

Министерство науки и высшего образования
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«КУРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ АГРАРНЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР»
(ФГБНУ «Курский ФАНЦ»)



В.Г. Вавин, И.И. Гуреев, С.В. Хлюпина

**Агроэкологические аспекты применения пестицидов при
возделывании зерновых культур
на черноземных почвах**

Курск – 2023

УДК 632 (470.323)
ББК 44 (470.323)
В12

Вавин Валерий Григорьевич

Агроэкологические аспекты применения пестицидов при возделывании зерновых культур на черноземных почвах / В.Г. Вавин, И.И. Гуреев, С.В. Хлюпина. – Курск: Курский федеральный аграрный научный центр, 2023. – 70 с., 19 ил., 9 табл.

В брошюре рассмотрены вопросы минимизации последствий пестицидов, используемых в интенсивных технологиях производства зерновых культур на черноземных почвах. В системе химической защиты растений рекомендовано использование природного цеолита, который создаёт предпосылки для снижения рекомендуемых доз препаратов и, соответственно, повышения экономико-экологической эффективности их использования. Рекомендованы методы биотестирования, позволяющие оценить уровень экологических последствий для окружающей среды при интенсификации производства зерновых культур. Для многокритериальной оценки эффективности средств защиты растений впервые в земледелии предложен инновационный цифровой подход в виде функции желательности Харрингтона.

Брошюра рассчитана на широкий круг ученых и специалистов в области земледелия, экологии, других смежных сельскохозяйственных и биологических дисциплин, будет полезна сельхозтоваропроизводителям, преподавателям ВУЗов, аспирантам и студентам.

Область применения – земледелие, экология.

Рецензенты:

В.И. Лазарев - доктор сельскохозяйственных наук, профессор, главный научный сотрудник лаборатории технологии возделывания полевых культур

И. Я. Пигорев - доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры растениеводства, селекции и семеноводства Курского ГАУ, Заслуженный работник сельского хозяйства РФ

Брошюра рассмотрена и одобрена Ученым советом ФГБНУ «Курский ФАНЦ» (протокол № 12 от 15.11.2023г.)

Работа выполнена по теме Государственного задания № FGZU-2022-0005.

© В.Г. Вавин, И.И. Гуреев, С.В. Хлюпина. 2023.

© ФГБНУ «Курский федеральный аграрный научный центр», 2023

ISBN 978-5-6051166-2-2

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
1 ПОВЕДЕНИЕ ПЕСТИЦИДОВ В АГРОЦЕНОЗАХ	8
1.1 Пестициды в почве	10
1.2 Пестициды в культурных растениях	14
1.3 Влияние удобрений на содержание пестицидов в почве	17
1.4 Цифровые методы оценки уровней накопления пестицидов в почве.....	19
2 ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРИРОДНЫХ ЦЕОЛИТОВ ДЛЯ ДЕТОКСИКАЦИИ ПЕСТИЦИДОВ	22
3 ПУТИ МИНИМИЗАЦИИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПЕСТИЦИДАМИ ПРОДУКЦИИ ЗЕМЛЕДЕЛИЯ И ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ	27
3.1 Динамика деградации пестицидов	27
3.2 Изменение агротехнических свойств пестицидов с использованием цеолитов	32
4 ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЦЕОЛИТОВ В КАЧЕСТВЕ АДСОРБЕНТА ЭКОЛОГИЧЕСКИ ОПАСНЫХ ВЕЩЕСТВ	40
5 АГРОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ ПОСЛЕДЕЙСТВИЯ ПРИМЕНЯЕМЫХ ГЕРБИЦИДОВ В СЕВООБОРОТЕ КУЛЬТУР	44
6 МНОГОКРИТЕРИАЛЬНАЯ ИНТЕГРАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ФИТОСАНИТАРНОГО СОСТОЯНИЯ ПОСЕВОВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР	54
Заключение.....	62
Список литературы.....	65

ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ И ОБОЗНАЧЕНИЙ

В настоящей брошюре применяют следующие сокращения и обозначения:

в.к. – водорастворимый концентрат

в.р. – водный раствор

д.в. – действующее вещество

к.э. – концентрат эмульсии

МДУ – максимально допустимый уровень содержания пестицида в продукции

Мкг – микрограмм

ПДК – предельно допустимая концентрация пестицидов в почве

р.п. – водорастворимый порошок

с.п. – смачивающий порошок

ЭПВ – экономический порог вредоносности вредителей

$N_{60}P_{60}K_{60}$ – доза действующих веществ минеральных удобрений, кг/га (азот, фосфор, калий)

ВВЕДЕНИЕ

По мере дальнейшей интенсификации сельскохозяйственного производства значительно возрастает экологическое и экономическое значение защиты растений от вредителей, болезней и сорняков. В связи с этим возникает ряд актуальных проблем, так как концентрация и специализация производства связаны с необходимостью корректировки установившихся систем земледелия, что неизбежно приводит к изменению фитосанитарной обстановки, экологическим проблемам, улучшению условий для развития и распространения отдельных видов вредителей, болезней и сорняков, имеющих хозяйственно-экономическое значение [1].

Возникает необходимость перехода от непосредственно борьбы с отдельными видами к активному управлению популяциями вредных видов путём использования всех имеющихся методов и средств защиты растений при минимальном воздействии их на полезную природную энтомофауну и окружающую среду в целом.

Вследствие этого большое значение придаётся разработке и совершенствованию химического метода как основной части интегрированной защиты растений. Его рациональному применению в конкретных почвенно-климатических и агрохозяйственных условиях.

Химическая защита растений применением пестицидов - один из наиболее радикальных способов борьбы с вредителями, болезнями и сорняками. Пестициды обладают исключительно сильным физиологическим действием. Они распределяются на больших площадях и, обладая высокой стабильностью, передвигаются по пищевым цепям, аккумулируясь в определенных звеньях до биоцидных концентраций. Поэтому вопросы регулирования способности пестицидов длительно сохраняться в объектах окружающей природной среды без изменения первоначальных токсических свойств имеют чрезвычайно большое значение.

Поскольку пестициды используются главным образом в земледелии, основная их масса попадает в почву. Почва является своеобразным депо и основным местом взаимодействия химических соединений и микроорганизмов. С экотоксикологической и санитарно-гигиенической точек зрения важно исключить миграцию пестицидов в другие объекты окружающей среды. Это диктует необходимость обеззараживания их именно в почве.

В идеале в практике должны использоваться такие пестициды и такая технология их применения, которые исключали бы накопление химических соединений и миграцию их в различные объекты окружающей среды. Однако еще нередки случаи, когда необходимо вмешательство человека в естественные процессы очищения почвы.

Благодаря высокой эффективности, простоте и доступности химический метод стал основным в защите растений. Однако, очень быстро начали проявляться и отрицательные последствия широкого применения химических препаратов: накопление их в почве, водоисточниках; возникновение устойчивых к ним популяций вредных организмов; появление новых экономически значимых видов вредителей; губительное действие на полезную фауну и флору; нарушение естественных биоценозов. И главное – отрицательное влияние пестицидов на здоровье и жизнь человека [2, 3].

С каждым годом растёт число публикаций, констатирующих нарастающее загрязнение окружающей среды и продуктов питания остатками пестицидов. Возникла необходимость всестороннего изучения экотоксикологии пестицидов и принятие мер по охране биоценозов и здоровья человека. В связи с этим большое значение приобретает контроль над содержанием пестицидов, изучение их особенностей поведения и детоксикации в различных природных объектах, в первую очередь в почве и растениях [4].

При решении природоохранных проблем необходимо учитывать комплексный характер использования агрохимикатов в земледелии, особенности современных технологий возделывания сельскохозяйственных

культур, организации производства, а также специфику средств химизации как загрязнителей окружающей среды и продукции.

В настоящее время в мировой практике используется около 100 тысяч пестицидных препаратов, созданных на основе 950 химических соединений. Во всём мире обрабатывается более 4,9 млрд. га земли, причём на 1 гектар приходится в среднем 0,3 кг д.в. пестицидов. В Центрально-Черноземном регионе (ЦЧР) нагрузка пестицидами на гектар пашни составила около 0,1 кг. В ближайшей перспективе ассортимент пестицидов не будет подвержен существенным изменениям, но объём их производства и применения будет возрастать. При этом одним из факторов, сдерживающих этот процесс, станет ужесточение законодательства по охране окружающей среды [5].

Проблема остаточных количеств пестицидов в окружающей среде и продукции объёмная и многоплановая. Она обусловлена различием физико-химических и санитарно-гигиенических свойств пестицидов, особенностями их поведения в системе «почва – растение». Зависит от природных факторов, возможностей комплексного внесения пестицидов различного фитосанитарного назначения, а также от воздействия других средств химизации. Обозначенная проблема может быть успешно решена только совместными усилиями учёных и практиков, занимающихся вопросами защиты растений, агрономии, экологии, санитарии и гигиены, аналитической химии и других областей. Необходимо выполнение широкого круга исследований, практических и организационных мероприятий, направленных на эффективное применение пестицидов в сельскохозяйственном производстве [6].

Основу данной работы составили материалы лабораторных и полевых исследований по изучению динамики деградации пестицидных препаратов различного фитосанитарного назначения, применяемых для защиты зерновых культур от вредителей болезней и сорняков в Западной Сибири и ЦЧР.

Исследования выполнены в лабораториях охраны окружающей среды Кемеровского НИИСХ СО РАСХН в 1988–1999 гг. и лаборатории

севооборотов и адаптивных агротехнологий ФГБНУ «Курский ФАНЦ» в 1999–2022 гг.

В ходе исследований разработаны рациональные приёмы защиты зерновых культур от вредных организмов и сорняков на основе применения природного сорбента – цеолита, позволяющие снизить дозы применения пестицидов до половины средней технологической нормы без снижения их биологической эффективности и урожайности культур со значительным повышением экологической безопасности производства.

Результаты могут оказаться полезными для реализации природоохранных технологий в растениеводстве ЦЧР в лесном, коммунальном хозяйстве, транспортных службах (в борьбе с нежелательной растительностью), а также проведении научных исследований по гигиеническим и экологическим вопросам нормирования остаточных количеств пестицидов в продукции и объектах окружающей природной среды.

1 ПОВЕДЕНИЕ ПЕСТИЦИДОВ В АГРОЦЕНОЗАХ

В настоящее время реализуется лишь ограниченная часть потенциально возможной продуктивности сельскохозяйственных культур. Значительные колебания урожайности связаны не только с погодными и почвенно-климатическими условиями, но и с потерями от вредителей, болезней и сорняков. Потери урожая зерновых культур в России ежегодно составляют до 20% и в отдельные годы массового размножения вредителей и болезней могут значительно возрасти.

В Российской Федерации ущерб наносят около 8 тысяч вредителей и болезней сельскохозяйственных культур. Только членистоногих фитофагов пшеницы отмечается более 100 видов. Из более, чем 1 тыс. видов сорных растений наиболее вредоносны 120-150. С внедрением в 80-е годы интенсивных технологий возделывания культур видовой состав основных фитофагов, фитопатогенов и сорняков изменился. Преобладают виды, устойчивые к традиционно применяемым химическим средствам защиты растений, что вызывает необходимость разработки новых пестицидов или увеличения доз и кратности обработок.

Систематическое применение пестицидов началось около 100 лет назад. До середины 30-40-х годов это были преимущественно препараты природного происхождения (растительные экстракты) и неорганические вещества (соединения меди, серы, мышьяка). Развитие химической промышленности в послевоенный период привело к широкому производству и применению искусственно синтезированных органических соединений – пестицидов различного биологического воздействия и химической природы. Искусственное происхождение современных пестицидов определяет особенности их состояния и поведения в окружающей природной среде и меры по предотвращению их отрицательного воздействия на биоценозы и человека.

Первая особенность пестицидов по сравнению с химическими веществами другого назначения – это неотвратимость их циркуляции в

биосфере. После применения пестициды неизбежно будут находиться во внешней среде до полного распада.

Вторая особенность заключается в том, что пестициды предназначены для уничтожения живого и потенциально опасны для живой природы и здоровья людей.

И третья особенность – это контакты больших масс населения с пестицидными препаратами в связи с циркуляцией их во внешней среде и наличием остаточных количеств в пищевых продуктах.

Эти и другие особенности учитываются при создании пестицидных препаратов и разработке регламентов их применения, санитарно-гигиенических и природоохранных мероприятий. Сформировалось новое направление в науке – сельскохозяйственная экотоксикология (агроэкологическая) – наука о методах, способах и средствах охраны окружающей среды при использовании агрохимикатов, циркуляции их во внешней среде, накоплении в различных объектах агробиоценоза и сельскохозяйственной продукции. В её задачу входит разработка эффективных, экологически безопасных мер охраны среды, особенно важных для жизни и здоровья людей компонентов как почва, вода, воздух, продукты питания.

Общее мировое применение пестицидов достигло 2 млн. тонн в год по действующему веществу. В России ежегодно выпускается до 150 тыс. тонн пестицидов более 100 наименований [7].

По данным анализа рынка пестицидов в России, за последние 4 года объём производства российских пестицидов увеличился почти в 2 раза (рис. 1).

Как и в мире, в 2017–2021 гг. самая большая доля производства пестицидов в России приходилась на гербициды, которые в 2021 г. занимали 69,2 % от совокупного объёма производства химических средств защиты растений. Доля фунгицидов, родентицидов и аналогичных продуктов достигла к 2021 г. 17,6 %, инсектицидов – 12,5 %. Удельный вес средств против прорастания и регуляторов роста растений в 2021 году составил менее одного процента от общего объёма российского производства пестицидов.

