобрения / Д.А. Мусекаев, А.И. Поздняков, Р.А. Бородина // Агро XXI. 2000. № 11. С. 10.
- 80.Ненько, Н.И. Способ снижения токсического действия гербицида группы 2,4-Д на качество зерна озимой пшеницы/Н.И. Ненько, Е.В. Суркова, Е.К. Яблонская//Патент РФ № 2356225. Бюл. № 15. 2009.
- 81. Ничипорович, А.А. Важные проблемы фотосинтеза в растениеводстве / А.А. Ничипорович М.:Колос, 1970. 320 с.
- 82. Ничипорович, А.А. Световое и углеродное питание растений. Фотосинтез / А.А. Ничипорович М.: Изд-во АН СССР, 1955 286 с.
- 83. Овчаренко, М.М. Тяжелые металлы в системе почва растение удобрение/ М.М. Овчаренко, И.А., Г.Г.Вендило, Н.А.Черных и др.; под общ. ред. М.М. Овчаренко. М.: Изд-во «Пролетарский светоч», 1997. 290с.
- 84.Оксанич Н.И. Презентация: Место России в мировом рынке семян // Личная страница Оксанич Н.И. URL: http://okcanuv.pd (дата обращения: 15.08.2015)
- 85.Орлов, А.Н. Засоренность и урожайность яровой пшеницы в зависимости от элементов технологии возделывания / А. Н. Орлов, О. А. Ткачук, Е. В. Павликова // Молодой ученый. 2012. №2. С. 362-365.
- 86.Орлов, Д.С. Свойства и функции гуминовых веществ // Гуминовые вещества в биосфере. Под ред. Д.С.Орлова М.: Наука, 1993.–С.16-27

- 87.Панин, М.С. Влияние свинцового и полиэлементного загрязнения темнокаштановой почвы на продуктивность фитомелиорантов и накоплениеи вынос свинца/ М.С. Панин, М.Т. Койгельдинова // Мир науки, культуры, образования. – 2010. – № 6 (50). – С. 237-243.
- 88.Подколзин, А.И. Плодородие чернозёмов центрального предкавказья и пути его регулирования / А. И. Подколзин, В.Г. Минеев // Агрохимия. 2010. №8. С. 87-95.
- 89. Помазкина, Л.В, Устойчивость агроэкосистем к загрязнению фторидами/ Л.В. Помазкина, Л.Г.Котова, Е.В. Лубнина, С.Ю. Зорина, А.С. Лаврентьева. Иркутск: Изд-во Института географии СО РАН, 2004.—225с.
- 90.Потатуева, Ю. В. Влияние кадмия на урожай сельскохозяйственных культур и накопление этого элемента в почвах и растениях / Ю.В. Потатуева// Агрохимия. 1998. № 3. С. 53—61.
- 91. Предельно допустимые концентрации тяжелых металлов и мышьяка в продовольственном сырье и пищевых продуктах/ Сан Пин 42-123-4089-86/1986.—11с.
- 92.Пронина, Н.Б. Экологические стрессы (причины, классификация, тестирование, физиолого-биологические механизмы) / Н.Б. Пронина.— М. : MCXA. 2000.— 312c.
- 93.Пузина, Т.И. Влияние селената натрия на горманальный баланс и фотосинтетическую активность растений картофеля /Т.И. Пузина, П.С. Прудников, Н.И. Якушкина// Доклады РАСХН. – 2003. – №6. – С.7-9.
- 94. Ракитский, В.Н. Токсичность и опасность гербицидов производных сульфонилмочевины /В.Н. Ракитский, Н.С.Белоедова//Токсикологический вестник. 2009. №4. С. 25-30
- 95. Ракитский, В.Н. Комбинированное действие пестицида и антидота производственного назначения/ В.Н. Ракитский, Т.А. Синицкая, И.С. Батищев// Токсикологический вестник .— 2011.— №2. С. 2-5
- 96. Радюкина, Н.Л. Участие пролина в антиоксидантной защитной системе шалфея при действии NaCl и параквата/ Н.Л. Радюкина, А.В. Шашукова,

- Н.И. Шевякова, Вл.В. Кузнецов // Физиология растений. 2008. Т. 55. С. 721-730.
- 97. Ревич, Б.А. Экологическая эпидемиология / Б.А. Ревич, С.Л. Авалиани, Г.И. Тихонова // Под ред. Б.А. Ревича. М.: Издательский центр «Академия», 2004. 384 с.
- 98. Решетник, Л.А. Биохимическое и климатическое значение селена для здоровья человека / Л.А. Решетник, Е.О. Парфенова // Микроэлементы в медицине. -2001. -№ 2 (2). C. 2-8.
- 99. Романькова, А.А. Содержание кадмия и свинца в высших растениях на территории Красненского района Белгородской области / А.А. Романькова, И.В. Батлуцкая // Научные ведомости Белгородского ГУ, серия Естественные науки 2011 №3(98), выпуск 14 С. 68-75
- 100. Россия в цифрах, 2015 г. [Электронный ресурс]/ Сайт Федеральной службы государственной статистики//URL: http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/publications/catalog/doc_1135075100 641 (дата обращения: 15.08.2015)
- 101. Рябчинская Т.А. Полифункциональное действие препарата Альбит при предпосевной обработке семян яровой пшеницы / Т.А. Рябчинская, Г.Л. Харченко, Н.А. Саранцева, И.Ю. Бобрешова, А.К. Злотников // Агрохимия. 2009. № 10. С. 39-47.
- 102. Сергеев, В.Р. Влияние Альбита на урожай и пивоваренные качества ярового ячменя / В.Р. Сергеев, Ю.В. Попов, А.К. Злотников, Е.В. Кирсанова // Защита и карантин растений. 2007. № 9. С. 41-42.
- 103. Серегин, И.В. Физиологические аспекты токсического действия кадмия и свинца на высшие растения/ И.В. Серегин, В.Б. Иванов//Физиология растений .— 2001. Т.48.— С. 606-630.
- 104. Серегина, И. И. Продуктивность и адаптивность сельскохозяйственных культур при использовании микроэлементов и регуляторов роста: Автореф. дис. ... доктора. биол. наук: 06.01.04 /Серегина Инга Ивановна. Москва, 2008. 40 с.

- 105. Серегина, И.И. Продуктивность и устойчивость яровой пшеницы в условиях окислительного стресса при применении селена / И. И. Серегина, И. В. Верниченко, Н. Т. Ниловская // Агрохимия. −2015. − № 3. − С. 56-63
- 106. .Скрыпник, Л.Н. Влияние селена и цинка на устойчивость растений китайской капусты к окислительному стрессу// Л.Н. Скрыпник, Г.Н. Чупахина// Вестник РГУ им. И.Канта. Серия Естественные науки, 2007— С.73-79.
- 107. Соколов, О. А. Экологическая безопасность и устойчивое развитие / О.А. Соколов, Черников В.А.// Атлас распределения тяжелых металлов в объектах окружающей среды. Книга1. Пущино, ОНТИ ПНЦ РАН,1999, 164с.
- 108. Солдатов, С.А. Действие селената натрия на ростовые процессы и развитие растений конопли посевной (CannabissativaL.) на ранних этапах онтогенеза /С.А. Солдатов, Г.А. Карпова // Нива Поволжья. 2013. №4 (29). С. 36-40.
- 109. Спиридонов Ю.Я. Современное состояние проблемы применения гербицидов: обзор публикаций за 2008-2009 гг./ Ю.Я Спиридонов, С.Г. Жемчужин // Агрохимия. 2011. № 9. С. 82-94.
- 110. Сычев, В.Г. Приемы управления продукционным процессом для достижения потенциальной продуктивности пшеницы / В.Г. Сычев, Н.Т. Ниловская, Л.В. Осипова. М.: ВНИИА, 2009. 192с.
- 111. Степанок, В.В. Влияние соединений кадмия на урожай и элементный состав сельскохозяйственных культур / В.В.Степанок // Агрохимия. 1998. № 6. С. 74–79.
- 112. Телевка, М.С. Влияние селена на продуктивность яровой пшеницы в условиях избыточного увлажнения почвы / М.С. Телевка // Вестник Мичуринского филиала Российского университета кооперации. 2011.— С. 93–96.

- 113. Тихонович И.А. Создание широкомасштабного производства микробиологических препаратов для повышения экологической устойчивости сельскохозяйственного производства России / Природные ресурсы национальное богатство России, М.: Изд. РУДН, 2000, 209с.
- 114. Томашевич, Н.С. Влияние обработки семян и растений различными формами препарата Лигногумат Супер на урожайность и качество риса / Н.С. Томашевич, А.Я. Барчукова // Плодородие. Москва, 2013. Вып. № 6 (75). С. 21-22.
- 115. Торшин, С.П. Влияние микроэлементов Se, Zn, Мо при разной обеспеченности серой почвы микроэлементами и на содержание Se в растениях яровой пшеницы и рапса/ С.П. Торшин, Б.А. Ягодин, Т.М. Удельнова // Агрохимия.—1996. №5.—С.54-64.
- 116. Третьяков, Н.Н. Практикум по физиологии растений / Под ред. Н.Н. Третьякова .– М.: Колос, 1990. 271 с.
- 117. Третьяков, Н.Н. Физиология и биохимия седьскохозяйственных растений / под ред. Н.Н. Третьякова. М.:Колос, 1998. 640c.
- 118. Тутельян, В.А. Селен в организме человека: метаболизм, антиоксидантные свойства, роль в канцерогенезе /В.А. Тутельян, В.А Княжев, С.А. Хотимченко, Н.А. Голубкина, Н.Е. Кушлинский, Я.А. Соколов // М.: Издательство РАМН 2002 224 с.
- 119. Убугунов, В.Л. Оценка фитотоксичности кадмия в каштановой почве/В.Л. Убугунов// Вестник Крас.ГАУ Почвоведение.—2010.—№5.—с. 13-17
- 120. Убугунов, В.Л. Оценка фитотоксичности свинца в каштановой почве и дерново-подбуре / В.Л. Убугунов, В.О. Доржонова // Проблемы агрохимии и экологии. 2010. № 3. С. 19-24
- 121. Усанова, З.И. Влияние фона минерального питания и нормы высева на продуктивность посева яровых зерновых культур в условиях Верхневолжья / З.И Усанова, М.В. Гуляев // Достижения науки и техники АПК. 2011. №11. С.24-27.