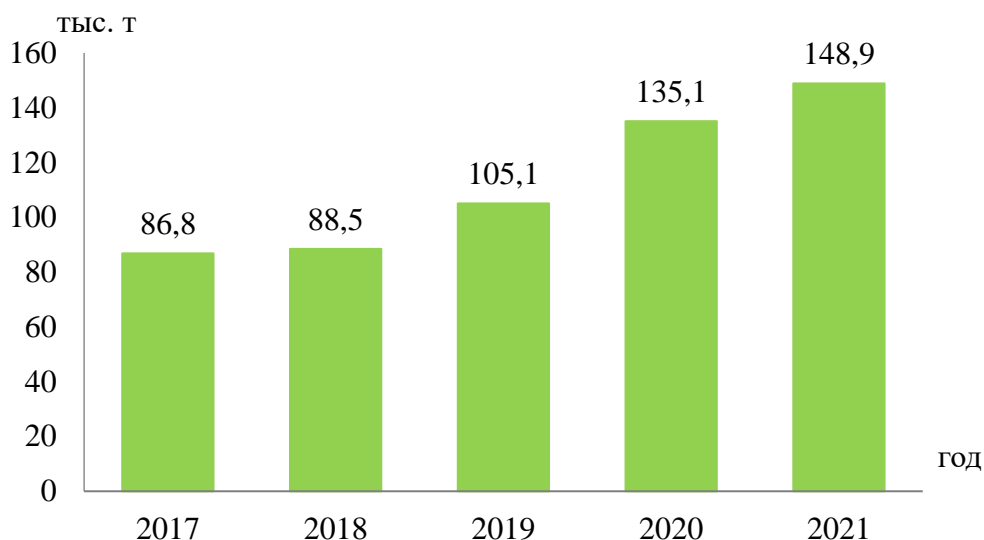


Рисунок 1. Производство пестицидов в России в 2017-2021 гг.

В условиях интенсификации сельского хозяйства, в частности растениеводства, применение химических средств защиты растений ежегодно растет. На данный момент в Европе их применение составляет более 3 кг/га, в Китае – более 2,5 кг/га, тогда как в России всего 0,2 кг/га [8].

1.1 Пестициды в почве

Почве принадлежит основная роль в самоочищении ландшафтов от пестицидов. Её самоочищающаяся способность определяется климатическими условиями и биологической активностью. Если же самоочищение происходит замедленно, то даже умеренное ежегодное внесение пестицидов со временем приводит к нежелательным последствиям.

Длительность сохранения и поведение пестицидов в почве определяются их физико-химическими свойствами и совместным действием физических, химических, биологических и других факторов. В зависимости от почвенно-климатических условий, время разложения пестицидов может значительно удлиниться.

Содержание остатков пестицидов в окружающей среде и продуктах питания, как правило, коррелирует с объёмами их применения. Исследования, проведённые в США, показали, что в почве сельскохозяйственных угодий содержалось до 10,6 тыс. тонн ДДТ, 4,2 тыс. тонн дилдрина, 3,9 тыс. тонн аодрина. Значительные количества остатков пестицидов, содержащих десятки мг/кг, обнаружены в почвах Канады, Японии, Болгарии, Германии, Румынии. Хорошо известно использование гербицидов и дефолиантов в качестве экологического оружия во время войны во Вьетнаме. США для этих целей применили более 100 тыс. тонн препаратов, в том числе до 1000 тонн диоксина. В результате в стране уничтожено 12 % лесов и более 5 % сельхозугодий [9].

Важнейшей экологической характеристикой пестицидов является их способность мигрировать по профилю почвы, создавая опасность загрязнения грунтовых вод и водоёмов. Миграционная способность пестицидов зависит главным образом от степени их сорбции почвенным комплексом, растворимости, количества и интенсивности выпадающих осадков. Передвижение пестицидов связано со сложением и структурой почвы и происходит в результате диффузии с почвенной влагой и воздухом, а также в процессе гравитационного переноса с просачивающейся водой.

Особо высокую миграционную способность проявляют фосфорорганические инсектициды. Они проникают на глубину более 100 см, загрязняя при этом грунтовые воды.

Важным фактором, влияющим на потери и распространение пестицидов в окружающей среде, является их летучесть. Скорость улетучивания зависит от метеорологических условий, температуры и относительной влажности воздуха, скорости ветра, от концентрации пестицидов и их препаративной формы. Так, с повышением температуры и влажности летучесть пестицидов возрастает за счёт нарушения связи с почвенными частицами и увеличения их диффузии с потоком воздуха и почвенным раствором [10].

По мере увеличения содержания глинистых частиц и органического вещества в почве интенсивность улетучивания пестицидов снижается за счёт адсорбции на глинистых частицах и органических коллоидах.

Большинство пестицидов в той или иной мере способны подвергаться химическим превращениям и деградации. Продукты распада подвергаются дальнейшему превращению путём гидролиза, окисления, восстановления, фотолиза, дегидроксилирования. Особо выделяют реакцию образования N-нитрозосоединений.

Многочисленные исследования показывают, что главную роль в снижении остатков пестицидов в почве играет их микробиологическая деградация.

Микроорганизмы являются основным фактором почвообразовательного процесса и необходимым звеном круговорота веществ в природе. В одном грамме хорошо окультуренной почвы содержится до 2 млрд. бактериальных спор, 5 млн. живых бактерий, 1 млн. актиномицетов, 50 тыс. грибов, водорослей и простейших микроорганизмов. В одном грамме лесной почвы может сдержаться в среднем 35 млн. микроорганизмов самых разнообразных видов. В расчёте на 1 га пашни в почве находится от 1 до 15 тонн микроорганизмов. Однако влияние микроорганизмов определяется не их массой, а их реакционноспособной поверхностью, равной 300–500 га на 1 га земельной площади [11, 12].

Способность микроорганизмов хорошо сохраняться при неблагоприятных условиях и быстро восстанавливать популяцию обуславливает стабильность и жизнеспособность почвы как биологической системы.

Существенное влияние на микрофлору почвы оказывают различные агротехнические мероприятия: механические обработки, севообороты, средства химизации сельского хозяйства [13, 14].

Почвенная микрофлора имеет хорошую развитую пищевую сеть и мощный компенсационный механизм, основанный на взаимозаменяемости одних видов другими. Кроме того, благодаря лабильному ферментативному

аппарату виды могут легко переключаться с одного питательного субстрата на другой, обеспечивая этим стабильность экосистемы.

В функционировании почвенных микроорганизмов важное значение имеет граница (нагрузки, концентрации) применения пестицидов, при которой происходит изменение потока энергии, нарушается круговорот веществ, ломается структура и организация микробиоценоза. Порог действия токсических веществ на биологическую систему определяется на основании анализа кривой «доза-эффект» [15]. Этот принцип используется в экотоксикологии.

При изучении динамики процесса деградации пестицидов под влиянием микроорганизмов в почве наблюдается лаг-период, во время которого происходит адаптация микрофлоры. При этом содержание остатков пестицидов в почве изменяется незначительно. Обобщённые кривые, характеризующие взаимодействие микроорганизмов и пестицидов, показаны на рисунке 2.

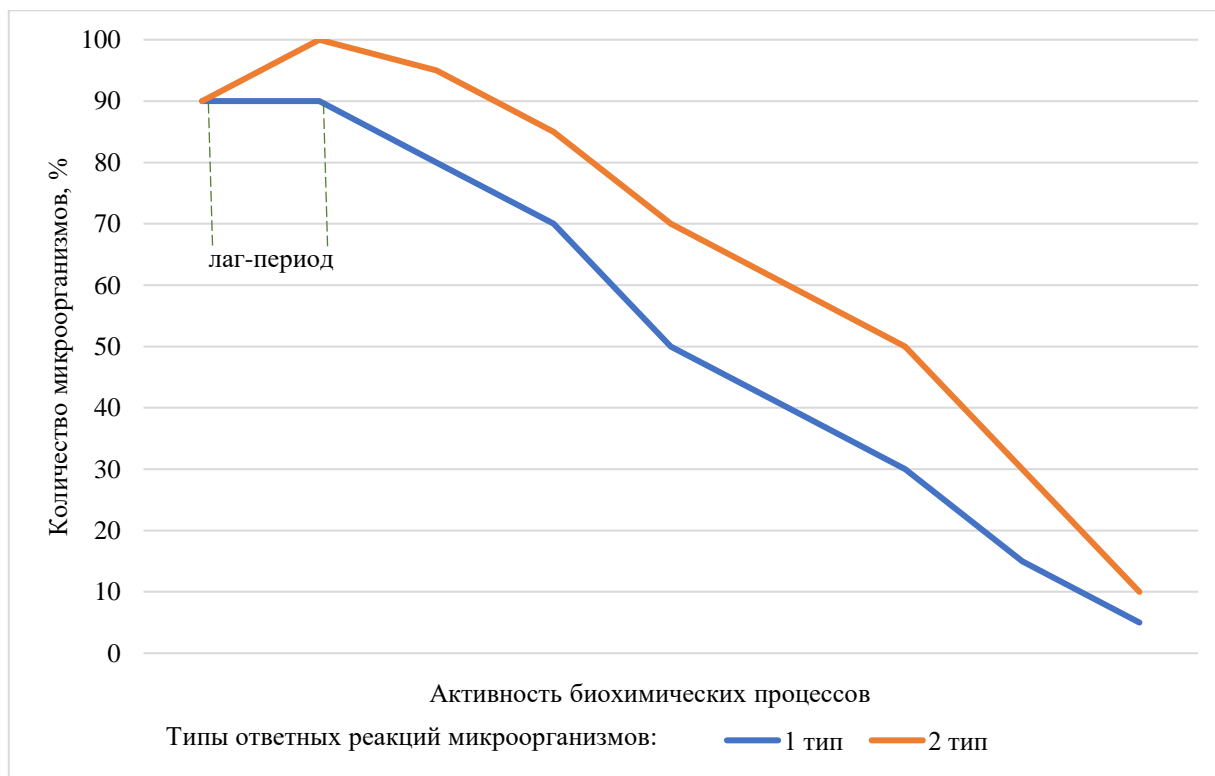


Рисунок 2. Влияние возрастающих доз пестицидов на численность микроорганизмов и активность биохимических процессов (относительных единиц) в почве (кривая доза – эффект) по Ю.В. Круглову, 1991 г.

1.2 Пестициды в культурных растениях

Загрязнение остатками пестицидов растений и растениеводческой продукции представляет прямую опасность для человека и животных. Поэтому при рассмотрении проблем, связанных с экологическими последствиями применения пестицидов культурные растения и, особенно, зерновые как основные продовольственные и фуражные культуры, требуют особого внимания.

Пестициды поступают в растения при контактном применении препаратов или испарения их из почвы через устьица и за счёт транслокации из почвы через корневую систему. Водорастворимые пестициды поступают из почвы в растения быстрее и в большем количестве, чем малорастворимые в результате поглощения их корнями с последующим перемещением в надземные органы.

В комплекс системы, влияющей на степень проникновения и накопления пестицидов в растениях, входят многочисленные абиотические и биотические факторы. Это физико-химические свойства пестицидов, их формы и способы применения, условия окружающей среды, особенности обрабатываемых растений (густота посева, развитие вегетативной массы, анатомо-морфологические, физиолого-биохимические, генетические), определяющие распределение токсикантов в растениях.

Немаловажным фактором являются особенности выращивания культуры (содержание макро- и микроэлементов питания растений, физико-химические свойства почвы) определяющие физиологическое состояние растений, а также особенности почвенной микрофлоры, участвующей в метаболизме пестицидов.

В целом, скорость разложения пестицидов в растениях выше, чем в почве, что обуславливается большой интенсивностью биохимических процессов, происходящих в организме растений.

Отмечена тенденция более быстрого разрушения остатков пестицидов в раннеспелых сортах культур по сравнению с позднеспелыми. Это явление

связано с более высокой активностью ферментов (в частности пероксидазы) в растениях раннеспелых сортов.

В растениях пестициды претерпевают всевозможные превращения. Различают три их этапа. Первый – гидролиз, окисление, восстановление и другие химические превращения, приводящие к изменению активности препаратов. На втором этапе происходит конъюгация (связывание) пестицидов и первичных продуктов их метаболизма с аминокислотами, углеводами и другими соединениями.

Конъюгаты хорошо растворимы и накапливаются в листьях. При конъюгации гербицидов теряется их фитотоксичность и они уже не могут воздействовать на обмен веществ в растениях. На третьем этапе происходит полимеризация метаболитов с образованием нерастворимых продуктов.

В растениях остатки пестицидов могут присутствовать в трёх формах: свободно экстрагируемые, экстрагируемые конъюгаты и неэкстрагируемые связанные метаболиты, включённые в растительные ткани. Связанные остатки пестицидов в растениях биологически неактивны и быстро выводятся из организма человека и животных с экскрементами.

Замедление детоксикации пестицидов в сельскохозяйственных культурах приводит к загрязнению продукции их остаточными количествами, что может создавать серьёзные санитарно-гигиенические проблемы.

Содержание остаточных количеств пестицидов в растениеводческой продукции является важным лимитирующим показателем её качества, на который обращают внимание при закупке и реализации.

Особое место занимает продукция овощных и плодовых культур, которая употребляется в свежем виде без предварительной обработки или предназначается для приготовления детского и диетического питания.

Данные о содержании остаточных количеств пестицидов в продуктах питания разных стран мира ежегодно публикуется Всемирной Организацией Здравоохранения (ВОЗ) и ФАО [16].

Основная причина загрязнения – нарушение регламентов применения пестицидов в хозяйствах (сроков, доз, кратности обработок), слабая материально-техническая база для транспортировки, хранения и применения, недоучёт агрохозяйственных и почвенно-климатических особенностей проведения химической борьбы с вредителями, болезнями культур и сорняками.

Существуют различные способы снижения содержания остаточных количеств пестицидов в продуктах питания. Тщательное промывание, удаление кожуры, термическая обработка и низкотемпературное замораживание, бланшировка и другие технологические операции существенно снижают содержание остатков пестицидов.

1.3 Влияние удобрений на содержание пестицидов в почве

Систематическое применение минеральных удобрений и химических мелиорантов влияет на ход биологических и физико-химических процессов в почве и не может не сказаться на качестве урожая и уровне содержания пестицидов в объектах окружающей природной среды и продукции.

Пестициды и минеральные удобрения, используемые на одном поле, вступают в сложные взаимодействия. Применение пестицидов позволяет повышать коэффициент использования элементов питания культурными растениями. В то же время при внесении удобрений и пестицидов изменяется биологическая эффективность последних, что требует корректировки норм расхода химикатов. Эти явления необходимо учитывать при разработке систем комплексного применения удобрений и пестицидов в интенсивных технологиях выращивания сельскохозяйственных культур, исключая негативное влияние их не только на культурные растения, но и на элементы окружающей природной среды.

Направленное воздействие на характер этих взаимодействий путём рационального применения удобрений, может быть, одним из реальных способов регулирования состава и структуры агрофитоценозов, повышения

урожайности, экологичности производства и улучшения качества получаемой продукции при химической защите растений.

Внесённые удобрения оказывают разностороннее и, преимущественно, активирующее влияние на жизнедеятельность микрофлоры и микрофауны почвы. Многочисленными исследованиями доказано, что самое сильное благоприятное влияние на активность почвенных микроорганизмов оказывают азотные удобрения, которые способствуют ускорению детоксикации большинства пестицидов в почве. Так, внесение мочевины значительно ускоряет разложение симм-триазинов в почве [17].

Несмотря на то, что азот среди питательных элементов растений занимает доминирующее положение, только совокупность всех элементов питания может обеспечить гармоничное развитие растений. Недостаток фосфорного и калийного питания, сдерживая развитие растений, косвенно влияет и на персистентность пестицидов в агробиоценозе.

Применение микроудобрений (бор, марганец, цинк, медь, молибден, кобальт и др.) позволяет изменить скорость деградации пестицидов в нужном направлении. Например, микроудобрения, содержащие бор, кобальт, молибден замедляют процессы детоксикации, а медь, железо – ускоряют эти процессы [18].

В литературе имеются многочисленные данные о большом значении микроэлементов как фактора устойчивости растений к инфекционным болезням. Установлено, что в результате внесения микроэлементов в ткани растений создаются условия, неблагоприятные для обитания патогенов. Оказывая влияние на различные физиологические процессы, микроэлементы способны улучшить общее состояние поражённых органов и растений в целом и тем самым уменьшить вред, наносимый болезнью. Это создаёт предпосылки уменьшения доз фунгицидов при защите растений от грибных заболеваний на фоне обеспечения микроэлементами [19].

Таким образом, учёт влияния средств химизации на самоочищение почв сельскохозяйственных угодий от пестицидов и оптимизацию защитных мероприятий необходим не только для прогнозирования последствий

интенсивного применения пестицидов и разработки мер по ускорению детоксикации их остаточных количеств, но и для корректировки доз обработок пестицидами [20, 21].

1.4 Цифровые методы оценки уровней накопления пестицидов в почве

Для проведения системного контроля над содержанием пестицидов и изучения их поведения в природных средах и продукции возникает необходимость в качественной и количественной оценке получаемых результатов. Такая оценка позволяет сопоставлять и анализировать результаты контрольных мероприятий и исследований, проводимых в различных почвенно-климатических районах и агрохозяйственных условиях, более эффективно их использовать для определения регламентов применения агрохимикатов, безопасных для окружающей среды и человека, прогнозировать воздействие интенсивного применения пестицидов в перспективе.

Динамика исчезновения пестицидов из почвы, по многочисленным данным ряда авторов, в первом приближении может быть описана экспоненциальной моделью, как кинетика реакции первого порядка [22]:

$$C_T = C_0 L^{-kT}, \text{ мг/кг}; \quad (1)$$

где C_T – конечная концентрация пестицида в почве, мг/ кг;

C_0 – начальная концентрация, мг/кг;

L – основание натурального логарифма, $L=2,72$;

k – постоянная скорости протекания процесса;

t – время, с.

В связи с тем, что экспоненциальная модель не всегда позволяет удовлетворительно аппроксимировать экспериментальные данные, рядом авторов предлагаются и другие простые математические модели, с помощью

которых можно получить примерную количественную оценку процесса деградации пестицидов в динамике.

При наличии данных о возможных интервалах варьирования скорости детоксикации пестицида под влиянием различных факторов в масштабах обследуемой зоны могут быть использованы более детальные формулы расчёта, учитывающие действие этих факторов, например, [23]:

$$\bar{C}_п = \bar{R} \times \bar{P} = \frac{\sum_1^m (C_i / P_i)}{m} \times \frac{M}{S}, \text{ мг/кг}; \quad (2)$$

где $\bar{C}_п$ – средняя конечная концентрация пестицида в почве (мг/кг);

\bar{R} – среднее значение относительного накопления пестицида (мг/кг);

\bar{P} – средняя нагрузка пестицида (кг д.в./га);

C_i – концентрация остатков пестицида на i -ом обследуемом участке (мг/кг);

P_i – доза применения пестицида на i -ом обследуемом участке (кг д.в./га);

m – общее количество применённого пестицида (кг д.в.);

S – площадь, обработанная пестицидом (га);

m – количество обследованных участков.

Вид математической модели может изменяться в зависимости от характера обрабатываемого экспериментального материала и, как правило, характеризует основную тенденцию процесса детоксикации пестицидов в почве. При этом могут проявляться географические и временные закономерности. Использование различных математических расчетов отражает сложность и неоднозначность процессов миграции и детоксикации пестицидов, поэтому отдельные исследования ставят под сомнение возможность применения тех или иных показателей [24].

При решении задач по определению накопления пестицидов наряду с характеристикой места отбора необходимо учитывать среднегодовые

климатические параметры (за 5–10 лет), а также историю участка за этот период времени (ежегодное ориентировочное количество пестицидов, операции с пестицидами, проводимые на данном участке и др.).

Задача прогноза тесно связана с исследовательской задачей. Без корректировки параметров модели на основе опытных данных трудно получить надёжный прогноз. Без уверенности в том, что построенная модель адекватно описывает происходящие процессы нельзя правильно разобраться в их природе.

Разнообразие воздействия окружающей природной среды на поведение пестицидов показано на рисунке 3.



Рисунок 3. Пестициды и окружающая среда

2 ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРИРОДНЫХ ЦЕОЛИТОВ ДЛЯ ДЕТОКСИКАЦИИ ПЕСТИЦИДОВ

В комплексе мер по предотвращению негативных эколого-токсикологических последствий применения пестицидов в земледелии важное значение имеют такие профилактические меры, как совершенствование ассортимента пестицидов и их препаративных форм, совершенствование техники и технологии применения химических средств защиты растений и других агрохимикатов, контроль за применением пестицидов, внедрение биологического метода и интегрированных систем защиты растений. Эти мероприятия эффективны только при их применении в комплексе и с учетом специфики сельскохозяйственного производства, особенностей природно-климатических условий, характера возделываемой культуры.

Сохранение пестицидов в агроценозах, накопление их остатков в почвах и сельскохозяйственной продукции требует разработки и использование методов детоксикации.

Все актуальнее становится проблема сохранения и лечения почв, восстановления их полезных свойств с помощью широкого использования в природоохранных целях дешевых и доступных материалов, способных поглощать вредные и токсичные вещества.

В качестве таких компонентов успешно используют навоз, солому, гуматы, порошок древесных листьев. Снизить токсичность остатков пестицидов могут внесенные в почву различные вещества, влияющие на состояние пестицида. Такое влияние, в частности, оказывает активированный уголь, ионообменные смолы. Использование активированного угля в дозе 150-500 кг/га позволяет устранить фитотоксическое действие ряда гербицидов за счет сорбции и эффективного удержания их остатков в пористой структуре угля. Разработаны методические указания по применению активированного угля для обеззараживания почв при их аварийном загрязнении [25].

Однако, ввиду высокой стоимости активированных углей этот метод эффективен только в экстремальных ситуациях при ликвидации последствий загрязнения на небольших площадях.

Перспективным направлением снижения избыточного содержания пестицидов в почве является применение природных цеолитов, обладающих уникальными адсорбционными, ионообменными и каталитическими свойствами [26, 27].

Уже накоплен определенный опыт использования в растениеводстве природных цеолитов как почвенных кондиционеров, улучшающих ее структурные, физико-химические и биологические свойства и являющихся источником минерального питания растений [28-31].

Доступность природных цеолитов, низкая стоимость, эффективность и универсальность определили их широкое применение в различных отраслях народного хозяйства, в том числе и природоохранных технологиях.

В последние годы в нашей стране и за рубежом стремительно возрастает интерес к применению цеолитовых туфов в народном хозяйстве. Каркасные алюмосиликаты, обладающие высокой термостабильностью, характеризуются как высокоактивные сорбенты, дешевые селективные ионообменники и молекулярные сита. Их селективность, молекулярно-ситовой эффект и сорбционная способность выводит цеолиты на широкий спектр применения в сельском хозяйстве, промышленности, экологии.

Применение природных цеолитовых туфов в Канаде, США, Болгарии и других странах началось еще в начале 60-х годов, а в Японии – с конца 40-х годов и показало их высокую эффективность во многих сферах жизнедеятельности. В мире добывают и используют в год более миллионов тонн цеолитов.

Цеолиты применяются для очистки углеродного сырья, топлива, газов, извлечения из морской воды металлов, регенерации масел, в качестве полиминеральной добавки в корма сельскохозяйственных животных и птиц, носителей лекарственных препаратов для пролонгации их действия, в

природоохранных технологиях для очистки сточных вод, воздуха, водоподготовки. Они успешно использованы для локализации радиоактивного загрязнения при ликвидации последствий Чернобыльской катастрофы. В быту цеолиты применяют как влагопоглотители, дезодоранты, наполнители для очистителей воды типа «Родничок».

Цеолиты – породы вулканического происхождения. Для них характерна жесткая кристаллическая структура, наличие в решетке обменных катионов и молекулярной воды, сквозных микропор.

Цеолиты характеризуются максимальными среди природных сорбентов значениями обменной емкости – от 1,5 до 6 г-экв./кг. В настоящее время в СНГ выявлено более 50 месторождений природных цеолитов, 6 из которых (в том числе Пегасское в Кемеровской области) уже освоены. Добыча достигла 200 тыс. тонн в год. Предполагаемые ресурсы – свыше 4 млрд. тонн. Пегасское месторождение цеолита (пегасина) составляет около 500 млн. тонн.

Адсорбционная активность цеолитов определяет для них и селективность сорбции пестицидов, что может уменьшить абсолютное количество препаратов, снизить остатки мигрирующих токсичных веществ и в итоге уменьшить пестицидную нагрузку на агробиоценоз. Адсорбционные и пролонгирующие свойства цеолитов заслуживают более пристального внимания, ускорения и глубоких исследований, широкого и эффективного применения в области защиты сельскохозяйственных культур химическим методом.

Впервые японские исследователи предложили использовать цеолиты как носители пестицидов в 1973 году. Они показали повышение эффективности использования пестицидов в новой форме для защиты риса от споровых грибов и цикадок [32].

В дальнейшем учеными подтверждалось увеличение биологической эффективности различных пестицидных препаратов, применяемых совместно с цеолитом. Y. Mari [33] показал, что эффективность гербицида бентикарб, рекомендованного для борьбы с сорняками риса, повышается вдвое при

нанесении его на цеолит. Узбекские исследователи Г.В. Нармедов и Л.А. Аксенова [34] использовали в качестве носителя пестицидов бутифосцеолитовый туф на посевах хлопчатника. Р.Я. Хобутя и Н.И. Лисецкая применили цеолит в качестве носителя эрадикана на посевах кукурузы в условиях Грузии. Показано, что эффективность такого способа значительно превосходит традиционные агроприёмы.

В частности, при внесении в почву цеолитов совместно с пестицидами может быть снижено абсолютное количество пестицидов при получении такого же биологического эффекта. В итоге – снижение пестицидной нагрузки на биоценоз, а через продукты питания и корма на организм человека. Кроме того, это предполагает и значительный экономический эффект вследствие снижения расхода дорогостоящих пестицидных препаратов.

В 1986–1987 гг. К.К. Лопухов и Ю.И. Макарычев апробировали применение цеолита Пегасского месторождения в качестве носителя протравителя семян льна при предпосевной обработке. Авторы установили, что использование цеолита позволяет снизить дозу протравителей в 2 раза без ущерба для энергии прорастания семян [35].

В ходе полевых производственных экспериментов, проведенных в сельхозе «Елыкаевский» Кемеровского района разработан способ химической защиты картофеля от фитофтороза с применением цеолита, насыщенного Арцеридом (противофитофторозный фунгицид). При этом было достигнуто снижение дозы Арцериды до 2,5 раз и получен высокий биологический эффект, превосходящий традиционный способ защиты Арцеридом в 1,8 раза [36].