- 122. Усобова, Е.З. Влияние селена на физиологические показатели и продуктивность фасоли сорта «Сакса»(PhaseolusvulgarisL.) / Е.З. Усобова, А.М. Жижаев, П.В. Миронов // Фундаментальные исследования.—2012.— №3-2.— С.257-260.
- 123. Федке, К. Биохимия и физиология действия гербицидов/ К. Федке / пер. с англ. М.: Агропромиздат, 1985. 224 с.
- 124. Хелдт, Г.В. Биохимия растений/Г.В. Хелдт. М.: БИНОМ, 2011. 372 c
- 125. Хохлов Д.С. Влияние гербицидов на продуктивность яровой пшеницы/// Защита и карантин растений. 2009. №9. С. 48.
- 126. Христева, Л.А. Роль гуминовых кислот в питании растений и гуминовые удобрения // Тр. Повышенного института им. В.В. Докучаева. 1951. т. 38. С. 108 -184.
- 127. Чернова, О.В. Региональные фоновые концентрации некоторых микроэлементов в почвах Пензенской области / О.В. Чернова, Т.М. Силева //
 Вестник Московского университета. Сер. 17 Почвоведение. 2000. №
 2. С. 14-19.
- 128. Черных, Н.А. Экотоксикологические аспекты загрязнения почв тяжелыми металлами / Н.А. Черных, Н.А. Милащенко, В.Ф. Ладонин. М.: Агропромиздат,1999. 176 с.
- 129. Черных, Н.А. Физиологические основы устойчивости растений: монография / Н.А. Черных, Т.В. Чиркова. СПб: Санкт-Петербургский ГУ, 2002.–244с.
- 130. Челтыгмашева, И.С. Загрязнение почв тяжелыми металлами и качество растениеводческой продукции / Н.А. Черных, И.С. Челтыгмашева, Ю.И. Баева // Вестник Российского университета дружбы народов. Сер. Экология и безопасность жизнедеятельности. 2003. № 3. С. 179-187.
- 131. Чупахина, Г.Н. Природные антиоксиданты (экологический аспект): монография /Г.Н. Чупахина, Л.Н. Скрыпник. Калининград: Изд-во БФУ им. Канта, 2011 111с.

- 132. Шатилова, Т.И. Действие препаратов фиторегуляторов на формирование качества зерновых культур / Т.И. Шатилова, И.С. Витол, Я.П. Герчиу, С.Л. Белопухов, В.Т.Семко // Достижения науки и техники АПК №12, 2010, С. 47-48
- 133. Шаяхметов, И.Т. Защитно-стимулирующие и адаптивные свойства препарата Гуми-биоактивированной формы гуминовых кислот. Эффективность его использования в сельском хозяйстве.— Уфа, 2000.—102с.
- 134. Шевелуха, В.С. Рост растений и его регуляция в онтогенезе / В.С. Шевелуха. М.: Колос, 1992. 598с.
- 135. Шевякова, Н.И. Антиоксидантная роль пролина у галофита Mesembry-anthemumcrystallinum в ответ на краткосрочный супероксидный стресс, генерируемый паракватом / Н.И. Шевякова, Е.А. Бакулина, В.В.Кузнецов // Физиология растений. 2009. Т.56 № 5. С. 1-7.
- 136. Шеудхен, А.Х. Биогеохимия и агрохимия селена /А.Х. Шеудхен, И.А. Лебедовский, Т.Н. Бондарева/ Политематический сетевой электронный научный журнал Куб ГАУ.— 2013.— №92(8), С. 682 692.
- 137. Шиленков, А.В. Содержание пролина в прорастающих семенах гречихи и их качество при действии импульсного давления и пониженных температур/ А.В. Шиленков, Н.Г. Мазей, Е.Э. Нефедьева// Сельскохозяйственная биология.—2008.—№5.—70-77.
- 138. Шмидт, В. М. Математические методы в ботанике / В.М. Шмидт. Л.: Изд-во ЛГУ, 1984.—288 с.
- 139. Шубина, О.И. Влияние селена на яровую пшеницу в условиях селенодефицитной биогеохимической провинции / О.И. Шубина, В.К. Кашин // Агрохимия – 2012 – №5 – С. 45-51
- 140. Эмсли, Д. Элементы / Д. Эмсли М.: Мысль, 1993 256 с.
- 141. Яблонская, Е.К. Применение антидотов для снижения токсического действия гербицидов на посевах озимой пшеницы/ Е.К. Яблонская. // Мат. Межд. заоч. науч.-прак .конф. «Естественные и математические науки в современном мире» Новосибирск, 2013.–С. 52-57

- 142. Ягодин, Б.А. Тяжелые металлы и здоровье человека /Б.А. Ягодин // Химия в сельском хозяйстве. −1995.– №4.– С. 18-20.
- 143. Яппаров И.Ф., Кулагин А. А. Эффективность совместного применения природного регулятора роста растений «Стифуна» с гербицидами на растениях яровой пшеницы /И. Ф. Яппаров, А.А. Кулагин // Вестник Удмуртского государственного университета. Серия 6: Биология. Науки о земле. Выпуск 4. 2013. № . С. 47-53.
- 144. Akladious, S. A. Influence of different soaking times with selenium on growth, metabolic activities of wheat seedlings under low temperature stress // African Journal of Biotechnology 2012 Vol. 11(82): P.14792-14804
- 145. Aktar, M.W. Impact of pesticides use in agriculture: their benefits and hazards / M.W. Aktar, D. Sengupta, A. Chowdhury // Interdiscip Toxicol., 2009 2(1): P. 1–12.
- 146. Ali, S. The influence of silicon on barley growth, photosynthesis and ultrastructure under chromium stress / S. Ali, M.A. Farooq, T. Yasmeen, S. Hussain, M.S. Arif, F. Abbas, S.A. Bharwana, G. Zhang //Ecotoxicol Environ Saf. – 2013.– Vol.89:P.66-72.
- 147. Alia, M.P. Effect of proline on the production of singlet oxygen / M.P. Alia, J. Matysik // Amino Acids 2001 21: P. 191–203.
- 148. Alscher, R.G. Role of superoxide dismutases (SODs) in controlling oxidative stress in plants / R.G. Alscher, N. Erturk, L. S. Heath // J. Exp. Bot. (2002) 53 (372): P. 1331-1341.
- 149. Amako, K. Separate assays specific for ascorbate peroxidase and guaiacol peroxidase and for the chloroplastic and cytosolic isozymes of ascorbate peroxidase in plants / K. Amako, Chen Gong Xiang, K. Asada // Plant and Cell Physiology 1994 Vol. 35, Iss. 3: P. 497-504
- 150. Arora, A. Oxidative stress and antioxidative system in plants /A. Arora, R.K. Sairam. G.S. Srivastata// Current Sci.—2002 V. 82: P.1227-1238.

- 151. Asada, K. Production and scavenging of reactive oxygen species in chloroplasts and their functions /K. Asada// Plant Physiol.—2006 Vol. 141:P. 391—396.
- 152. Azevedo, R.A, What is new in the research on cadmium-induced stress in plants? / R.A. Azevedo, P.L. Grata o, C.C. Monteiro, R. Carvalho //Food Energy Secur. 2012. 1(2): P.133–140.
- 153. Balakhnina, T. I The influence of Si-rich mineral zeolite on the growth processes and adaptive potential of barley plants under cadmium stress /T.I. Balakhnina, P. Bulak, A.A. Kosobryukhov, T. Włodarczyk//Published online: 30 December 2014 Springer Science+Business Media Dordrecht/ 2014.
- 154. Baraboi, V.A. Stress mechanisms and lipid peroxidation // Sovrem Biol. 1991.– V. 111(6).– P. 923–932.
- 155. Bates, L. Rapid determination of free proline for water-stress studies / L. Bates, RP. Waldren, ID. Teare //Plant and Soil 1973 39: P. 205-207
- 156. Beckie, H.J. Herbicide cross resistance in weeds / H. J. Beckie, F.J. Tardif // Crop Protection 2012 35: P. 15-28.
- 157. Benavides, M.P. Cadmium toxicity in plants / M.P. Benavides, S.M. Gallego, M.L. Tomaro // Braz. J. Plant Physiol. 2005 vol.17 no.1 Londrina: P. 21-34.
- 158. Bollard, E.G. Involvement of unusual elements in plant growth and nutrition /, E.G. Bollard //Inorganic plant nutrition. Encyclopedia of plant physiology.— New Series. Berlin. Springer Verlag. 1983.–Vol.15B: P.253-259.
- 159. Bradl, H. Heavy Metals in the Environment: Origin, Interaction and Remediation / H. Bradl // Interface Science and Technology, Vol. 6. 2005 282 p.
- 160. Buchanan, B.B. Biochemistry and molecular biology of plants / Eds. B.B. Buchanan, W. Gruissem, R.L. Jones // American Society of Plant Physiologists, Rockville, Maryland, USA. -2006 1367 p.
- 161. Cabala, J. Metalliferous constituents of rhizosphere soils contaminated by Zn-Pb mining in Southern Poland / J. Cabala, F. Teper //Water Air and Soil Pollution. 2007.178: P. 351–362.

- 162. Clemens, S. Toxic metal accumulation, responses to exposure and mechanisms of tolerance in plants // Biochimie. 2006. Vol. 88: P. 1707–1719.
- 163. Coruzzi, G. Amino acids. In: Biochemistry and Molecular Biology of Plants. B. / G. Coruzzi, R. Last, W. Buchanan, R. Gruissem, R. Jones // Amer. Soc. Plant Biol., 2000: P. 358-410.
- 164. Cummins, I. A role for glutathione transferases functioning as glutathione peroxidases in resistance to multiple herbicides in black-grass./I. Cummins, D. J. Cole, R. Edwards// The Plant Journal 1999 18(3): P. 285–292
- 165. Danon, A. Environmentally-Induced Oxidative Stress and Its Signaling //In Photosynthesis: Plastid Biology, Energy Conversion and Carbon Assimilation / Volume 34 Advances in Photosynthesis and Respiration Ed. By J. J. Eaton-Rye, B. C. Tripathy, T. D. Sharkey 2012 Springer Dordrecht Heidelberg London-New York:P.319–330.
- 166. Davies, J. Herbicide safeners: commercial products and tools for agrochemical research // PesticideOutlook -2001 12 (1): P. 10-15.
- 167. Dayan, F. E. Chlorophyll fluorescence as a marker for herbicide mechanisms of action / F. E. Dayan, M. L. de M. Zaccaro // Pesticide Biochemistry and Physiology 2012 Volume 102, Issue 3:P.189–197.
- 168. Dikilitas, M. Effect of Lead on Plant and Human DNA Damages and Its Impact on the Environment / M. Dikilitas, S. Karakas, P. Ahmad // Ed. P. Ahmad, Plant Metal Interaction: Emerging Remediation Techniques, 2015, Chapter 3: P. 41–67.
- 169. Djanaguiraman, M. Selenium–an antioxidative protectant in soybean during senescence // M. Djanaguiraman, DD Devi, AK Shanker, JA Sheeba, U Bangarusamy// Plant and Soil – 2005 – 272 (1-2): P. 77-86
- 170. El-Awadi, M. The use of safeners to overcome physiological stress by dinitroaniline herbicides in some plants // Ph.D. Thesis, Fac. Sci., Ain Shams Univ 2007 P. 120-125.