Кубинскими исследователями [37] установлен высокий биологический эффект применения сниженных доз гербицида Трефлан при совместном внесении с цеолитом при защите подсолнечника и табака.

Исследования, проведенные в 1989–1993 гг. в Кемеровском НИИ сельского хозяйства в рамках научно-технической программы «Цеолиты России», позволили определить возможность и перспективы использования природных цеолитов в экологически безопасных агротехнологиях [10, 38-41].

В частности, при внедрении цеолитов как пролонгаторов действия пестицидов можно ожидать следующие результаты:

- получить химический комплекс с регулируемым высвобождением действующего вещества, на основе чего существенно снизить затраты, увеличить производительность труда;

- снизить уровень загрязнения пестицидами почв, почвенных вод, сельскохозяйственной продукции;

- повысить уровень безопасности обслуживающего персонала за счет снижения пестицидной нагрузки;

- упрощать технологии химической защиты растений за счет смещения сроков обработок, совмещения операций;

- надежно проводить защитные мероприятия независимо от погодных условий;

- управлять скоростью детоксикации пестицидов в агробиоценозе.

3 ПУТИ МИНИМИЗАЦИИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПЕСТИЦИДАМИ ПРОДУКЦИИ ЗЕМЛЕДЕЛИЯ И ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

3.1 Динамика деградации пестицидов

Деградация пестицидов в почве и растениях определяется большим количеством факторов. Значимое влияние на процесс оказывает совместное или раздельное использование препаратов, уровень применения минерального удобрения, а также специальные препараты, активизирующие деградацию. В данном направлении представляют интерес комплексные исследования по оценке влияния обозначенных факторов на процесс деградации пестицидов, проведенные на яровой пшенице Иртышанка-10 и яровом ячмене Одесский-100 в зерновом севообороте полевого опыта, реализованного в НПО «Нива Кузбасса» (Кемеровская область) [42-45].

Оценку динамики деградации пестицидов проводили в соответствии с «Методическими указаниями по контролю уровней и изучению динамики содержания пестицидов в почве и растениях» [46]. Содержание микроколичеств пестицидов определяли методом газо-жидкостной хроматографии на приборах «Газохрон» модификации 1109 и 3700 по методическим указаниям ВИЗР [47].

Получены данные по динамике деградации препаратов при раздельном и совместном их использовании на фоне минеральных удобрений в дозе $N_{60}P_{60}K_{60}$ кг д.в./га и без них. В исследованиях использовали следующие пестициды.

Суми-альфа, инсектицид широкого спектра действия группы синтетических пиретроидов. Действующее вещество – эсфенвалерат. Трудно растворим в воде (менее 0,01 %) и хорошо в органических растворителях. Препаративные формы – к.э., к.с. (в наших исследованиях – 5 % к.э.). Доза применения 0,12 кг д.в. /га. В опыте использовали 5 % к.э. в дозе 0,12 кг д.в./га (12 мг на 1 м²).

На фоне естественного почвенного плодородия препарат разлагается полностью в почве и растениях культур за 38-40 дней и на период уборки урожая его остаточные количества в зерне и соломе не обнаруживали (рис. 4).

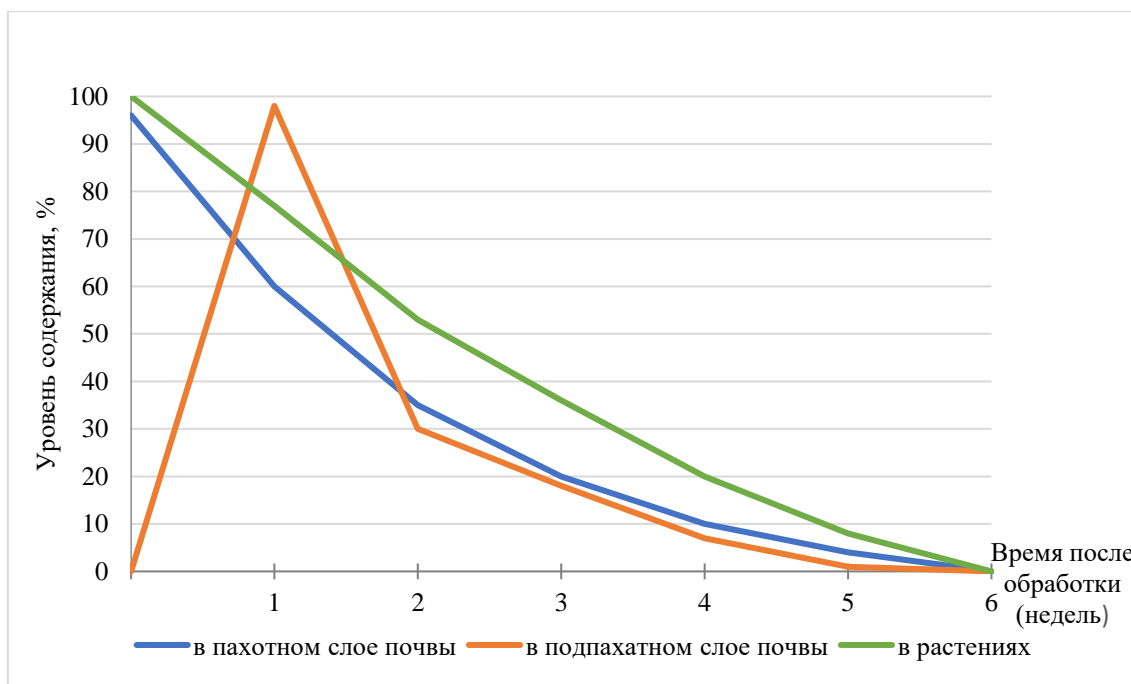


Рисунок 4. Динамика деградации инсектицида Суми-альфа в почве и растениях ячменя

Деградация Суми-альфа в почве и растениях проходит со среднегодовым коэффициентом деградации $0,802 \pm 0,05$ в сутки. Под влиянием пестицидов другого фитосанитарного назначения (гербицид на основе МПЦА и Байлетон) при их совместном последовательном применении деградация Суми-альфа замедляется в пахотном слое почвы до 8,4 %, в растениях пшеницы – до 5,2 %, ячменя – до 5,6 %.

Разложение инсектицида Суми-альфа под влиянием минеральных удобрений ускоряется в пахотном слое на 14 % и в подпахотном слое почвы на 23,5 %. Однако в растениях пшеницы минеральные удобрения задерживают разложение Суми-альфа на 6,5 %.

Препарат на основе МПЦА (диметиламинной соли) для борьбы с сорняками в посевах зерновых культур. Хорошо растворяется в органических растворителях, плохо – в воде. Относится к веществам средней токсичности. Кумулятивные свойства выражены слабо. МДУ в зерне 0,05 мг/кг, ПДК в

кормах для животных и птиц на откорме – 0,5 мг/кг. Препаративная форма – 70 % натриевая соль р.п. Расход по препарату на пшенице – 1,4-2,3 кг/га. Время ожидания 20 дней.

В опыте использовали 70 % р.п. натриевой соли в дозе 1,5 кг д.в./га. Разложение препарата в почве проходит за 50-60 дней после применения, в растениях – через 50-55 дней. Отмечается незначительное замедление скорости деградации препарата при совместном (последовательном) применении с Суми-альфа и фунгицидом на основе триадимефона (до 1 %).

В большей степени влияние на содержание препарата на основе МПЦА в почве и растениях оказывают погодные условия. Обильные осадки способствуют смыву хорошо растворимого гербицида с листовой поверхности растения и проникновению его в почву. Так в год исследований с большим количеством осадков в июле его содержание в пахотном слое почвы (рис. 5, сплошные линии) превысило уровень его содержания в другие годы исследований (рис. 5, штриховые линии) более, чем в 1,7 раза, в подпахотном слое почвы – в 2 раза.

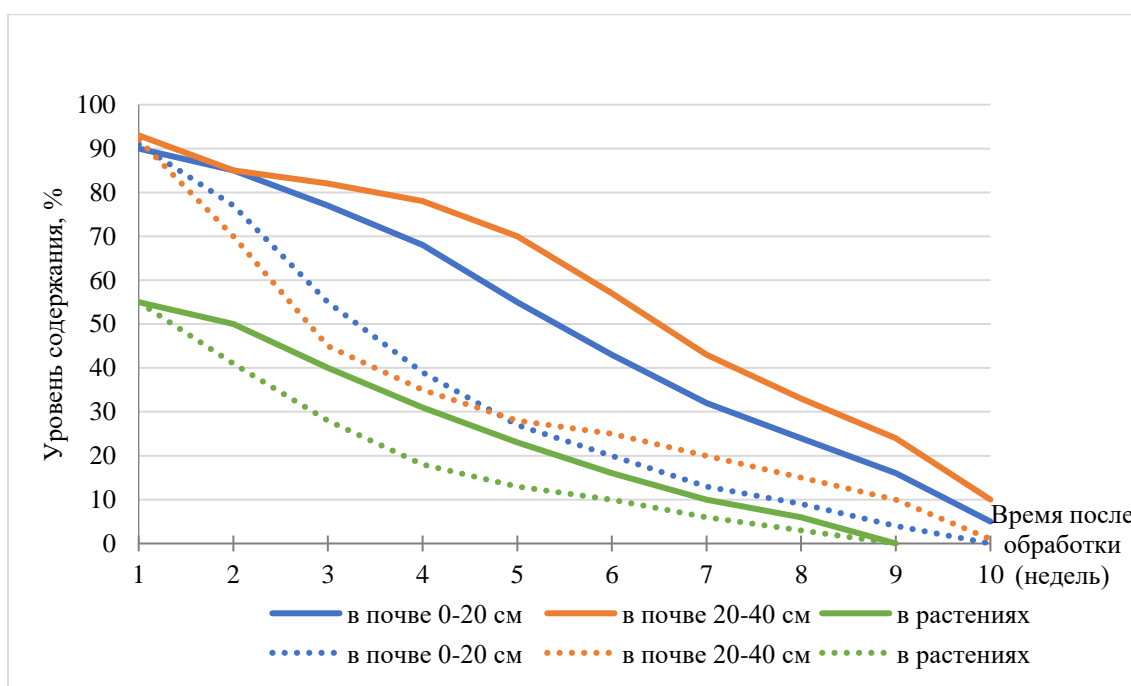


Рисунок 5. Динамика деградации гербицида на основе МПЦА в почве и растениях зерновых в годы исследований

В растениях пшеницы и ячменя по этой же причине содержание гербицида на основе МПЦА в год с повышенными осадками было ниже уровня других лет в 1,2 раза.

Фунгицид системного действия для борьбы с возбудителями грибковых заболеваний многих сельскохозяйственных культур на основе триадимефона (действующее вещество) Хорошо растворим в органических растворителях. Малотоксичен для пчел и других полезных насекомых, птиц. МДУ в зерне злаков 0,5 мг/кг, ПДК в почве – 0,4 мг/кг. Препаративная форма – 25 % с.п. Расход по препарату на пшенице – 0,5-1,0 кг/га. Время ожидания на зерновых культурах 20 дней. В опыте использовали с.п. в дозе 0,25 кг д.в./га (25 мг/м²).

На естественном фоне плодородия в почве и растениях зерновых культур фунгицид разлагается в среднем за 30 дней после применения. Содержание его остаточных количеств значительно зависит от погодных условий. При обилии летних осадков содержание фунгицида в пахотном слое почвы превышало уровни других лет на 3-10 %, в пахотном слое почвы – на 11,6-21 %.

В растениях пшеницы при более влажных и теплых условиях деградация его проходит быстрее (средний коэффициент деградации 0,618 в сутки). Понижение температуры и влажности замедляет скорость деградации фунгицида в растениях культуры (коэффициент деградации 0,652±0,012). Применение фунгицида на основе триадимефона на фоне пестицидов другого фитосанитарного назначения также замедляет его деградацию в растениях – до 3 %, в почве – до 7 %.

В почве деградация фунгицида на основе триадимефона под влиянием N₆₀P₆₀K₆₀ ускоряется от 6,4 до 37,2 %.

3.2 Изменение агротехнических свойств пестицидов с использованием цеолитов

Опираясь на работы по программам «Цеолиты растений», зарубежный опыт, другие материалы по испытанию и применению природных цеолитов в

различных отраслях сельского хозяйства и охраны окружающей среды, изучены возможности и перспективы применения цеолита Пегасского месторождения в элементах технологии химической защиты растений. Выбор данного природного цеолита обусловлен не только теоретическими предпосылками, но и практическими соображениям для использования в аграрной отрасли.

Товарная характеристика цеолита – плотная мелкозернистая крошка с крупностью помола – 1-3 мм. Массовая доля цеолита (гейландита) – 53,2 %, влажность – 13 %. Идеализированный состав элементарной ячейки (по Г. Бреку) $\text{Ca}_4(\text{Al}_2\text{O}_3)_8(\text{SiO}_2)_{28}24\text{H}_2\text{O}$. Доза применения – 300-350 кг/га.

Цеолит включает в себя большое количество макро- и микроэлементов (табл. 1).

Таблица 1 – Химический состав цеолита

Химическое соединение	Содержание по массе (%)	Химическое соединение	Содержание по массе (%)
Вода	5,79	Никель	0,00082
Окись кремния	66,70	Уран	0,0084
Окись алюминия	13,61	Титан	0,1800
Окись железа	2,46	Мышьяк	Отсутствует
Окись фосфора	0,06	Стронций	0,0016
Окись марганца	0,05	Свинец	0,0023
Окись кальция	4,99	Медь	0,0044
Окись магния	1,40	Кобальт	0,00055
Окись натрия	0,31	Молибден	0,0036
Окись калия	1,01	Цинк	0,0069
Окись титана	0,31	Сурьма	Отсутствует
Закись железа	0,75		

Полевые исследования подтвердили теоретические и экспериментальные данные о возможностях цеолита как пролонгатора действия пестицидов и как средства, препятствующего их проникновению в нижние слои почвы и за пределы обрабатываемого участка.