- 171. El-Awadi, M.E. Improving Growth and Productivity of Fennel Plant Exposed to Pendimethalin Herbicide: Stress–Recovery Treatments / M. E. El-Awadi, E. A. Hassan // Nature and Science 2011 9 (2): P. 97-108.
- 172. Fargašová, A. Effect of Se-metal pair combinations (Cd, Zn, Cu, Pb) on photosynthetic pigments production and metal accumulation in Sinapis alba L. seedlings /A. Fargašová, J. Pastierová, K. Svetková // Plant soil environ.— 2006.–V. 52, (1): P. 8–15.
- 173. Fargašová, A. Toxicity comparison of some possible toxic metals(Cd, Cu, Pb, Se, Zn) on young seedlings of *Sinapis alba* L./A. Fargašová //Plant soil environment., *50*, 2004 (1): P. 33–38.
- 174. Feussner, I. The lipoxygenase parthway /I. Feussner, C.Wasternack //Fnnu. Rev.of plant biology Palo Alto.2002.–Vol. 53.–P.275-297.
- 175. Filek, M. Selenium-induced protection of photosynthesis activity in rape (Brassica napus) seedlings subjected to cadmium stress. Fluorescence and EPR measurements / M. Filek, J. Koscielniak, M. Łabanowska, E. Bednarska, E. Bidzinska // Photosynthesis Research 2010 105: 27–37
- 176. Filek, M. The uptake and translocation of macro- and microelements in rape and wheat seedlings as affected by selenium supply level / M. Filek, M. Zembala, H. Hartikainen, H. Mrowiec, A. Kornas, R. Wietecka-Posluszny, P. Walas // Plant and Soil 2010 336: 303–312.
- 177. Final review of scientific information on lead // United Nations Environment Programme Chemicals Branch, DTIE 2010
- 178. Foyer, C.H. The presence of glutathione reductase in chloroplasts: a proposed role in ascorbic acid metabolism /C.H. Foyer, B. Halliwel // Planta 1976. Vol. 133: P. 21-25
- 179. Germ, M. Metabolic Importance of Selenium for Plants / M. Germ, V. Stibilj, I. Kreft // The European Journal of Plant Science and Biotechnology 2007 1(1): P. 91-97

- 180. Germ, M. Combined effects of selenium and drought on photosynthesis and mitochondrial respiration in potato/ M. Germ, V. Stibilj, I. Kreft, O. Urbanc-Bercic // Plant Physiology and Biochemistry 2007 45: P. 162-167
- 181. Ghader, H. Effect of drought stress and selenium spraying on photosynthesis and antioxidant activity of spring barley/H. Ghader.// ActaagriculturaeSlovenica 2013. V.101 –-№ 1: P. 31-39
- 182. Giannopolitis, C.N. Superoxide dismutases. I. Occurrence in higher plants/ C.N. Giannopolitis, S.K. Ries // Plant Physio .— 1977. — №. 59. — P. 309–314.
- 183. Greene, D. Effects of lead on the environment. / LEAD Action News 1993Vol. 1,No 2
- 184. Groß, F J. Nitric oxide, antioxidants and prooxidants in plant defence response/ F. Groß, J. Durner, F. Gaupels // Frontiers in plant science. 2013. Vol. 4.: P. 1-13.
- 185. Hajiboland, R. Effect of Se application on photosynthesis, osmolytes and water relations in two durum wheat (Triticum durum L.) genotypes under drought stress / R. Hajiboland, N. Sadeghzadeh, B. Sadeghzadeh //Acta agriculturae Slovenica. 2014. V.103.–2: P.167-179.
- 186. Halliwell, B. Reactive Species and Antioxidants // Redox Biology Is a Fundamental Theme of Aerobic Life, Plant Physiol. 2006. V. 141: P. 312-322
- 187. Handa, N. Selenium: An Antioxidative Protectant in Plants Under Stress / N. Handa, R. Bhardwaj, H. Kaur, Poonam, D. Kapoor, A. Rattan, S. Kaur, A. K. Thukral, S. Kaur, S. Arora, N. Kapoor // Ed. P. Ahmad, Plant Metal Interaction; Emerging Remediation Techniques. 2015 Chapter 7, P. 179–207.
- 188. Hartikainen, H. Selenium as an antioxidant and prooxidant in ryegrass. / H. Hartikainen, T. Xue, V. Piironen // Plant and Soil 2000 225: P. 193-200
- 189. Hassan, N. M. Oxidative stress in herbicide-treated broad bean and maize plants / N.M. Hassan, M. M. Nemat Alla // Acta Physiologiae Plantarum 2005
 Volume 27, Issue 4: P. 429-438

- 190. Hasanuzzaman, M. Selenium in higher plants: physiological role, antioxidant metabolism and abiotic stress tolerance / M. Hasanuzzaman, M.A. Hossain, M. Fujita// J Plant Sci 2010 5: P. 354 –375
- 191. Hawrylak-Nowak, B. Beneficial effects of exogenous selenium in cucumber seedlings subjected to salt stress./ Biol.TraceElemRes. 2009 Dec; 132(1-3): P. 259-69.
- 192. Hawrylak-Nowak, B. Comparative effects of selenite and selenate on growth and selenium accumulation in lettuce plants under hydroponic conditions // Plant Growth Regul. 2013 –70: P. 149–157
- 193. He, P. Effects of Se and Zn sup- plementation on the antagonism against Pb and Cd in vegetables / P. He, X. Lu, G.Y. Wang // Environment International 2004 30: P. 167–172.
- 194. Holding, D. R. Plant growth processes: transportation, photosynthesis, and respiration./ D. R. Holding, A. M. Streich // The board of regents of the University of Nebraska, United States Department of Agriculture, 2013, 12 p.
- 195. Hong, S. Oxidative stress-related transcription factors in the regulation of secondary metabolism /S., L.V. Roze, J.E. Linz /// Toxins. 2013. Vol. 5. P. 683-702.
- 196. Hossain, M.A. Up-regulation of antioxidant and glyoxalase systems by exogenous glycinebetaine and proline in mung bean confer tolerance to cadmium stress / M.A. Hossain, M. Hasanuzzaman, M. Fujita// Physiol MolBiol Plants 2010 16: P. 259-272
- 197. Ibrahim, H.M. Selenium pretreatment regulates the antioxidant defense system and reduces oxidative stress on drought-stressed wheat (*Triticum aestivum* L.) plants //Asian Journal of Plant Sciences 2014 –13: P. 120–128.
- 198. Israel, Z. Photosynthesis, Photorespiration, and Plant Productivity // Ed. by: Academic press, New York and London 1971 374 p.
- 199. Issa, A.A. Influence of selenium on toxicity of some heavy metals in green alga *Scenedesmus obliquus*/ A.A. Issa,M.S. Adam // Folia Microbiologica 1999 44: P. 406–410.

- 200. Kabata-Pendias, A. Trace elements in soils and plants, 4th ed. //CRC Press, Boca Raton. 2011.–P. 287–288.
- 201. Kaul, S. Free radical scavenging potential of L-proline: evidence from in vitro assay/ S. Kaul, S.S. Sharma, I.K. Mehta// Amino Acids. 2008. Vol. 34:P. 315-320.
- 202. Kavi Kishor, P.B. Regulation of proline biosynthesis, degradation, uptake and transport in higher plants: Its implications in plant growth and abiotic stress tolerance // P.B. Kavi Kishor et al.// Current Science 2005 88(3): P. 35-39
- 203. KeLing, H. Influence of selenium on growth, lipid peroxidation and antioxidative enzyme activity in melon (Cucumis melon) seedlings under salt stress / H. KeLing, Zh. Ling, W. JiTao, Y. Yang // Acta Societatis Botanicorum Poloniae 2013 82 (3): P. 193-197
- 204. Keskinen, R. The protective role of selenium in rape seedlings subjected to cadmium stress. /R. Keskinen, M. Filek, H. Hartikainen, I. Szarejko, A. Janiak, Z. Miszalski, A. Golda // J Plant Physiol 2008 165: P. 833 –844
- 205. Kirkham, M.B. Cadmium in plants on polluted soils: Effects of soil factors, hyperaccumulation, and amendments // Geoderma 2006 Vol. 137, Is. 1–2:P. 19–32
- 206. Kosobrukhov, A. Plantago major plants responses to increase content of lead in soil: growth and photosynthesis/ A. Kosobrukhov, I. Knyazeva, V. Mudrik // PlantGrowRegul. 2004 42: P. 145-151.
- 207. Kovacs, E. Investigation into the mechanism of stimulation by low-concentration stressors in barley seedlings / E. Kovacs, P. Nyitrai, P. Czovek, M. Ovari, A. Keresztes // J. Plant Physiol 2009 166 (1): P. 72–79.
- 208. Kriton, K. Regulation of enzymatic systems detoxifying xenobioticx in plants / K. Kriton, E.K. Hatzion //NATO Science Partner-ship Sub Series.— Spring 2007 400 p.
- 209. Kruger, E.L. Reexamining the empirical relation between plant growth and leaf photosynthesis /E.L. Kruger, J.C. Volin J.C.//Funct. Plant Biol. 2006. №33:P.421-429.