Изменение динамики транслокации пестицидов под влиянием цеолита в комплексе с минеральными удобрениями влияет на изменение биологической

эффективности пестицидов. Цеолит и минеральные удобрения оказывают влияние на динамику транслокации и детоксикации пестицидов, на численность фитофагов, сорняков и распространение болезней зерновых культур. Сила влияния на биоценоз зависит от направленности применения пестицидов и от значимости объектов, против которых ориентированы препараты.

Исследования показали, наблюдается положительное влияния цеолита наблюдается в отношении инсектицида Суми-альфа. Цеолит снижает проникновение в подпахотный слой инсектицида до 65 % и одновременно увеличивает его содержание в пахотном слое почвы (на 7,5 %) и растениях (на 9 %), что в последующем благоприятно влияет на увеличение биологической эффективности Суми-альфа (табл. 2).

Таблица 2 – Содержание инсектицида Суми-альфа в растениях пшеницы и почве (мг/кг) на фоне внесения цеолита ($\bar{x} \pm S\bar{x}$)

Объект	Дата отбора проб (количество недель после обработки):			
	17.06 (0)	22.06 (1)	30.06 (2)	16.07 (5)*
1. На фоне внесения цеолита				
В растениях	6,9±1,2	5,6±1,0	3,6±0,7	1,0±0,1
В слое почвы:				
0-20 см	0,59±0,08	0,36±0,05	0,21±0,05	0,03±0,01
20-40 см	0,00	0,01	0,01	0,0
2. На фоне внесения цеолита и N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀				
В растениях	6,8±1,3	5,6±1,1	3,4±0,5	0,9±0,2
В слое почвы:				
0-20 см	0,55±0,10	0,34±0,05	0,04±0,02	0,0
20-40 см	0,00	0,01	0,01	0,0
3. На фоне внесения цеолита и обработки препаратами на основе МПЦА и триадимефона				
В растениях	6,9±1,1	5,8±1,2	4,0±0,8	1,1±0,2
В слое почвы:				
0-20 см	0,58±0,09	0,37±0,05	0,22±0,03	0,02±0,01
20-40 см	0,00	0,1	0,1	0,0
4. На фоне внесения цеолита, N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ и обработки препаратами на основе МПЦА и триадимефона				
В растениях	7,0±1,2	5,7±0,8	3,5±0,6	1,2±0,2
В слое почвы:				
0-20 см	0,57±0,9	0,36±0,05	0,20±0,03	0,3±0,01
20-40 см	0,00	0,1	0,1	0,0

* Через 6 недель после обработки (21.07) Суми-Альфа в пробах не обнаружен.

Сезонная динамика численности некоторых фитофагов под влиянием элементов технологии химической защиты растений с применением цеолита показана на рисунках 6 и 7.

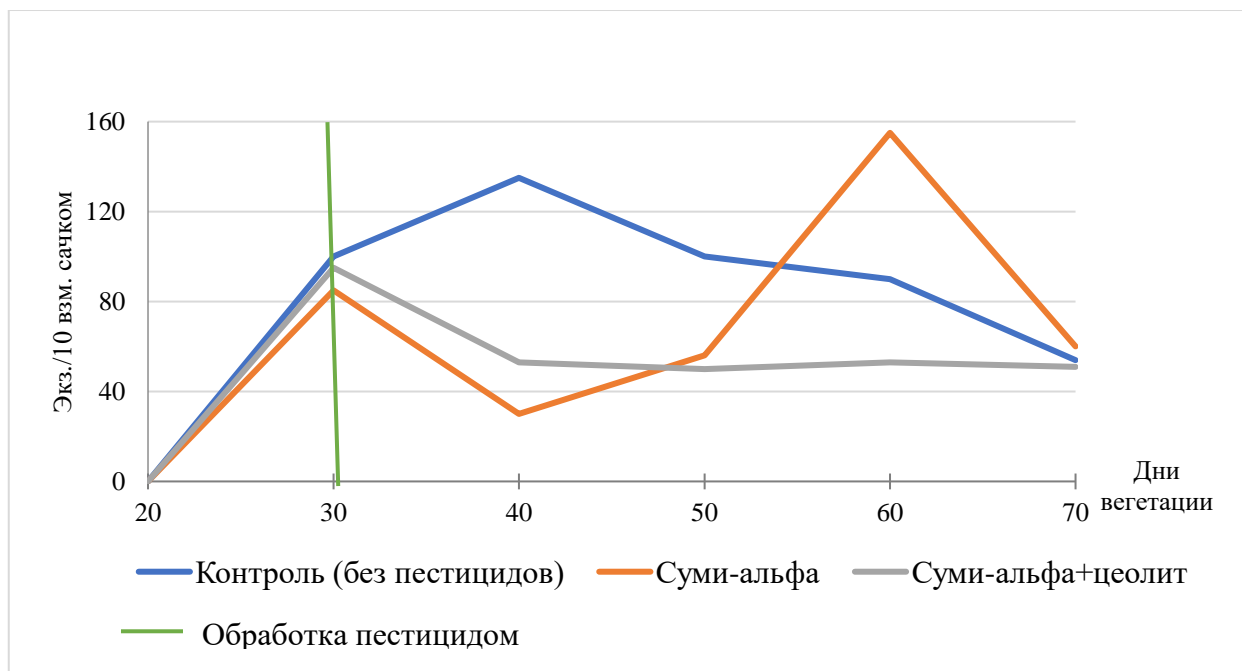


Рисунок 6. Динамика численности тлей на яровой пшенице при использовании инсектицида Суми-альфа на фоне цеолита

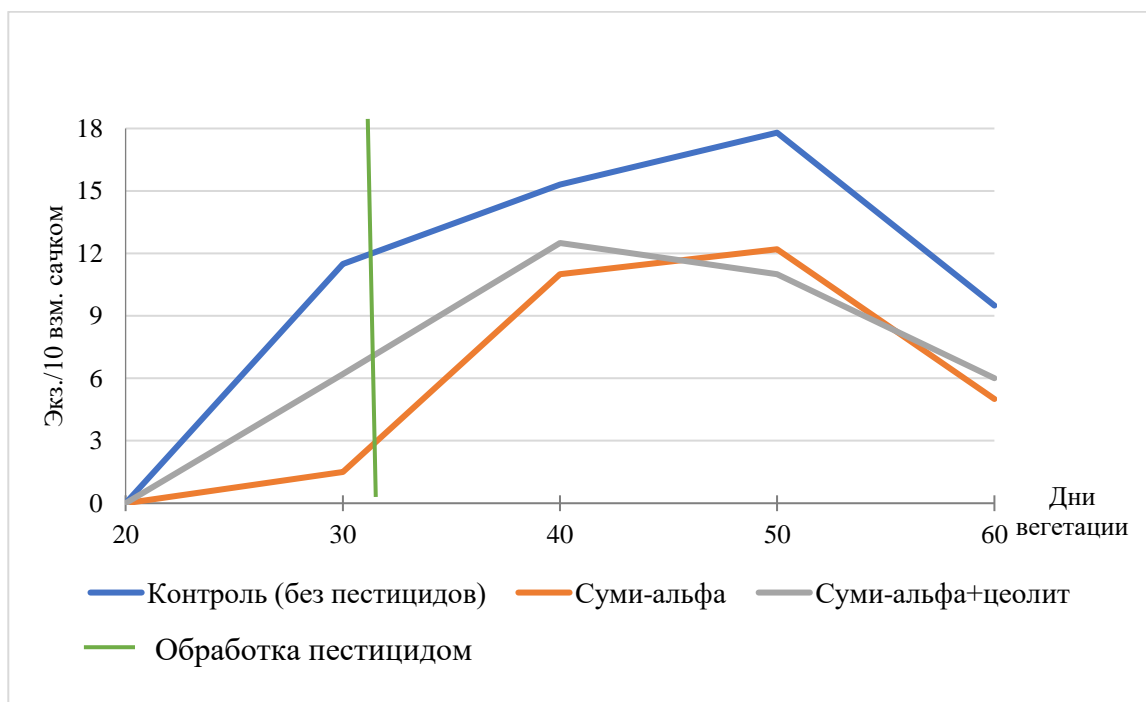


Рисунок 7. Динамика численности внутрестеблевых вредителей при разных элементах технологии защиты зерновых культур

Из графического представления результатов исследований следует, что применение цеолита пролонгирует действие инсектицида, повышая его биологическую эффективность до 50-60 дней в период после обработки растений.

Это характерно проявляется на примере изменения динамики численности тлей в опыте. Гибель энтомофагов при использовании инсектицида Суми-альфа по истечении 40-60 дней после обработки способствовала значительному росту численности тлей (до 140 экз./10 взмахов сачком), превышающий естественный фон. Пролонгирующий по отношению к Суми-альфа эффект цеолита сдерживает численность тлей на протяжении всего периода их фенологии, повышая биологическую эффективность до 42 %.

Применение цеолита снижает проникновение гербицида на основе МПЦА в подпахотный слой почвы до 49,7 % с одновременным увеличением его содержания в пахотном слое почвы (до 9 %) и в растениях (до 12,6 %) (рис. 8).

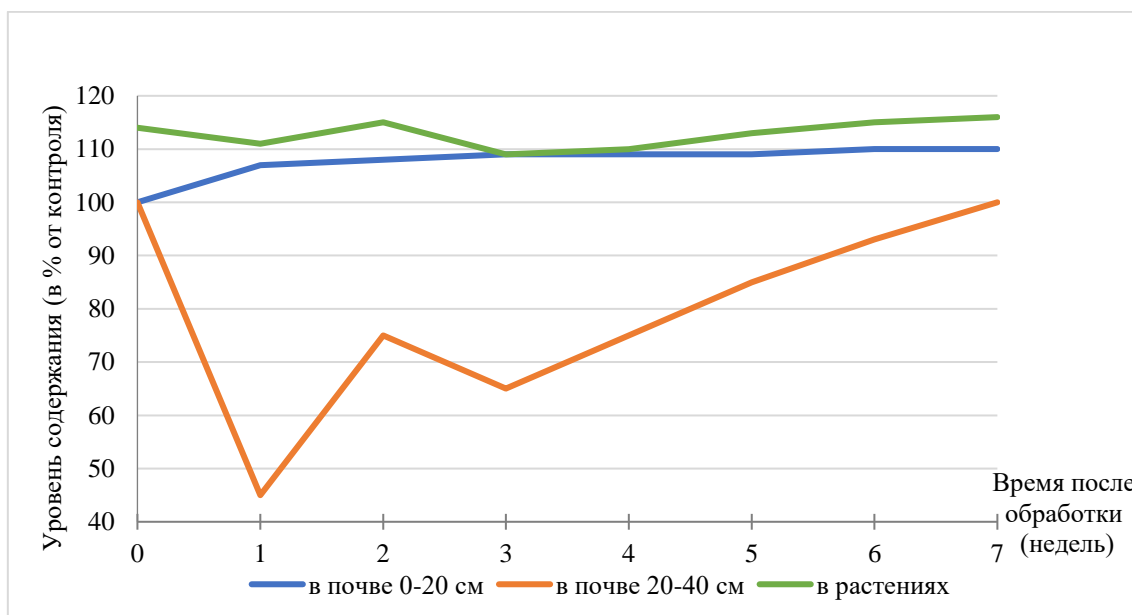


Рисунок 8. Содержание гербицида на основе МПЦА в почве и растениях пшеницы под влиянием цеолита

Минеральные удобрения снижают эффективность действия цеолита на 7-9,5 % в почве и на 1,5 % в растениях. Применение пестицидов другого фитосанитарного назначения способствует увеличению содержания гербицида

на основе МПЦА в почве и растениях на фоне предпосевного внесения в почву цеолита (табл. 3).

Таблица 3 – Содержание гербицида на основе МПЦА в растениях пшеницы и почве в мг/кг на фоне внесения цеолита ($\bar{x} \pm S\bar{x}$)

Объект	Дата отбора проб (количество недель после обработки)				
	30.06 (0)	7.07 (1)	17.07 (2)	20.03 (3)	18.08 (7) *
1. На фоне внесения цеолита					
В растениях	112±14	75±11	59±9	24±3	8±2
В слое почвы:					
0-20 см	0,35±0,05	0,63±0,07	0,46±0,04	0,36±0,02	0,11±0,01
20-40 см	0,0	0,06±0,01	0,06±0,01	0,03±0,01	следы
2. На фоне внесения цеолита и N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀					
В растениях	113±15	74±10	58±8	22±3	8±1
В слое почвы:					
0-20 см	0,34±0,05	0,62±0,06	0,44±0,03	0,35±0,01	0,10±0,01
20-40 см	0,0	0,05±0,01	0,05±0,01	0,02	0,0
3. На фоне внесения цеолита и обработки Суми-альфаи фунгицида на основе триадимефона					
В растениях	113±14	78±12	62±9	25±3	8,5±2
В слое почвы:					
0-20 см	0,34±0,05	0,64±0,06	0,48±0,05	0,37±0,03	0,11±0,01
20-40 см	0,0	0,06±0,01	0,07±0,01	0,04±0,01	следы
4. На фоне внесения цеолита, N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ и обработки Суми-альфа и фунгицида на основе триадимефона					
В растениях	114±15	73±9	56±6	24±5	8,0±1,0
В слое почвы:					
0-20 см	0,34±0,06	0,64±0,06	0,46±0,04	0,37±0,01	0,11±0,01
20-40 см	0,0	0,06±0,01	0,05±0,01	0,03±0,01	0,0

*Через 11 недель после обработки (15.09) гербицид на основе МПЦА в пробах не обнаружен.