- 210. Kumar, M. Selenium and spermine alleviates cadmium induced toxicity in the red seaweed Gracilaria dura by regulating antioxidant system and DNA methylation / M. Kumar, A.J. Bijo, R.S. Baghel, C.R.K. Reddy, B. Jha // Plant Physiol. Biochem. 2012 51: P. 129–138.
- 211. Łabanowska, M. Influence of cadmium and selenium on photosynthesis activity of rape and wheat plants studied by EPR /M. Łabanowska, E. Bidzińska, M. Filek // Current Topics in Biophysics. 2010 33 (suppl A):P. 141-146.
- 212. Lamhamdi, M. Effect of lead stress on mineral content and growth of wheat (*Triticum aestivum*) and spinach (*Spinacia oleracea*) seedlings/M. Lamhamdi, E. O. El Galiou, A. Bakrim, J. C. Nóvoa-Muñoz, A. Aarab, R. Lafontc //Saudi Journal of Biological Sciences. 2013–Vol. 20, № 1: P. 29–36.
- 213. Lang, T. P is for Pesticides / T. Lang, C. Clutterbuck // Ebury Press, Random Century Group, 1991, 256 p.
- 214. Langford, C.H. When should humics be regarded as dynamic combinatorial systems? In: Humic Substances: Molecular Details and Applications in Land and Water Conservation / C.H. Langford, J.R. Melton// Ghabbour, E.A., Davies, G. (Eds.) 2005 New York: Taylor & Francis: P. 65-78.
- 215. Lawlor, D.W. Photosynthesis, productivity and environment // J. Exp. Bot. 1995 46 (special issue):P.1449-1461
- 216. Lichtenthaler, H.K. Determination of total carotenoids and chlorophylls A and B of leaf in different solvents / H.K. Lichtenthaler, A.R. Wellburn //Biol. Soc. Trans. 1985. № 11: P. 591–592.
- 217. Mahmood, Q. Herbicides, Pesticides, and Plant Tolerance: An Overview / Q. Mahmood, M. Bilal, S. Jan // Emerging Technologies and Management of Crop Stress Tolerance, Volume 1: Biological Techniques, 2014 Chapter 17: P. 423–448
- 218. Manceau, A. Quantative speciation of heavy metals in soils and sediments by synchrotron X-ray techniques / A. Manceau, M.A. Marcus, N. Tamura // Applications of Synchrotron Radiation in Low-Temperature Geo-

- chemistry and Environmental Science. Reviews in Mineralogy and Geochemistry. Washington: DC, 2002. V. 49: P. 341-428.
- 219. Matysik, J. Molecular mechanism of quenching of reactive oxygen species by proline under stress in plant / J. Matysik, B. Alia, B. Bhalu, P. Mohanty // Curr.Sci. 2002. Vol. 82: P. 525-532.
- 220. McAllister, C.A. Is leaf-level photosynthesis related to plant success in a highly productive grassland?/ C.A. McAllister, A.K. Knapp, L.A. Maragni //Oecologia, –1998.–V. 117: P.40-46
- 221. McLaughlin, M.J. Cadmium in Soils and Plants / M.J. McLaughlin, B.R. Singh, B.R. // Developments in Plant and Soil Sciences, Springer Netherlands 1999 Vol. 85: 271 p.
- 222. McKersie, B.D. Iron-Superoxide Dismutase Expression in Transgenic Alfalfa Increases Winter Survival without a Detectable Increase in Photosynthetic Oxidative Stress Tolerance / B.D. McKersie, J. Murnaghan, K. S. Jones, S.R. Bowley // Plant Physiol. 2000 122(4): P. 1427–1438.
- 223. Mei, J. T. Selective Formation of Herbicides by Selenium-Catalyzed Oxidative-Reductive Carbonylation of CO / J. T. Mei, X. L. Bai, Z. G. Mu // Advanced Materials Research 2015 Vol. 1094: P. 20-22
- 224. Mihara, M. Determination of malonaldehyde precursor in tissues by thiobarbituric acid test / M. Mihara, M. Uchiyama // Anal Biochem. 1978 86(1): P. 271-278
- 225. Misra, A. Se-aquisition and reactive oxygen species role in growth, photosynthesis, photosynthetic pigments, and biochemical changes in essential oil (s) monoterpene of geranium // A.Misra, A.K. Srivastava, N.K. Srivastava, A. Khan //International Journal of Applied Biology and Pharmaceutical Technology 2010 Volume: I, V.2: P. 473-485.
- 226. Mittler, R. Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. Trends Plant Science 2002, 7: P. 405–410.

- 227. Mroczek-Zdyrska, M. 2012. The influence of selenium on root growth and oxidative stress induced by lead in Vicia faba L. minor plants / M. Mroczek-Zdyrska, M. Wojcik // Biol. TraceElem. Res. 147: P. 320–328.
- 228. Nakano, Y. Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidase in spinach chloroplasts / Y. Nakano, K. Asada // Plant Cell Physiol 1981 22: P. 867–880
- 229. Parker, C. Herbicide. Antidotes. Review //Pesticide Science. –1983. –V.14: P.40-48.
- 230. Pennenen, A. Protective role of selenium in plant subjected to severe UV irradiation stress / A.Pennenen, T. Xue., H. Hartikainen. // I. Appl. Bot. 2000. V. 76:P.66-76.
- 231. Pinto, E. Heavy metal-induced oxidative stress in algae / E. Pinto, T. C. S. Sigaud-kutner, M. A. S. Leitão, O. K. Okamoto, D. Morse, P. Colepicolo // Journal of Phycology 2003 Vol. 39, Iss. 6, P. 1008–1018
- 232. Põldma P. Selenium treatment under field conditions and affects mineral nutrition, yield and antioxidant properties of bulb onion (*Allium cepa* L.)/ P. Põldma, U. Moor, T. Tõnutare, K. Herodes, R. Rebane // Acta Sci. Pol., Hortorum Cultus 2013 12(6):P. 167-181
- 233. Poljsak, B. Strategies for reducing or preventing the generation of oxidative stress //Oxidative medicine and cellular longevity // Hindawi Pub. Corp. 2011. Vol. 2011: P. 1-15.
- 234. Pourrut, B. Lead uptake, toxicity, and detoxification in plants / B. Pourrut, M. Shahid, C. Dumat, P. Winterton, E. Pinelli // Rev Environ Contam Toxicol. 2011 213: P. 113-36.
- 235. Prasad, M.N.V. Cadmium toxicity and tolerance in vascular plants // Environmental and Experimental Botany 1995 Vol. 35, Is. 4:P. 525–545
- 236. Prasad, M.N.V. Trace Elements in the environments: biogeochemistry, biotechnology, and bioremediation / M.N.V. Prasad, K.S. Sajwan, R. Naidu // CRC Press, Taylor & Francis Group 2006 744 p.

- Proietti, P. Selenium protects olive (Olea europaea L.) from drought stress /
 P. Proietti, L. Nasinia, D. Del Buonoa, R. D'amatoa, E. Tedeschinib, D. Businellia // Scientia Horticulturae 2013 164: P. 165–171.
- 238. Reddy, A.M. Lead induced changes in antioxidant metabolism of horsegram *Macrotyloma uniflorum* Lam. Verdc. and bengalgram *Cicer arietinum* L. / A.M. Reddy, S.G. Kumar, G. Jyonthsnakumari, S. Thimmanaik, C. Sudhakar // Chemosphere 2005 60: P. 97–104.
- 239. Reilly, C. Selenium in Food and Health // Springer Science 2006 205 p.
- 240. Ribeiro, D.M. A dual role of selenium in the growth control of seedlings of Stylosanthes humilis / D.M. Ribeiro, A.M. Mapeli, W.C. Antunes, R.S. Barros // Agric. Sci. 2011. 2:P. 78–85.
- 241. Rotruck, JT. Selenium: biochemical role as a component of glutathione peroxidase / J.T. Rotruck, A.L. Pope, H. Ganther, W. Hoekstra // Science 1973 179: P. 588-590
- 242. Ruley A.T. Antioxidant defense in a lead accumulating plant, *Sesbania drummondii* / A.T. Ruley, N.C. Sharma, S.V. Sahi S.V.// Plant Physiol Biochem. 2004 42: P. 899–906.
- 243. Schaedle, M. Chloroplast Glutathione Reductase / M. Schaedle, J. Bassham // Plant Physiol.- 1977 59(5): P. 1011–1012.
- 244. Schober, F.B. Unusual solution properties of proline and its interaction with proteins /F.B. Schober, H.Tschesche // Biochim. Biophys. Acta. 1978. 541(2): P. 270-277.
- 245. Scursoni, J.A. Evaluation of post-emergence herbicides for the control of wild oat (Avena fatua L.) in wheat and barley in Argentina / J.A. Scursoni, A. Martín, M. P. Catanzaro, J. Quiroga, F. Goldar // Crop Protection 2011 V. 30, Iss. 1: P. 18–23
- 246. Sengar, R.S. Lead stress effects on physiobiochemical activities of higher plants. / R.S. Sengar, M. Gautam, S.K. Garg, K. Sengar, R. Chaudhary // Rev Environ Contam Toxicol. 2008 V.196: P.73-93.

- 247. Seppaenen, M. Selenium effects on oxidative stress in potato/ M Seppaenen, M. Turakainen, H. Hartikainen // Plant Sci. 2003. V.165: P. 311-319
- 248. Sharma, P. Lead toxicity in plants / P. Sharma, R. S. Dubey // Braz. J. Plant Physiol. 2005. vol.17(1): P. 35-52
- 249. Shaw, B.R. Detoxification/ defense mechanisms in metal-exposed plants // Trace elements in the environment: biogeochemistry, biotechnology, and bioremediation / B.R. Shaw, M.N. Prasad, V.K Jha, B.B. Sahu // CRC Press, Taylor& Francis Group, 2006.
- 250. Sieprawska, A. Involvement of selenium in protective mechanisms of plants under environmental stress conditions review / A. Sieprawska, A. Kornaś, M. Filek // Acta Biologica Cracoviensia Series Botanica 57/1: P. 9–20, 2015
- 251. Sillanpää, M. Status of Cadmium, Lead, Cobalt and Selenium in Soils and Plants of Thirty Countries / M. Sillanpää, H. Jansson // Food & Agriculture Org. 1992 Γ. 195 p.
- 252. Singh, R.P. Recovery of Pb2+ caused inhibition of chlorophyll biosynthesis in leave A s of *Vigna radiata* (L.) Wilczej by inorganic salts /R.P. Singh, S. Dabas, A. Choudhary //Indian J. Exp. Biol. − 1996.− № 34: P. 1129–1132.
- 253. Smiri, M. Effect of Cadmium on germination, growth, redox and oxidative properties in Pisum sativum seeds // J of Environmental Chemistry and Ecotoxicology 2010 3(3): P. 52-59
- 254. Smolders, E. Toxicity in lead salt spiked soils to plants, invertebrates and microbial processes: Unraveling effects of acidification, salt stress and ageing reactions. / E. Smolders, K. Oorts, S. Peeters, R. Lanno, K. Cheyns // Science of The Total Environment 2015 Vol. 536: P. 223–231
- 255. Stein, H. Elevation of free proline and proline-rich protein levels by simultaneous manipulations of proline biosynthesis and degradation in plants / H. Stein, A. Honig, G. Miller, O. Erster, H. Eilenberg, L. Csonka, L. Szabados, C. Koncz, A. Zilberstein // Plant Science. 2011. Vol. 181: P. 140-150
- 256. Sutton, R. Molecular structure in soil humic substances: the new view / R. Sutton, G. Sposito // Environ Science Technol. 2005 39(23):P. 9009-9015.