В годы исследований биологический эффект применения гербицидов составил 73-84 %. Зависимость численности двудольных сорняков при использовании гербицида на основе МПЦА на контрольных участках и на фоне цеолита показана на рисунке 9.

Биологическая эффективность гербицида на основе МПЦА, применяемого на фоне цеолита, по данному показателю превосходит на 43-47 % традиционную химическую прополку и сдерживает засоренность двудольными сорняками ниже экономического порога вредности на протяжении всего вегетационного периода.

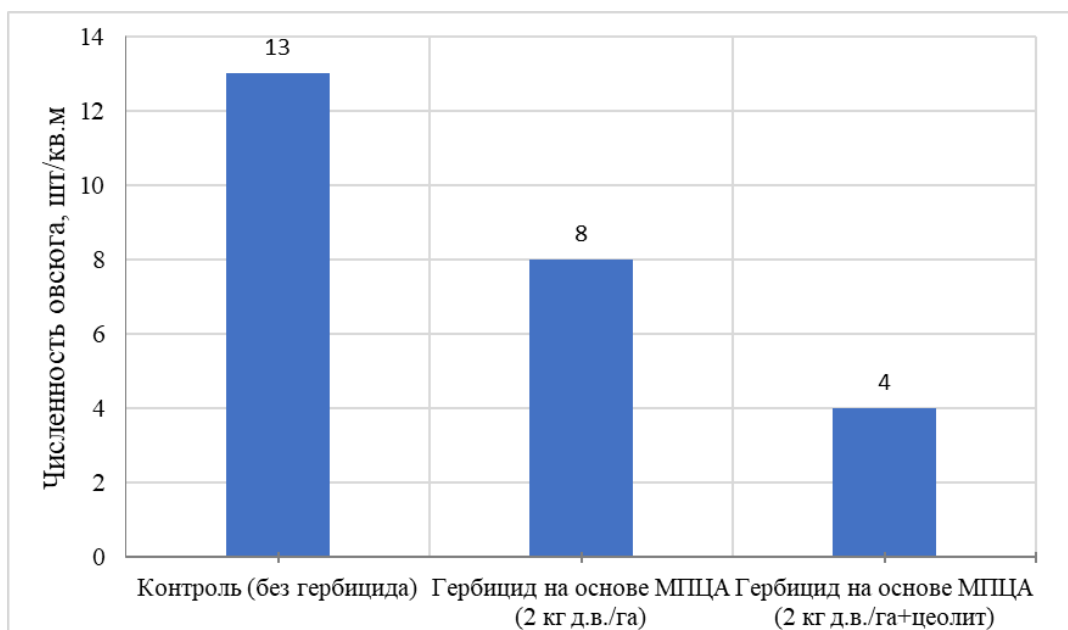


Рисунок 9. Численность двудольных сорняков при разных элементах технологии химической защиты пшеницы

При использовании фунгицида на основе триадимефона на фоне цеолита отмечено заметное снижение его содержания в подпахотном слое почвы (до 52,3 %) с одновременным увеличением содержания в пахотном слое (на 13,6 %) и в растениях культуры (до 4 %) (табл. 4).

Таблица 4 – Содержание фунгицида на основе триадимефона в растениях ячменя и почве в мг/кг на фоне внесения цеолита ($\bar{x} \pm S\bar{x}$)

Объект	Дата отбора проб (количество недель после обработки):			
	16.07 (0)	20.07 (1)	02.08 (3)	18.08 (5)*
1	2	3	4	5
1. На фоне внесения цеолита				
В растениях	18,6±0,4	12,5±0,2	1,2±0,1	0,03
В слое почвы:				
0-20 см	0,21±0,03	0,12±0,02	0,04±0,01	следы
20-40 см	0,00	0,05±0,01	следы	0,0
2. На фоне внесения цеолита и N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀				
В растениях	19,6±0,5	16,1±0,2	1,1±0,1	следы
В слое почвы:				
0-20 см	0,20±0,03	0,10±0,03	0,04±0,01	следы
20-40 см	0,00	0,04±0,01	0,0	0,0
3. На фоне внесения цеолита и обработки гербицидом на основе МПЦА и фунгицидом на основе триадимефона				
В растениях	18,0±0,3	15,3±0,2	1,3±0,2	0,04
В слое почвы:				
0-20 см	0,20±0,02	0,12±0,02	0,05±0,01	следы
20-40 см	0,00	0,05±0,01	следы	0,0

Продолжение таблицы 3

4. На фоне внесения цеолита, N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ и обработки гербицидом на основе МПЦА и фунгицидом на основе триадимефона				
1	2	3	4	5
В растениях	18,9±0,5	15,8±0,2	1,2±0,1	0,03
В слое почвы:				
0-20 см	0,21±0,02	0,11±0,02	0,04±0,01	следы
20-40 см	0,00	0,04±0,01	0,0	0,0

* Через 7 недель после обработки (04.09) фунгицидом на основе триадимефона в пробах не обнаружен

Распространённость мучнистой росы и ржавчин на посевах яровой пшеницы и ячменя почти целиком зависит от использования фунгицида на основе триадимефона. Повышенная пораженность растений болезнями отмечается на вариантах опытов с внесением минеральных удобрений, где эффективность действия фунгицида на основе триадимефона возрастает на 15 % (рис. 10).



Рисунок 10. Распространение болезней пшеницы по вариантам опыта, %

Пролонгирующий эффект цеолита способствует более высокому и длительному содержанию фунгицида на основе триадимефона в пахотном слое почвы и растениях. Это повышает эффект фунгицидной обработки по отношению к традиционным вариантам защиты культур: к контрольному

варианту – в 4 раза, к варианту «фунгицид на основе триадимефона» – в 2 раза, к варианту «фунгицид на основе триадимефона + N₆₀P₆₀K₆₀» – в 2,5 раза.

Таким образом, использование предпосевного внесения в почву цеолита увеличивает биологическую эффективность средних технологических доз пестицидов: инсектицида – на 42 %, гербицида – на 45 %, фунгицида – в два раза.

4 ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЦЕОЛИТОВ В КАЧЕСТВЕ АДсорбЕНТА ЭКОЛОГИЧЕСКИ ОПАСНЫХ ВЕЩЕСТВ

Исследование способностей цеолита поглощать пестициды из разных сред показало, что степень поглощения значительно зависит от гранулометрических характеристик продукта.

Были проведены опыты с гербицидами, применяемыми для защиты зерновых культур. Результаты приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Влияние цеолита на детоксикацию почвы в зависимости от химического класса гербицидов

Химический класс препарата	Содержание гербицида в почве (мг/кг)			
	Без цеолита	Почва с цеолитом φ 2-4 мм	Почва с цеолитом φ 1-2 мм	Почва с цеолитом φ 0,3-1 мм
Метилловый эфир феноксипропионовой кислоты группы синтетических ауксинов				
исходное	23,3	23,3	23,3	23,3
конечное ($\bar{x} \pm S\bar{x}$)	5,1±0,3	2,8±0,3	2,0±0,2	2,1±0,2
Степень детоксикации, %	78,7	88,0	91,4	91,0
Дикамба химического класса арилоксиалканкарбоновых кислот				
исходное	14,6	14,6	14,6	14,6
конечное ($\bar{x} \pm S\bar{x}$)	4,3±0,3	2,5±0,2	2,0±0,1	1,8±0,1
Степень детоксикации, %	70,5	82,9	86,3	87,7
Хизалофоп-П-тефурил класса производных пропионовой кислоты				
исходное	40,0	40,0	40,0	40,0
конечное ($\bar{x} \pm S\bar{x}$)	15,4±0,5	12,2±0,6	7,3±0,4	7,9±0,4
Степень детоксикации, %	61,5	69,5	82,0	80,25
Ацилид класса производных хлорбензойной кислоты				
исходное	60,0	60,0	60,0	60,0
конечное ($\bar{x} \pm S\bar{x}$)	4,6±0,3	3,6±0,3	3,0±0,2	3,0±0,3
Степень детоксикации, %	92,3	94,0	95,0	95,0
Сложный 2-этилгексилловый эфир класса арилоксиал- канкарбоновых кислот				
исходное	13,3	13,3	13,3	13,3
конечное ($\bar{x} \pm S\bar{x}$)	3,2±0,3	3,2±0,2	2,0±0,2	2,0±0,2
Степень детоксикации, %	76,0	77,4	85,0	85,0
Гербицид на основе МПЦА:				
исходное	13,3	13,3	13,3	13,3
конечное ($\bar{x} \pm S\bar{x}$)	6,3±0,4	3,6±0,2	2,0±0,1	1,8±0,1
Степень детоксикации, %	52,6	65,45	84,2	86,5

Во всех вариантах наблюдается детоксицирующее действие цеолита. Наиболее активно действует фракция цеолита 1-2 мм. В большей степени детоксикационные способности цеолита проявляются в отношении препарата на основе метилового эфира феноксипропионовой кислоты группы синтетических ауксинов (степень детоксикации до 91,4 %) и гербицида на основе МПЦА (степень детоксикации 86,5 %).

Полученные данные по сравнительной оценке детоксикационных возможностей различных фракций цеолита подтверждаются и результатами исследований энергии (энтальпии) взаимодействия частиц цеолита с пестицидами [48].

Энтальпию ΔH (теплоту Q) взаимодействия цеолита с пестицидами определяли в калориметре и рассчитывали по формуле:

$$Q = K \cdot S, \text{ Дж}; \quad (3)$$

где K – константа калориметра (Дж/г);

S – площадь кривой взаимодействия цеолита с пестицидами (мм^2).

Константу калориметра ($K=59,14 \pm 0,64$ Дж/г) определяли по известной теплоте хлористого калия в воде при температуре 298 градусов по Кельвину.

Установлено, что энергии взаимодействия частиц цеолита крупностью 1-2 мм и 2-4 мм с пестицидами возрастают в ряду в зависимости от его химического класса: препарат класса производных пропионовой кислоты – препарат класса арилоксиалканкарбоновых кислот – препарат группы синтетических ауксинов, а для фракции 0,3-1 мм в ряду: препарат класса производных пропионовой кислоты – препарат класса арилоксиалканкарбоновых кислот – препарат группы синтетических ауксинов (рис. 11).

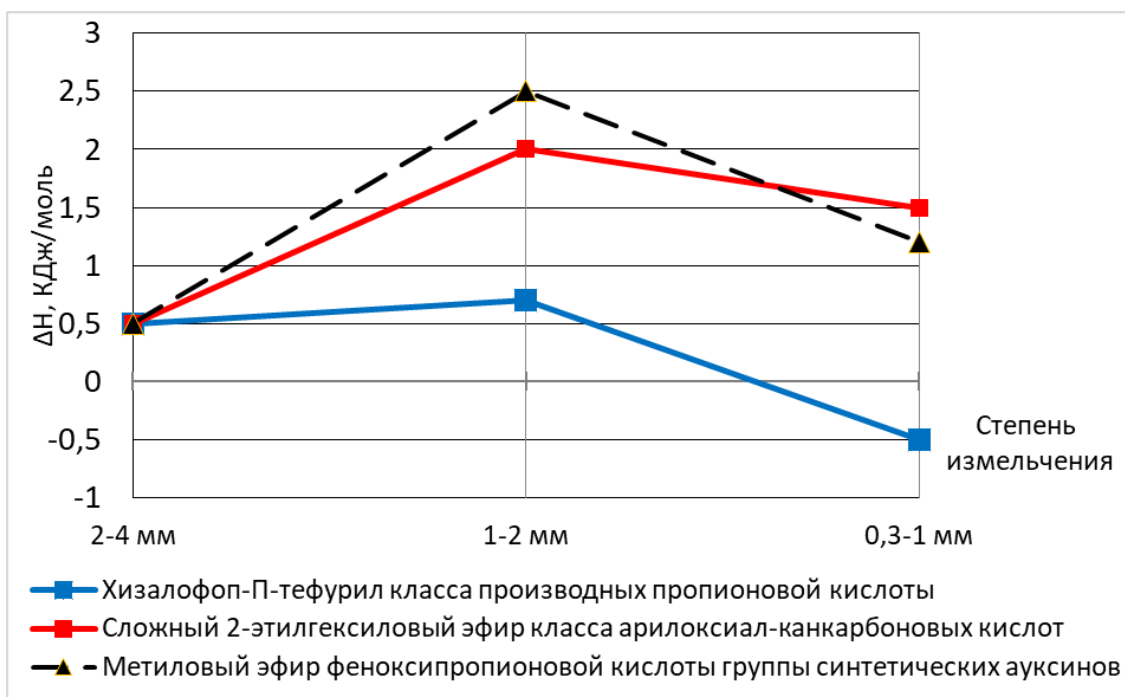


Рисунок 11. Приращение энергии взаимодействия с пестицидами фракций цеолита 0,3-1 мм и 1-2 мм относительно фракции 2-4 мм

Измельчение природного цеолита от фракции 2-4 мм до 1-2 мм приводит к увеличению энергии взаимодействия с пестицидами. При дальнейшем измельчении цеолита до 0,3-1 мм энергия взаимодействия с пестицидами снижается (рис. 12).