- 257. Tan, J. Selenium in soil and endemis diseases in China /J. Tan, W. Zhu, W. Wang et al.//Sci.Tol.Environ. 2002. V.284. P.227-335/
- 258. Tanner, J.J. Structural biology of proline catabolism // Amino Acids. 2008. Vol. 35: P. 719-30.
- 259. Terashima, I. Leaf Functional Anatomy in Relation to Photosynthesis /I.Terashima, T.Y. Hanba, D. Tholen, Ü. Niinemets //Plant PhysiologyJanuary 2011. Vol. 155: P. 108-116.
- 260. Terry, N. Selenium in higher plants / N. Terry, A.M. Zayed, M.P. De Souza, A. S. Tarun // Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology 2000 51: P. 401–432.
- 261. Tinggi, U. Essentiality and toxicity of selenium and its status in Australia: a review // Toxicology Letters 2003 137: P. 103-110
- 262. Vaughna, S.F. Utilization of sophorolipids as biosurfactants for postemergence herbicides / S. F. Vaughna, R.W. Behleb, C.D. Skoryc, C.P. Kurtzmand, N.P.J. Pricec // Crop Protection 2014 Volume 59: P. 29–34
- 263. Verkleij, J.A.C. Dualities in plant tolerance to pollutants and their uptake and translocation to the upper plant parts / J.A.C. Verkleij, A. Golan-Goldhirsh et al. // Environmental and experimental botany 2009 67: P. 10-22
- 264. Verma, S. Lead toxicity induces lipid peroxidation and alters the activities of antioxidant enzymes in growing rice plants / S. Verma, R.S. Dubey// PlantSci. 2003 164: P. 645-655
- 265. Verslues, P. Proline Metabolism and Its Implications for Plant-Environment Interaction / P. Verslues, S. Sharma// Arabidopsis Book. 2010 –8: P. 01-40
- 266. Vorobets, N. Glutathione peroxidase activity in sunflower shoots exposed to lead and selenium. Ann. Univ.Mariae Curie-Skłodowska 2006 19: P. 151–154.
- 267. Wagner, D. The genetic basis of singlet oxygen-induced stress responses of Arabidopsis thaliana. / D.Wagner, D. Przybyla, R. Op den Camp, C. Kim et al.//Reexamining the empirical relation between plant growth and leaf photosynthesis., Science 2004. Vol. 306: P.1183-1185.

- 268. We, J.F. Cd2- stress induces two waves of H₂O₂ accumulation associated with ROS-generating system and ROS-scavenging system in cultured tobacco cells / J.F. We, M.H. Deng, M. Gong // Aust J Crop Sci. 2012 –V. 6(5): P.846–853.
- 269. Wrona, M. The influence of selenium compounds on the permeability of wheat callus cell plasma membranes in the presence of camdmium ions / M. Wrona, A. Sieprawska, W. Tejchman, M. Filek // Acta Physiologiae Plantarum 2007 29: P. 122–122.
- 270. Xue, T. Antioxidative and growth-promoting effect of selenium in senescing lettuce / T. Xue, H. Hartikainen, V. Piironen // Plant and Soil 2001 237: P. 55–61.
- 271. Xue, T. Antioxidation of selenium in the higher plants / T. Xue, S.F. Hou, J.A. Tan, G.D. Liu //Chinese Science Bulletin 1993 –38: P. 274–277.
- 272. Yuan, J. Selenium treatment mitigates the effect of lead exposure in Coleus blumei benth / J. Yuan, M. Hu, Z. Zhou // J. Environ. Anal. Toxicol. 2013 3: 191 p.
- 273. Zhang, M. Selenium uptake, dynamic changes in selenium content and its influence on photosynthesis and chlorophyll fluorescence in rice (Oryza sativa L.) / M. Zhang, S. Tang, X. Huang, F. Zhang, Y Pang, Q. Huang, Q. Yi // Environmental and Experimental Botany 2014 107: P. 39–45.
- 274. Zheng, Y.X. Effects of water stress on photosynthetic activity, dry mass partitioning and some associated metabolic changes in four provenances of neem / Y.X. Zheng, J.C. Wu, F.L. Cao, Y.P. Zhang // Photosynthetica.–2010. V. 48(3). P. 361-369/

ПРИЛОЖЕНИЕ

Погодные условия в основные фазы развития зерновых культур

2013 год. Возобновление вегетации и кущениеозимой пшеницы в вегетационном опыте 2 проходили (с 18.04-30.04) при благоприятной температуре. Сохранность растений в период зимовки в среднем составила 79,3 %. Выявить разницы в сохранности растений пшеницы на почве загрязненной тяжелыми металлами не удалось.

Яровая пшеница. Сев яровой пшеницы провели 24 апреля. От посева до всходов (с 24.04 по 2.05) температура воздуха в среднем составила 12,5°С, т.е. была близка к норме, осадки −25,3мм, что в 2,7 раза выше нормы в этот период времени. Период от всходов до кущения длился 18 дней (3.05-21.05) и проходил при средней температуре 19,4°С, осадков практически не было (1,6мм). Период от кущения до выхода в трубку составлял 7 дней (22.05-28.05). В это время средняя температура составила в среднем 15,1°С, осадки − 22,4 мм, такие условия способствовали завершению закладки элементов колоса и формированию цветков. В период от выхода в трубку до колошения (29.05-23.06) стояла погода, способствующая хорошему формированию урожая пшеницы. Средняя температура воздуха была на уровне 18,2°С, осадки составляли 63,4мм. Период от колошения до молочной спелости зерна длился 19 дней (24.06-12.07). Средняя температура в этот период была 22,7°, осадки составляли 23,7 мм, т.е. погодные условия способствовали хорошему наливу зерна. Полная спелость наступила через 23 дня.

2014год. *Яровую пшеницу* посеяли 3-его мая, средняя температура воздуха составляла в начале мая 12,3°С, всходы появились на десятый день (13.05). Период всходы - кущение длился 12 дней (14.05-26.05) и проходил при жаркой (средняя температура 20,8°) погоде, осадки составили 32,6 мм. 17 мая провели обработку посева гербицидом. В период кущение — выход в трубку (27 мая по3 июня) погодные условия были неблагоприятными (тем-

пература в среднем 19,2°, осадков не было), что повлияло на закладку элементов колоса. Период выход в трубку – колошение продолжался 17 дней (с 4.06-21.06) и проходил при благоприятных температурно-влажностных условия (средняя температура 18,8°и осадки составили 19,3мм или 48,6% от количества осадков выпавших за июнь месяц). Это создавало предпосылки для улучшенного формирования цветков и зерен. От колошения до молочной спелости проходило 23 дня (с 22.06-15.07). Температура воздуха в среднем составляла 18,4°, осадки – 30,2мм. Период от молочной до полной спелости длился всего 17 дней при температуре 22,1°С и количестве осадков в 4,5мм. Уборку урожая провели 4-го августа.

2015год. *Яровая пшеница* была посеяна 6 мая, температура воздуха в период от посева до всходов в среднем составляла 14,6°C, осадки 5,5мм. Полные всходы отмечены на восьмой день. Период всходы – кущение (15.05-1.06) характеризовался умеренной температурой, на уровне 18,7°,и небольшим количеством осадков (4,8мм). Однако запасы продуктивной влаги осенне-зимнего периода позволили пшенице заложить узловые корни и побеги кущения. 22-го мая провели обработку посева гербицидом.

Период кущение - выход в трубку (2.06-9.06) длился 8 дней и проходил при средней температуре 18°C и осадках — 1,8мм. Колошение наступило спустя 26 дней после выхода в трубку (с 10-го июня по 6 июля). В это время температура воздуха в среднем составила 20,5°C, и была выше среднемноголетней температуры, осадки — 8,4мм, что сказалось на формировании элементов колоса. Молочная спелость наступила через 14 дней после колошения. Температура воздуха в период колошение - молочная спелость составила в среднем 19,5°C, количество осадков 29,5мм. Полная спелость — на 31-ый день после колошения (4 августа). Этот период (с 21.07 по 4.08) характеризовался высокой температурой воздуха (21,1°C) и количеством осадков 57,3 мм, что позволило несколько улучшить такие показатели как масса 1000 зерен и масса зерна с одного растения. Уборку провели 6-го августа.

Ячмень был посеян 4-го мая. Гидротермические условия (температура 14,8°C и влажность почвы 52 % от ППВ) способствовали появлению всходов на 6 день после посева. Период всходы – кущение (с 11 0.5 по 23 0.5) проходил при средней температуре 18,2°C и осадках – 4,8 мм. С ростом ячменя активно развивались сорняки, поэтому обработку посева провели 16-го мая. В период кущение - выход в трубку (с 24.05-7.06) установилась жаркая и сухая погода. Температура воздуха была на уровне 22-26°C, осадков вообще не было. Такие условия сказались на закладке элементов колоса – колосков, цветков. Колошение наступило 24-го июня. Гидротермические условия в период выхода в трубку – колошение (с 8 0.6 по 24 0.6) сложились следующим образом: средняя температура воздуха 22,4°C, осадки –14 мм или 66,7% выпавших осадков за месяц. Такая погода с недостатком влаги привела к частичной стерильности пыльцы и уменьшению численности зерен в колосе (Кошеляев В.В., 2013). Период колошение - молочная спелость зерна (с 25 0.6 по 11 0.7) характеризовался высокой температурой 25,8°C, выпадением до 56 мм осадков. В период молочная спелость - полная спелость температура воздуха снизилась до 17,3°C. Небольшие (0,8-1,3мм) осадки выпадали в течение этого периода несколько раз. Уборку урожая провели в полной спелости зерна 2-го августа.

Характеристика сортов зерновых культур, используемых в опытах

Скипетр – сорт озимой пшеницы (Triticumaestivum L), разновидность lutescens получен путем индивидуального отбора из гибридных популяций с участием сортов Бригантина, Обрит, Кинельская 4 и др. Сорт безостый, сильно кустится, имеет высокую натуру зерна; экологически пластичен, среднеспелый, повышенной зимостойкости, высокой устойчивости к весенним заморозкам, устойчив к полеганию, осыпанию, прорастанию на корню, засухе, твердой головне. В слабой степени поражается бурой ржавчиной, мучнистой росой, септориозом, корневыми гнилями. Недостаток сорта – в отдельные годы поражается снежной плесенью. Сорт включен в Государственный реестр селекционных достижений по Средневолжскому региону.