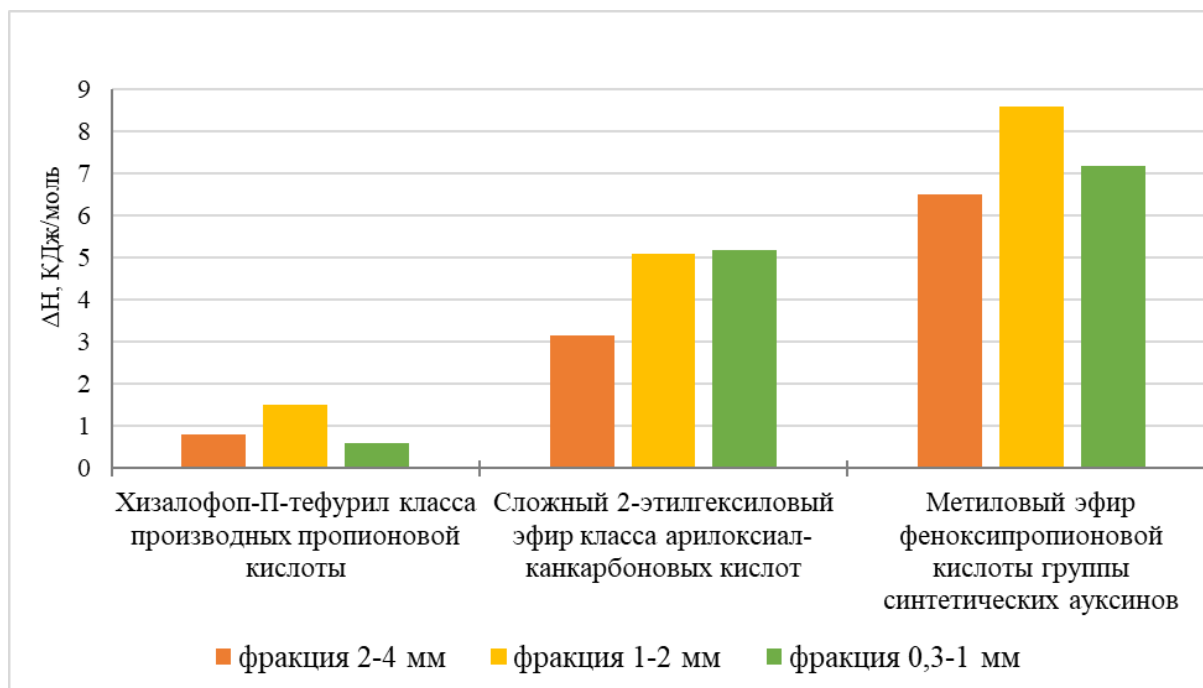


Рисунок 12. Зависимость энтальпии взаимодействия различных фракций цеолита с пестицидами

Результаты зависимости энтальпии взаимодействия различных фракций цеолита с гербицидами, применяемыми для защиты зерновых культур, позволяют рекомендовать цеолит в качестве средства – детоксикатора почв и воды от пестицидов. При этом наиболее эффективной фракцией цеолита является фракция 2-3 мм (лучшая сыпучесть, меньше слеживаемость и снос ветром при внесении разбрасывателем), которую можно легко и без потерь вносить в почву традиционной техникой, предназначенной для внесения разбрасыванием гранулированных минеральных удобрений.

Применение природных цеолитов в технологиях химической защиты растений от вредителей, болезней и сорняков может значительно улучшить экологическую ситуацию, снизить абсолютное количество применяемых токсикантов, предотвратить непроизводительные потери пестицидов, повышая их биологическую эффективность.

Совместное использование природных и неприродных соединений в качестве индикаторов ферментных систем почвенных ассоциаций микроорганизмов, ингибиторов и ростовых субстратов на основе каркаса цеолита позволит значительно увеличить скорость самоочищения почвы от пестицидов.

Приготовление полипрепаратов и композитов на основе цеолитовых туфов, включающих ростовые вещества, минеральные удобрения и другие агрохимикаты представляют большую перспективу для исследования возможностей управления процессами самоочищения почвы от пестицидов, которые необходимо реализовать на практике.

5 АГРОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ ПОСЛЕДЕЙСТВИЯ ПРИМЕНЯЕМЫХ ГЕРБИЦИДОВ В СЕВООБОРОТЕ

В настоящее время гербициды в сельском хозяйстве применяют практически повсеместно. Подавляющее их большинство являются токсичными веществами, а потому помимо основной защиты культуры от сорняков, они оказывают и на неё угнетающее действие. Оно может проявляться в виде замедления различных метаболических процессов, роста и развития растений, замедления и снижения всхожести, появления пятен, ожогов, скручивания листьев, повышения подверженности болезням и других симптомов, а в конечном итоге выражается в значительном недоборе урожая [49-53].

Помимо токсичности к защищаемым культурам, гербициды способны оказывать негативное последствие к последующим культурам в севообороте. Активность гербицидов разных классов широко варьирует и зависит от свойств почвы и температурно-влажностного режима.

Особый интерес представляют исследования современных гербицидных препаратов, относящихся к имидазолинонам и производным сульфонилмочевины. Представители этих классов отличаются высокой избирательностью, малыми эффективными дозами.

Но в ряде случаев их применение отмечено остаточным отрицательным последствием на культуры севооборота, что связано в основном с химической природой их действующего вещества (табл. 6).

При слабой биологической активности почвы разложение в ней действующих веществ гербицидов замедляется и выходит за пределы, указанные в таблице. На скорость разложения действующих веществ влияют также кислотность, переуплотнение, температура и влажность почвы.

Таблица 6 – Последействие гербицидов в зависимости от химического класса действующего вещества

Название действующего вещества	Гербициды на основе д.в	На каких культурах применяется	Группа сорняков	Длительность последействия, дней
2,4-Д	Эстерон	зерновые, кукуруза	однолетние и некоторые многолетние двудольные	< 50
Аминопиралид	Ланселот 450, Галера 364	зерновые, рапс	однолетние и многолетние двудольные	> 300
Амидосульфурон	Аркан, Секатор Турбо	пшеница, ячмень, кукуруза	однолетние и многолетние злаковые и двудольные	> 50 до 100
Дикамба	Банвел	зерновые, кукуруза	однолетние и некоторые многолетние двудольные	< 50
Имазамокс	Евролайтинг, Пульсар	подсолнечник, бобовые	однолетние злаковые и двудольные	> 300
Имазапир	Евролайтинг	подсолнечник	однолетние злаковые и двудольные	> 300
Имазетапир	Пивот	бобовые	однолетние, многолетние злаковые и однолетние двудольные	> 300
Йодосульфурон-метил-натрий	Секатор Турбо	пшеница, ячмень, кукуруза, лен	однолетние и некоторые многолетние двудольные	> 100 до 150
Мезосульфурон-метил	АлистерГранд	злаковые	однолетние двудольные и некоторые злаковые	> 300
Метсульфурон-метил	Ларен	зерновые	однолетние двудольные и некоторые многолетние двудольные	> 150
Никосульфурон	Милагро	кукуруза	однолетние двудольные и злаковые	> 100 до 150

Продолжение таблицы 6

Название действующего вещества	Гербициды на основе д.в	На каких культурах применяется	Группа сорняков	Длительность последствия, дней
Никосульфурон	Милагро	кукуруза	однолетние двудольные и злаковые	> 100 до 150
Пиклорам	Галера 334	рапс	однолетние и многолетние двудольные	> 300
Просульфурон	ПИК 75 WG	пшеница, ячмень, кукуруза, лен	однолетние и некоторые многолетние двудольные	> 100 до 150
Римсульфурон	Титус	кукуруза	однолетние злаковые и двудольные	> 50 до 100
Тифенсульфурон-метил	Хармони	зерновые, соя, кукуруза, лен,	однолетние двудольные	> 50 до 100
Триасульфурон	Логран	зерновые	многолетние двудольные и некоторые однолетние двудольные	> 150
Трибенурон-метил	Гранстар	зерновые	однолетние двудольные и некоторые многолетние двудольные	< 50
Флорамсулам	Прима	зерновые, кукуруза	однолетние двудольные и некоторые многолетние двудольные	< 50
Форамсульфурон	МайсТер	кукуруза	однолетние и многолетние двудольные и злаковые	< 50
Этаметсульфурон-метил	Сальса	рапс, подсолнечник	однолетние и некоторые многолетние двудольные	> 50 до 100

На полях, где по предшественнику применяли гербициды с длительным последствием, чувствительные культуры лучше не размещать [54, 55].

Известны три метода определения токсичности почвы на предмет остаточного содержания пестицидов:

- физико-химический анализ,
- оценка биологической активности почвы,
- биотестирование.

Физико-химический анализ основан на использовании высокоэффективной жидкостной хроматографии, что требует специального дорогостоящего оборудования. Более доступны и достоверны методы оценки биологической активности почвы и биотестирования.

При оценке биологической активности почвы определяют токсичное воздействие на культуру не только используемого гербицида, но и продуктов его трансформации, многие из которых характеризуются зачастую большей токсичностью, чем исходный препарат [56-60].

Для экотоксикологического картирования агроландшафта используют биоиндикаторы, аккумулирующие загрязнители по безбарьерному типу, т.е. прямо пропорционально их концентрации во внешней среде. При биоиндикации агроценоза необходимо учитывать и тератогенный эффект загрязнителей, т.е. способность вызывать у тест-организмов различные пороки развития. Последствия от использования тератогенных загрязнителей различны. В одних случаях тератогенез может охватывать лишь клеточные органеллы, отдельные клетки, в других – затрагивает ткани, органы и весь организм.

Таким образом, применение метода биологической индикации организмов, реагирующих на загрязнение среды обитания изменением визуальных признаков, имеет ряд преимуществ, что позволяет существенно сократить или даже исключить применение дорогостоящих и трудоемких физико-химических анализов. Применением биоиндикаторов определяют скорость происходящих изменений, пути и места скопления в экосистемах различных токсикантов, а также выводы о степени опасности для человека и

полезной биоты конкретных веществ или их сочетаний легкодоступным способом.

Для биотестирования отработано немало методов на различных культурах. Наиболее чувствительные виды среди злаковых культур ячмень и овес, которые используют в качестве индикаторов противозлаковых гербицидов. Для тестирования гербицидов против двудольных сорняков применяют гречиху.

Проведены лабораторные исследования по оценке последствий применения гербицидов в севооборотах, пользуясь методом биологической индикации, как самым доступным, наглядным и информативным. Параллельно с этим провели оценку разложения гербицидов в почве в зависимости от уровня её микробиологической активности. В проводимых исследованиях по предшественникам в 2021 году применяли гербициды, как против двудольных, так и против злаковых сорняков. В качестве биоиндикаторов взяты горчица белая и ячмень яровой, как самые универсальные и наглядные. Варианты исследований приведены в таблице 7.

Таблица 7 – Схема лабораторного опыта по оценке последствий гербицидов в севооборотах

Вариант опыта	Образцы почвы под культуру, 2022 г.	Предшественник, 2021 г.	Гербицид по предшественнику	Действующее вещество
1	Черный пар	–	–	–
2	Кукуруза на силос	Сахарная свекла	Бетанал 22	Десмедифам+фенмедифан
			Карибу	Трифлусульфурон-метил
3	Сахарная свекла	Озимая пшеница	Камаро	2,4-Д –сложный 2-этилгексильный эфир+флорасулам
			Аксиал	Пиноксаден+андитотклаквинтосет
4	Сахарная свекла	Озимая пшеница	Камаро	2,4-Д –сложный 2-этилгексильный эфир+флорасулам
			Аксиал	Пиноксаден+андитотклаквинтосет
5	Ячмень	Гречиха	Центурион	Клетодим

Образцы почвы отобраны весной в период сева культур на опытах ФГБНУ «Курский ФАНЦ» (Курская область, Медвенский район, с. Панино) с обработанных гербицидами участков. Почва 1 варианта – образец из блока бессменных посевов культур Многофакторного полевого опыта, где в течение без малого четырех десятков лет не проводились обработки средствами защиты растений. Образцы вариантов 2 и 3 – с участков опыта «Разработать оптимальные сочетания биологических и антропогенных факторов». Почва вариантов 4 и 5 отобрана в зернопаропропашном севообороте научно-производственного опыта.

По своей химической природе и спектру действия применяемые препараты в севооборотах культур неоднозначны. В варианте 2 по предшественнику (сахарной свекле) применяли гербициды Бетанал против однолетних двудольных и некоторых однолетних злаковых сорняков, а также Карибу против однолетних и многолетних двудольных сорняков. В вариантах 3 и 4 на озимой пшенице проведены обработки Камаро против однолетних, в т.ч. устойчивых к 2,4-Д, и некоторых многолетних двудольных сорняков, и Аксиалом против однолетних злаков. На варианте 5 по гречихе применен гербицид Центурион против однолетних и многолетних злаковых сорняков.

В почву высеяны по 100 семян горчицы и по 15 зерен ячменя, в 3-х кратной повторности (рис. 13).



горчица белая

ячмень яровой

Рисунок 13. Посев семян растений-биоиндикаторов

Учитывалось утолщение стебля растений, деформация зародышевых листьев, увядание, торможение прироста листьев надземной массы проростков.

Всходы горчицы белой появились на 3 сутки в вариантах 1 и 5. Всхожесть на них до 14 % выше в сравнении с другими. На варианте 4 всходы более разрежены, но высота их максимальна на фоне других вариантов. Всходы варианта 3 истонченные, бледно-зеленые, на варианте 2 они самые сочные, ярко окрашенные.