Тризо— сорт мягкой яровой пшеницы (Triticumaestivum L), разновидностьлютесценс. Сорт немецкой селекции, относится к ценным пшенице. Среднепоздний (вегетационный период 85-90дней), устойчив к полеганию, умеренно устойчив к бурой ржавчине, мучнистой росе, сильно восприимчив к твердой головне.Сорт устойчив к полеганию и одинаково хорошо переносит засуху и избыточное увлажнение. Включен в Государственный реестр по Северо-Западному (2) региону, но хорошие результаты показывает в Среднем Поволжье.

Кинельская 59 – мягкая яровая. Сорт выведен в Поволжском НИИ селекции и семеноводства им. П.Н.Константинова методом гибридизации географически отдаленных форм (Саратовская 35 ×Lee) ×Мироновская 808. Среднеспелый, вегетационный период 77-85 дней. В средней степени поражается пыльной головней, слабее стандарта; средне - выше среднего - бурой ржавчиной; не устойчив к поражению стеблевой ржавчиной и повреждению шведской мухой.

Фаворит — сорт мягкой пшеницы создан в ГНУ Научно-исследовательском институте сельского хозяйства Юго-Востока. Сорт получен путем сочетания в одном генотипе хозяйственно-ценных признаков от твердой пшеницы (сортов Краснокутка 10 и Гизик), полбы (Вернал) с положительными признаками саратовских сортов яровой мягкой пшеницы, включая сорта Л503 и Белянка: Л2033 / Белянка. Разновидность лютесценс. Имеет большую устойчивость к полеганию и прорастанию на корню во влажных условиях уборки. Фаворит имеет хорошие технологические свойства зерна. Устойчив к комплексу патогенов (листовая ржавчина, мучнистая роса, пыльная головня).

Одесский 100. Сорт ярового ячменя, выведен во Всесоюзном ордена Ленина и ордена Трудового красного знамени селекционно-генетическом институте (Одесса) путем индивидуального отбора из популяций, полученной от скрещивания высоколизинной линии 774/74 (селекции ВСГИ) с линией Хадмерслебенер 36462/64 9 (селекции ГДР). Разновидность нутанс. Растение средней высоты 58-90 см. Продуктивная кустистость высокая, вторичные побеги по высоте не отличаются от главного, и зерно на всех побегах созревает одновременно. Среднеспелый, вегетационный период составляет 65-85 дней, обладает высокой засухоустойчивостью. Сорт исключительно выровнен по стеблестою. Потенциальная урожайность сорта высокая. Сорт пивоваренного направления. Отнесен к ценным сортам по качеству.

Аннабель—сорт ярового ячменя немецкой селекции. Родословная: 90014 ДХ х Крона. Среднеспелый, вегетационный период 79-102 дня. Устойчив к полеганию. Включен в список пивоваренных сортов. Устойчив к каменной головне, восприимчив к гельминтоспориозу, умеренно восприимчив к стеблевой ржавчине, сильновосприимчив к мучнистой росе.

Характеристика гербицидов и препаратов, используемых в опытах

Диален Супер – селективный гербицид против двудольных сорняков, в составе которого 2,4-Д, 344 г/л; и дикамба, 120 г/л. Гербицид выпускается в виде водного раствора. 2,4-Д относится к классу феноксиуксусных кислот, действует как регулятор ростовой активности за счет прекращения деления клеток. Дикамба относится к классу бензойных кислот и является, гормональным «синтетическим ауксином», по свойствам аналогична гетероауксину — природному гормону роста (при избытке непомерно ускоряет рост растения, что приводит к его гибели). Доза внесения в опыте из расчета 0,5л/га, расход рабочего раствора — на сосуд 10мл.

Прима –селективный гербицид против двудольных сорняков, в составе которого 2,4 – Д сложныйэфир, 300 г/л; + флорасулам, 6,25 г/л. Флорасуламотносится к классу триазолпиримидинов, 2,4-Д – к классу феноксиуксусных кислот. Сочетание двух действующих веществ позволяет: ингибировать биосинтеза незаменимых аминокислот, прекращать деление клеток в меристемных тканях. Гербицид выпускается в виде суспензионной эмульсии и подавляет те же сорняки, что и гербицид Диален Супер.

В опытах гербицид применялся в дозе 0,5л/га. Оба гербицида швейцарской фирмы Сингента.

В качестве антистрессантов были использованы в комбинации с гербицидами мегафол, гуми-90, силиплант, селенат и селенит натрия.

Мегафол – препарат в составе которого28% аминокислот растительного происхождения, в том числе триптофан,лизин, пролин и др., до 3% азота, из них органического 1% и амидного 2%, органического углерода 9% и 6% доступного калия. Кроме того он содержит бетаин, полисахариды,прогормональные соединения.

Основные компонентыМегафолаполучены путем энзимного гидролиза и технологии «Wave» из высоко-протеиновых растительных субстратов.

Мегафол — жидкость коричневого цвета, плотностью $1,22 \text{ г/см}^3$, $pH_{вод}6,5$. Производитель мегафола итальянская фирма Valagro, выпускается в виде водного раствора. В опытах применялся из расчета 0,7л/га, рабочего раствора 100 л/га.

Силиплант—препарат разработан и производится ННПП «НЭСТ М» в жидкой форме. В составе его кремния от 0,7-0,9 до 7,5-7,8% (в зависимости от марки), кроме того калий и в легко доступной для растений хелатной форме микроэлементы (г/л): Fe - 0,44-0,54; Mg - 0,12-0,13; Cu - 0,09-0,27; Zn - 0,74-0,87; Mn - 0,32-0,37; Mo - 0,06-0,074; Co - 0,02-0,024; B - 0,094-0,112%. В исследованиях использовался силиплант универсальный с содержанием кремния 7,5 %, из расчета 1,5 л/га, рабочего раствора из расчета на сосуд - 35 мл.

Гуми-90представляет порошок биоактивированных по молекулярному весу соли БМВ-гуминовых кислот природного происхождения и важнейшие микроэлементы адаптогенной природы (бор 1,2%, молибден 0,2%, кобальт в хелатной форме 0,05%). Производитель ООО НВП «БашИнком». Доза использованная в опытах из расчета 0,175кг/га, рабочего раствора в полевом опыте 200л/га, в вегетационном 30мл на сосуд.

Селенат (Na_2SeO_4) и селенит натрия (Na_2SeO_3)—соли селеновой и селенистой кислот. Биологическая функция селена определяется его положением в периодической системе Д.И. Менделеева. Элемент может существовать в четырех основных неорганических формах: селениды (H_2Se^{-2}), H_2Se^{-2} , элементарный селен (Se^0), селенистая кислота ($H_2Se^{+4}O_3$), селеновая кислота ($H_2Se^{+6}O_3$). В селенитах селен входит в состав кислотного остатка в степени окисления +4. Поскольку здесь Se имеет промежуточную степень окисления, он может проявлять двойственные окислительно-восстановительные свойства. То есть селен в одних условиях может переходить в селенаты (Se^{+6}), а в других — в элементарный селен (Se^0).Селенаты содержат селен в степени окисления +6. Это максимально возможная степень окисления этого элемента. Поэтому селенаты проявляют только окислительные свойства.

Методики определения пролина и ферментов

Накопление свободного пролина в зеленой массе яровой пшеницы сорта Тризо оценивали по методу L. Bates etal. [1973].

Для этого листья проростков контрольной и опытных групп фиксировались в 100 %-ном этиловом спирте. Затем листья освобождались от этилового спирта выпариванием на водяной бане при 100°С. Навеску листьев массой 2 г заливали 40 мл 3%-го раствора сульфосалициловой кислоты, гомогенизировали и отфильтровывали раствор через фильтр Шотта № 4. К 2 мл экстракта добавляли 2 мл кислого нингидрина и 2 мл уксусной кислоты. После выдерживания смеси при 100°С в течение одного часа ее немедленно охлаждали во льду и экстрагировали образовавшийся хромофор 4 мл толуола при интенсивном взбалтывании. Степень окрашивания экстракта оценивали на спектрофотометре СФ 46 при длине волн 520 нм. Концентрацию пролина рассчитывали по стандартной кривой.

Анализы по определению ферментов в надземной массе яровой пшеницы проводили следующими методами.

Для приготовление грубого гомогената и ферментативных экстрактов брали среднюю части (0,5 г) листьев пшеницы (*Triticum aestivum*L., сорт «Тризо») предпоследнего яруса и гомогенизировали вручную в ступке с 4,5 мл охлажденного 30 мМК /Nа-фосфатного буфера, рН 7.4, содержащим 0,1 мМ ЭДТА, 2% PVP(М.м.25 000). Гомогенаты фильтровали через нейлоновую ткань. Часть фильтрата, центрифугировали 5000 дв течение 15 минут. Супернатант использовали для оценки интенсивности перекисных процессов, тестируемых по содержанию продуктов, реагирующих с тиобарбитуровой кислотой (ТБКРп), а также для определения активности аскорбатпероксидазаы (АсП), глутатионредуктазы (ГР) и гваяколпероксидазы (ГПХ). Вторую часть фильтра тацентрифугировали при 11000 дв течение 20мин. Суперна-

тант использовали для определения активности супероксиддисмутазы (СОД).

Содержание ТБКРп. Интенсивность перекисных процессов в листьях пшеницы оценивали методом, изложенным Uchiyama and Mihara (1978) по содержанию ТБКРп. Реакционная смесь содержала 3 мл1%-ной фосфорной кислоты, 1 мл 0,6%-ного водного раствора тиобарбитуровой кислоты (ТБК), 0,1 мл водного раствора $FeSO_4\cdot 7H_2O$ (2,8 мг·мл⁻¹) и 0,3 мл экстракта. Реакционную смесь нагревали на водяной банев течение одного часа. После охлажденияк реакционной смеси добавили 4мл бутанола-1, и центрифугировали при 3000gв течение 10 мин. Оптическую плотность образцов измеряли при 532 и 600 нм с использованием спектрофотометра «Hitachi-557»(Киото, Япония). Концентрацию ТБКРп рассчитывали с использованиемкоэффициента-экстинкции 1,56×10-5 M^{-1} см⁻¹.

Активность СОД. Активность СОД определяли по Giannopolitis и Ries, (1978) по фотовосстановлению *п*-нитротетразолиевого синего (NBT) в присутствии рибофлавина и метионина, генерирующих супероксидные анионрадикалы. NBT восстанавливается до синего формазана с максимумом поглощения при 560 нм. Реакционная смесь (3 мл) содержала 1.3 мкМ рибофлавин, 13 мМ метионин, 63 мкМ NBT в 0.05 М К/Nа_фосфатный буфер с 0.10 мМ EDTA, рН 7.4 и 0.1 мл ферментативного экстракта. Реакционную смесь безферментативного экстракта исполовали в качестве контроля. Образцы освещали в течение 6 мин. Измерения проводили на спектрофотометре» «Ніtachi-557 (Киото, Япония). За единицу активности СОД принимали объем ферментативного экстракта, который вызывал 50% ингибирование фотовосстановления NBT.

Активность АсП. Для определения активности аскорбатпероксидазы (АсП) использовали метод Nakano and Asada (1981) по снижению поглощения при 290 нм при окислении аскорбата (коэффициент экстинции 2.8 мМ см⁻¹). Реакционная смесь (3мл) для определения активности АсП содержала 30 мМ К/Na фосфатный буфер (рН 7.4), 0.5 мМ аскорбат, 0.1 мМ EDTA и

ферментативный экстракт. Реакцию начинали, добавляя 0.1 мл 0.3мМ пероксида водорода.

Активность ГР. Активность ГР определяли методом Foye и Halliwel (1976) по глутатион-зависимому окислению НАДФН при 340 нм (коэффициент экстинции 6.22 мМ·см⁻¹). Реакционная смесь (3мл) содержала 30 мМ К /Na - фосфатного буфера рН 7,4, 0,15 мМ НАДФ·Н, 3 мМ MgCL₂·6H₂O и 0,5 мМ глутатион окисленного (GSSG) Реакцию начинали введением ферментного экстракта.

Активность ГПХ. Активность гваяколпероксидазы измеряли спектрофотометрически по Гавриленко и др. (1975) по окислению гваякола. Реакционная смесь (3 мл) содержала 30мМ К/Nа-фосфатного буфера (рН 6,5), 0,1 мл ферментативного экстракта и 0,1мл 56мМ гваякола. Реакцию инициировали добавлением 0,1 мл 0,15%-ной перекиси водорода. Переход гваякола в егоокисленную форму, тетрагваякол, регистрировали при 470нм. Скорость реакции была рассчитана с использованием коэффициента экстинкции для тетрагваякола—26,6мМ см⁻¹.

Полученные результаты по активности ферментов рассчитывать на грамм сырой массы листьев.

Xлорофилл(a+6).Для определения концентрации хлорофилл(a+6)0,1 г листьев пшеницы экстрагировалив 10 мл охлажденного (2-4°C)80% ацетона и определяли спектрофотометрически по методу Lichtenthaler и Wellburn(1985).

Площадь ассимиляционной поверхности листьев посева яровой пшеницы, тыс. m^2 на 1 гектаре посева (полевой опыт)

	Пло	щадь листьев	по фазам разви	кити
Вариант	кущение	выход в трубку	колошение	молочная спелость
	20)13 год		
Контроль 1	9,0	23,1	41,6	32,6
Контроль 2	9,0	19,9	36,3	28,3
Гербицид	9,1	21,4	38,2	32,3
Γ ербицид + Na_2SeO_4	8,7	26,4	46,1	39,3
Γ ербицид + Na_2SeO_3	8,8	23,4	43,3	39,0
Гербицид + гуми-90	9,0	26,9	42,0	33,0
Гербицид + мегафол	8,9	27,7	48,2	41,2
	20)14 год		
Контроль 1	7,1	10,2	33,7	23,8
Контроль 2	7,0	9,0	27,5	20,1
Гербицид	7,2	9,6	26,9	21,4
Γ ербицид + Na_2SeO_4	7,2	10,2	39,3	27,8
Γ ербицид + Na_2SeO_3	7,4	9,6	37,6	26,8
Гербицид + гуми-90	7,3	10,6	34,0	24,6
Гербицид + мегафол	7,2	1,05	42,1	26,6
	20	015год		
Контроль 1	4,2	10,2	27,3	24,8
Контроль 2	4,2	8,5	20,8	17,7
Гербицид	4,4	9,1	22,2	19,4
Γ ербицид + Na_2SeO_4	4,3	10,5	31,6	26,0
Γ ербицид + Na_2SeO_3	4,2	9,8	32,0	26,3
Гербицид + гуми-90	4,1	9,4	28,7	24,5
Гербицид + мегафол	4,2	10,0	32,0	25,9

Площадь ассимиляционной поверхности листьев посева ярового ячменя, тыс. m^2 на 1 гектаре посева (полевой опыт), 2015г.

	Площадь листьев по фазам развития							
Вариант	начало кущения	выход в трубку	колошение	молочная спелость				
Контроль 1	5,1	28,3	36,8	30,7				
Контроль 2	5,0	19,3	31,0	26,8				
Гербицид	5,0	21,2	33,6	27,1				
Гербицид + Na ₂ SeO ₄	5,1	26,1	36,6	30,9				
Γ ербицид + Na_2SeO_3	5,2	34,6	40,4	39,1				
Гербицид + гуми-90	5,1	33,5	39,8	36,6				
Гербицид + мегафол	5,1	35,3	40,7	32,				

Фотосинтетический потенциал посева яровой пшеницы, тыс. \mathbf{m}^2 сутки /га

	Фотосинте	тический поте	енциал по фаза	м развития
Вариант	кущение	выход в трубку	колошение	молочная спелость
	20	013 год		
Контроль 1	108	601	1456	782
Контроль 2	107	517	1267	679
Гербицид	109	556	1337	775
Γ ербицид + Na_2SeO_4	104	686	1614	943
Γ ербицид + Na_2SeO_3	106	611	1516	936
Гербицид + гуми-90	108	699	1470	792
Гербицид + мегафол	107	720	1687	989
	20	014 год		
Контроль 1	85,2	222,8	973	381
Контроль 2	85,9	198	789	340
Гербицид	86,4	182,4	916	342
Γ ербицид + Na_2SeO_4	₂ SeO ₄ 86,4	193,8	1128	445
Γ ербицид + Na_2SeO_3	88,8	182,4	1011	429
Гербицид + гуми-90	87,6	201,4	983	394
Гербицид + мегафол	86,4	199,5	1146	426
	20	015 год		
Контроль 1	42,0	112	927	347
Контроль 2	42,0	96	707	248
Гербицид	44,0	100	768	272
Γ ербицид + Na_2SeO_4	43,0	116	1074	364
Γ ербицид + Na_2SeO_3	42,0	108	1013	368
Гербицид + гуми-90	41,0	103	976	343
Гербицид + мегафол	42,0	111	1088	363

Фотосинтетический потенциал посева ярового ячменя, тыс. м²/га (полевой опыт), 2015г.

Приложение 8

	Фотосинтетический потенциал по фазам развития							
Вариант	кущение	выход в трубку	колошение	молочная спелость				
Контроль 1	61,2	396,2	1104	583				
Контроль 2	60,0	382,1	930	509				
Гербицид	60,0	296,8	1008	515				
Γ ербицид + Na_2SeO_4	61,2	365,4	1098	587				
Γ ербицид + Na_2SeO_3	62,4	484,4	1212	783				
Гербицид + гуми-90	61,2	386,4	1194	692				
Гербицид + мегафол	61,2	548,8	1221	597				

Количество сорняков в посеве яровой пшеницы по вариантам опыта до обработки посева

	До обработки посева пшеницы								
Варианты	2	013г.	2	014г.	2015г.				
	всего т.ч.много- детники всего т.ч.много- детники		всего	т.ч.много- летники					
Контроль 1	91	6	80	2	97	2			
Контроль 2	117	5	73	2	105	2			
Гербицид	112	4	99	5	77	6			
Гербицид+ Na ₂ SeO ₄	113	10	51	3	86	2			
Гербицид+ Na ₂ SeO ₃	94	8	79	1	74	3			
Гербицид+гуми-90	110	6	90	3	78	3			
Гербицид+мегафол	109	11	89	4	93	4			

Приложение 10

Засоренность посева пшеницы к уборке урожая

Варианты		2013г.		2014г.		2015г.			
Бирнинты	1*	2	3	1	2	3	1	2	3
Контроль 1	302	20	6,6	365	9	2,5	383	14	3,7
Контроль 2	313	121	38,7	360	82	22,8	336	94	28,0
Гербицид	317	16	5,0	370	12	3,2	370	14	3,7
Гербицид+ Na ₂ SeO ₄	324	23	7,1	373	6	1,6	372	21	5,6
Гербицид+ Na ₂ SeO ₃	339	18	5,3	377	9	2,4	380	14	3,7
Гербицид+гуми-90	377	20	5,3	368	14	3,8	383	10	2,7
Гербицид+мегафол	337	17	5,0	376	11	2,9	381	20	5,2
В среднем	330	33,6	10,2	370	20	5,4	372	27	5,4

Примечание: 1— число растений пшеницы на 1м², 2—число сорняков,шт. м²; 3— % засоренности посева

Корреляционная матрица взаимосвязи ГТК с основными показателями фотосинтетической деятельности и урожайностью зерна яровой пшеницы и показателей фотосинтетической деятельности друг с другом и урожайностью зерна яровой пшеницы

	ГТК	Урожай- ность, ц/га	*ПЛ, тыс. м² /га	$\Phi\Pi$,тыс. $m^2 \times \text{сут./гa}$	Сухая мас- са,т/га
Урожайность, ц/га	0,89				
ПЛ, тыс. м^2 /га	0,79	0,96			
$\Phi\Pi$,тыс. м ² ×сут./га	0,90	0,97	0,95		
Сухая масса,т/га	0,85	0,95	0,95	0,98	
ЧП Φ ,г/м 2 в сутки	0,85	0,91	0,91	0,90	0,92

Примечание: ПЛ–площадь листовой поверхности, ФП–фотосинтетический потенциал, ЧПФ– чистая продуктивность фотосинтеза

Влияние антистрессантов и гербицида на ростовые показатели иструктуру урожая яровой пшеницы (полевой опыт)

Donyourry	Длин	на, см	В колосе	е число	Macca 1000	
Варианты	стебля	колоса	колосков	зерен	зёрен, г	
		20	13г.			
Контроль 1	70,4	12,0	20,0	34,9	33,8	
Контроль 2	70,2	9,5	18,4	31,9	32,0	
Гербицид	69,6	10,0	20,0	34,5	33,0	
Гербицид+ Na ₂ SeO ₄	73,2	11,2	19,3	35,2	33,8	
Гербицид+ Na ₂ SeO ₃	72,2	11,4	18,6	35,2	34,7	
Гербицид+гуми-90	70,3	10,2	18,9	32,8	33,2	
Гербицид+мегафол	72,7	12,0	20,0	33,4	35,0	
HCP ₀₅	0,91	0,14	0,26	1,03	0,71	
		20	14г.			
Контроль 1	59,5	9,2	18,0	27,0	32,6	
Контроль 2	58,3	7,0	16,0	22,5	32,0	
Гербицид	57,4	8,3	16,0	25,3	31,5	
Гербицид+ Na ₂ SeO ₄	58,8	9,0	16,8	28,0	32,0	
Гербицид+ Na ₂ SeO ₃	60,2	8,4	16,5	27,3	32,4	
Гербицид+гуми-90	58,3	7,9	16,5	27,0	33,0	
Гербицид+мегафол	60,5	9,8	18,0	28,0	32,6	
HCP ₀₅	0,98	1,01	0,99	1,03	0,26	
		20	15г.			
Контроль 1	54,9	7,4	18,3	24,7	30,8	
Контроль 2	54,0	6,2	16,0	23,3	30,0	
Гербицид	55,0	7,0	16,0	24,0	30,5	
Гербицид+ Na ₂ SeO ₄	55,3	7,8	18,3	25,9	32,0	
Гербицид+ Na ₂ SeO ₃	56,8	7,2	18,3	26,0	31,2	
Гербицид+гуми-90	55,1	6,8	16,7	25,4	31,0	
Гербицид+мегафол	58,0	7,2	18,3	24,7	32,4	
HCP ₀₅	0,62	0,05	1,01	1,24	0,36	

Приложение 13

Накопление и распределение сухой массы растениями яровой пшеницы в фазу молочной спелости зерна (вегетационный опыт №1)

	Сухая	масса, г на1ра	астение / % от	общей			
Варианты	общая	в том числе					
	оощая	листьев	побега	колоса			
	Гербицид	Диален Супер)				
Контроль-вода	0,970	0,191/19,6	0,568/58,6	0,211/21,8			
Гербицид	0,815	0,122/15,0	0,524/64,3	0,169/20,7			
Гербицид+ Na ₂ SeO ₄	1,161	0,273/23,5	0,601/51,8	0,287/24,7			
Гербицид+ Na ₂ SeO ₃	1,137	0,231/20,3	0,644/56,6	0,262/23,1			
Гербицид+гуми-90	0,990	0,162/16,7	0,162/16,7 0,599/60,5				
Гербицид+мегафол	1,212	0,183/15,1	0,724/59,7	0,305/25,1			
Гербицид+силиплант	1,131	0,221/19,5	0,563/57,6	0,260/22,9			
	Герби	щид Прима					
Контроль-вода	0,965	0,193/20,0	0,557/57,7	0,212/22,3			
Гербицид	0,880	0,156/17,7	0,539/61,3	0,185/21,0			
Гербицид+ Na ₂ SeO ₄	1,188	0,248/20,9	0,638/53,7	0,302/25,4			
Гербицид+ Na ₂ SeO ₃	1,194	0,244/20,4	0,643/53,9	0,307/25,7			
Гербицид+гуми-90	1,062	0,191/18,0	0,625/58,9	0,246/23,7			
Гербицид+мегафол	1,217	0,197/16,2	0,677/55,6	0,343/28,2			
Гербицид+силиплант	1,199	0,245/20,4	0,652/54,4	0,302/25,2			

Продуктивность пшеницы в зависимости от использования антистрессантов и гербицидов (вегетационный опыт № 1)

		Масса, г/ 1растение						
Варианты	общая		в том числе					
	биомасса	зерна	соломы	половы	1			
	Гербици	д Диален Су	лер					
Контроль-вода	2,05	0,87	1,00	0,18	0,42			
Гербицид	1,78	0,73	0,88	0,17	0,44			
Гербицид+ Na ₂ SeO ₄	2,10	0,98	0,90	0,22	0,47			
Гербицид+ Na ₂ SeO ₃	1,97	0,94	0,83	0,20	0,48			
Гербицид+ гуми-90	1,89	0,82	0,89	0,18	0,44			
Гербицид+ мегафол	2,27	1,05	0,98	0,24	0,46			
Гербицид+ силиплант	1,98	0,98	0,80	0,20	0,49			
	Герб	ицид Прима	l					
Контроль-вода	2,02	0,89	0,90	0,23	0,44			
Гербицид	1,94	0,80	0,95	0,19	0,41			
Гербицид+ Na ₂ SeO ₄	2,34	1,23	0,90	0,21	0,53			
Гербицид+ Na ₂ SeO ₃	2,26	1,22	0,84	0,20	0,54			
Гербицид+ гуми-90	2,04	0,98	0,82	0,20	0,48			
Гербицид+ мегафол	2,39	1,30	0,92	0,17	0,54			
Гербицид+ силиплант	2,19	1,19	0,82	0,18	0,54			
НСР _{0,5} фактор А фактор В	0,018 0,034	0,0140 0,270	0,012 0,022	0,011 0,016				
частных различий	0,048	0,380	0,031	0,021				

Примечание: НСР: Фактор А – фоны (гербициды); фактор В– варианты; АВ – частных различий

Влияние тяжелых металлов и селена на рост первичной корневой системы 14-ти дневных растений яровой пшеницы

Сорта		Варианты									
Сорта	Контроль	Se	Pb	Cd	Se+Pb	Se+Cd	НСР				
	Длина корней, см										
Кинельская	3,40	3,62	2,80	2,72	3,62	3,33	0,15				
Тризо	3,12	3,17	2,47	2,42	2,88	3,12	0,13				
Фаворит	3,35	3,40	2,62	2,50	3,30	3,50	0,13				
В среднем	3,29	3,40	2,63	2,55	3,27	3,32					
		Ma	асса г/100	корней (
Кинельская	0,900	0,890	0,760	0,750	0,890	0,890	0,005				
Тризо	0,880	0,880	0,710	0,750	0,870	0,890	0,011				
Фаворит	0,880	0,890	0,720	0,720	0,890	0,890	0,014				
В среднем	0,887	0,887	0,730	0,740	0,883	0,890					
		q_{I}	исло корн	ей, шт.							
Кинельская	4,50	4,75	3,25	3,50	4,75	4,25	0,14				
Тризо	3,75	4,25	2,75	3,25	3,75	4,50	0,11				
Фаворит	4,50	5,75	3,50	3,25	4,50	4,75	0,24				
В среднем	4,25	4,92	3,50	3,33	4,33	4,50					

Влияние тяжелых металлов и селена на рост первичной корневой системы 14-ти дневных растений ячменя

Сорта		Варианты							
Сорта	H ₂ O	Se	Pb	Cd	Se+Pb	Se+Cd	HCP, %		
		Дли	на корне	ей, см					
Сурский фаворит	6,25	6,30	5,82	5,78	6,85	6,20	0,25		
Одесский 100	5,27	5,18	4,78	4,45	5,50	5,28	0,18		
Аннабель	5,75	5,72	5,17	5,05	6,02	5,28	0,25		
В среднем	5,76	5,73	5,26	5,09	6,12	5,59			
	Ma	сса кор	ней, г/10	00 расто	ений				
Сурский фаворит	0,96	0,93	0,85	0,83	1,15	1,12	0,05		
Одесский 100	1,05	0,95	0,80	0,78	1,29	1,03	0,05		
Аннабель	1,03	0,91	0,82	0,81	1,19	1,03	0,07		
В среднем	1,01	0,93	0,82	0,81	1,21	1,06			
		Числ	іо корне	й, шт.					
Сурский фаворит	4,85	4,33	4,15	4,05	5,34	5,22	0,15		
Одесский 100	3,65	3,58	3,47	3,44	4,65	4,85	0,10		
Аннабель	3,95	4,60	3,81	3,82	4,25	4,25	0,13		
В среднем	4,15	4,17	3,81	3,77	4,75	4,77			

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ

Урожайные данные зерна яровой пшеницы (полевой опыт)

2013 год

ОДНОФАКТОРНЫЙ ДИСПЕРСИОННЫЙ АНАЛИЗ (А-R)

Число градаций фактора А = 7

Число блоков R = 3

Таблица исходных данных

1 2 3 Средняя 1 41.40 40.80 42.00 41.40 2 36.00 34.60 34.40 35.00 3 40.50 39.00 39.60 39.70 4 39.90 44.70 42.00 42.20 5 41.00 40.80 41.80 41.20 6 39.40 39.60 40.10 39.70 7 42.40 43.20 42.80 42.80

x= 40.286 sx= 0.660 p= 1.64% Таблица дисперсионного анализа

Источник SS dfms F HCP

Общее 138.166 20

Блоки 0.420 2 0.210 0.161

Варианты 122.068 6 20.345 15.572* 2.034

Остат. 15.678 12 1.306

Множественные сравнения частных средних:

^{41.40}bcd 35.00a 39.70b 42.20cd 41.20bcd 39.70b 42.80d

Математическая обработка урожайных данных за 2014 и 2015гг.

2014 год

```
ОДНОФАКТОРНЫЙ ДИСПЕРСИОННЫЙ АНАЛИЗ (А-R)
```

Урожайные данные зерна яровой пшеницы

Число градаций фактора А = 7

Число блоков

R = 3

Таблица исходных данных

1 2 3 Средняя

1 32.50 32.00 32.40 32.30

2 28.00 26.80 26.20 26.00

3 29.80 28.60 30.10 29.50

4 33.00 33.90 33.30 33.40

5 33.70 33.00 33.20 33.30

6 32.90 32.60 32.30 32.60 7 34.80 34.10 33.70 34.20

x= 31.900 sx= 0.260 p= 0.82%

1

Таблица дисперсионного анализа

Источник SS dfms F HCP

Общее 96.320 20

Блоки 0.523 2 0.261 1.287

Варианты 93.360 6 15.560 76.621* 0.809

Остат. 2.437 12 0.203

Множественные сравнения частных средних:

32.30c 28.00a 29.50b 33.40de

33.30d 32.60cd 34.20e

2015г.

ОДНОФАКТОРНЫЙ ДИСПЕРСИОННЫЙ АНАЛИЗ (A-R)

Число градаций фактора А = 7

Число блоков R = 3

Таблица исходных данных

1 2 3 Средняя

1 29.20 29.00 28.80 29.00

2 26.10 26.00 25.00 25.70

3 26.50 28.50 27.50 27.50

4 31.30 30.80 30.30 30.80

5 30.80 30.10 30.90 30.60

6 30.00 30.50 29.80 30.10

7 31.00 30.30 30.20 30.50 x= 29.171 sx= 0.321 p= 1.10%

Таблица дисперсионного анализа

Источник SS dfms F

Общее 70.923 20

Блоки 0.626 2 0.313 1.012

Варианты 66.586 6 11.098 35.884* 0.980

Остат. 3.711 12 0.309

Множественные сравнения частных средних :

29.00c 25.70a 27.50b 30.80d

30.60d 30.10d 30.50d

HCP