На 5 сутки горчица взошла на всех вариантах. Лучшее развитие всходов отмечено на 1, 2 и 5 вариантах опыта. На варианте 5 они самые вытянутые и истонченные (рис. 14).



Рисунок 14. Развитие тест-растений горчицы белой на 5 сутки опыта

На 7 сутки посеvy растений горчицы относительно сравнялись. А вот по истечении 2 недель лучше развивались растения на вариантах 3 и 4. Процент выживаемости на варианте 4 выше остальных, растения развили и лучшую корневую систему. Горчица на вариантах 1 и 2 стала отставать в развитии, вариант 5 занимал промежуточное положение (рис. 15).

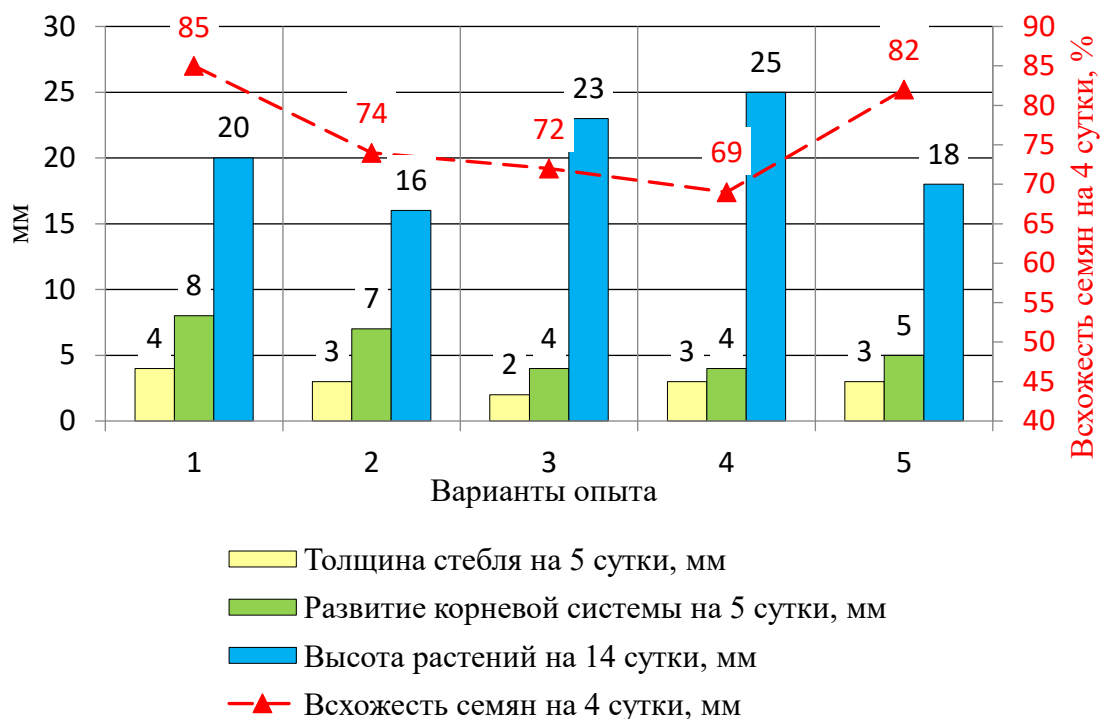


Рисунок 15. Развитие тест-растений горчицы белой на вариантах опыта

Всходы ячменя начали появляться на 4 сутки (рис.16).



Рисунок 16. Всходы ячменя ярового на 4 сутки опыта

Позже всех ячмень взошел на варианте 1, что связано с более плотной почвой, которая на бессменных посевах на черном пару достигала $1,38 \text{ г/см}^3$.

Признаки отрицательного последействия препаратов наиболее наглядно проявлялись на проростках ячменя варианта 2. На вариантах 4 и 5 всхожесть семян максимальная 88 %. Вариант 3 занимал промежуточное значение.

Основным тестом на ячмене являлось ингибирование роста зародышевого корня и листа. Рост и развитие растений ячменя происходило неравномерно. Так, на 4 сутки отмечено лучшее развитие растений на 3 и 4 вариантах, на других – отмечено уменьшение размеров листовой пластины до 15 %. Динамика длины проростков ячменя на 4 сутки опыта была различна. На варианте 1 они стали появляться более интенсивно. На вариантах 2 и 3 их длина составила 3, на 4 и 5 вариантах – до 7 мм. Эта тенденция сохранилась на протяжении первых 10 суток роста и развития растений (рис. 17).

Спустя 14 суток после появления всходов отмечено отставание опытных растений в росте, деформация листьев с признаками хлороза на вариантах 3 и 4. Корневая система этих растений уступала варианту 1 до 35 % роста. В меньшей степени угнетение роста и хлороз листовых пластинок отмечены у растений других вариантов. В них лишь у единичных растений отмечено некоторое изменение интенсивности окраски (осветление) растений.



Рисунок 17. Развитие растений ячменя ярового на 10 сутки опыта

На 3 неделе роста высота опытных растений ячменя ярового на вариантах 1–5 достигла, соответственно, 25, 23, 21, 19 и 20 см (рис. 18).

Интенсивность минерализации и гумификации растительных остатков в значительной степени определяется активностью микроорганизмов, разрушающих целлюлозу – основной компонент растительных тканей. Важность процесса разрушения клетчатки состоит не только в том, что она

является источником энергии (углеродное питание) для целлюлоз разрушающих микроорганизмов, но и в том, что промежуточные продукты ее распада (сахара, органические кислоты и т.д.) способствуют усилению деятельности других физиологических групп микроорганизмов.

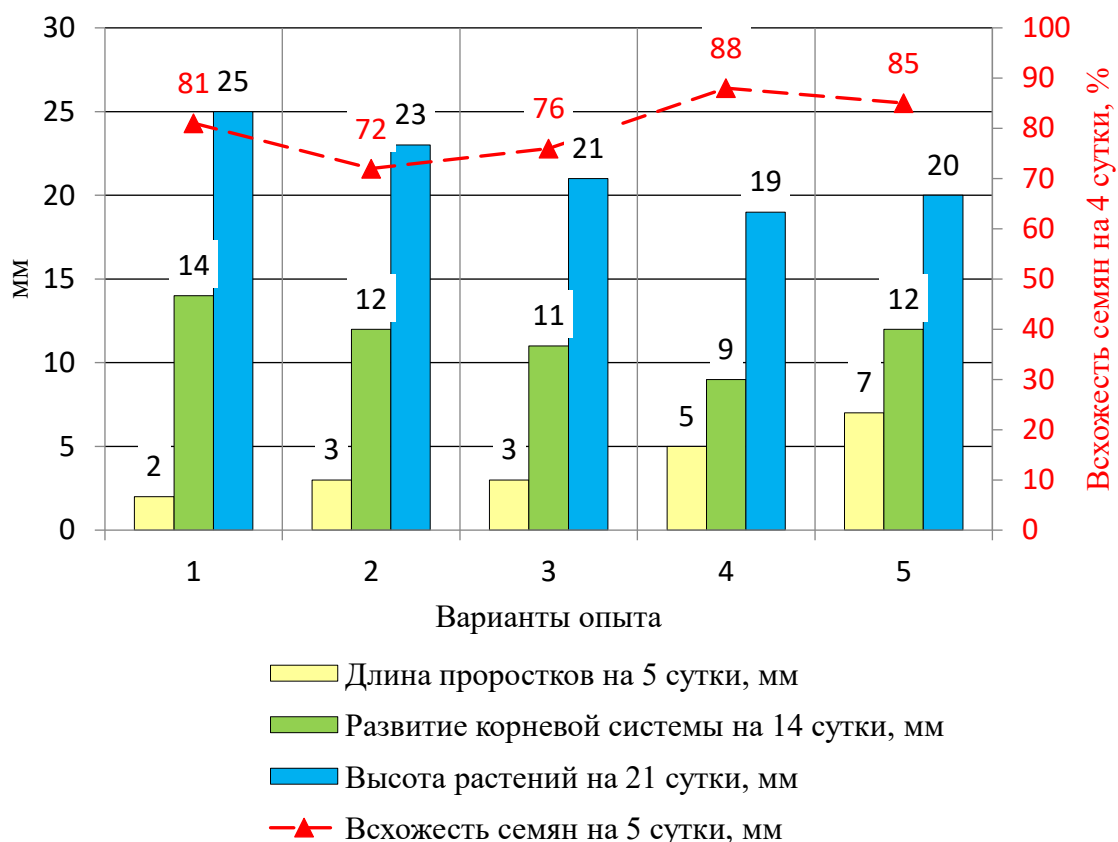


Рисунок 18. Развитие тест-растений ячменя ярового на вариантах опыта

Превращение и разложение большинства гербицидов тесно связано с микробиологической активностью почвы. Чем лучше условия для развития почвенных микроорганизмов, тем интенсивнее микробиологическая детоксикация гербицидов.

Поэтому нами в качестве одного из критериев оценки последействия применяемых гербицидов определена биологическая активность почвы в изучаемых вариантах, определяемая по разложению целлюлозы льняного полотна в пахотном слое почвы в течение 30 дней после начала вегетации культуры (рис. 19).

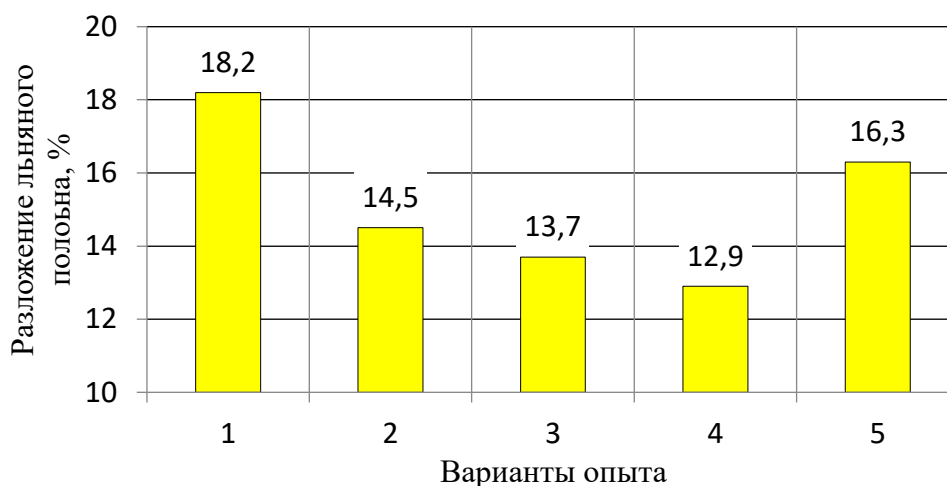


Рисунок 19. Целлюлозразрушающая активность почвы в вариантах опыта

Наименьший процент разложения льняного полотна зафиксирован на вариантах 3 и 4 объясняется наличием периода времени, в течение которого не происходит детоксикация препаратов на основе 2,4-Д. Угнетающее действие гербицидов на активность микроорганизмов снимается полностью не раньше, чем через 10 месяцев в следующей ротации культуры севооборота.

Биологическая активность почвы увеличивается в последовательности вариантов 3–5, где в 2022 году возделывали ячмень после гречихи в зернопаропропашном севообороте, достигая своего максимума на варианте 1. Разложение полотна на 30-й день исследований здесь составило 18,21 %.

Существенное влияние на детоксикацию гербицидов оказывают влажность и температура почвы, с повышением которых возрастает испарение многих препаратов с поверхности почвенных частиц и их гидролиз.

За период разложения льняных полотен в почве сумма выпавших осадков значительно варьировала. Так, если при закладке она превышала в 1,9 раза среднемноголетние значения, то с третьей декады периода наблюдений сумма осадков сократилась в 3 раза по сравнению со среднемноголетними ее значениями. Сумма эффективных температур за изучаемый период соответствовала норме, максимально приближаясь к среднемноголетним значениям.

По результатам исследований, установлена корреляционная связь между скоростью разложения льняного полотна и метеоусловиями периода его закладки (с осадками умеренная прямая $r = 0,65$; с суммой эффективных температур умеренная обратная $r = -0,58$). Увеличение температуры и снижение почвенных запасов влаги влечет уменьшение деятельности целлюлоз разрушающих микроорганизмов, и, соответственно, понижение процессов детоксикации гербицидов.

Сравнительным анализом развития растений-индикаторов с интенсивностью разрушения целлюлозы просматривается прямая связь методов между собой. Так, на образцах почвы вариантов 2–4, где по предшественникам в 2021 году проводились самые «агрессивные» по своей химической природе обработки культур гербицидами, тест-растения подвергались угнетению роста и развития на всём периоде вегетации. В этих же почвенных образцах происходило снижение микробиологической активности целлюлоз разрушающих микроорганизмов.

Определением токсичности почвы для культур севооборота методом биотестирования установлены нарушения в развитии растений-индикаторов, проявляющихся в изменении энергии прорастания, всхожести семян, размеров корней и развитии растения в целом.

Проведенные исследования по целлюлозоразрушающей активности почвы позволяют судить о том, что гербициды оказывают существенное отрицательное воздействие на биологическую активность почвы, снижая её до 1,4 раза в сравнении с вариантом без их применения. Чем лучше условия для развития почвенных микроорганизмов, тем интенсивнее биологическая детоксикация гербицидов.

Методы биотестирования и определения целлюлозразрушающей активности почвы, могут применяться при интегральной оценке совокупного последствия применяемых гербицидов и их влияния на уровень экологических последствий для окружающей среды при интенсификации производства зерновых культур.

Таким образом, актуальным направлением углубленной адаптации является его проектирование в неразрывной связи с системой химической защиты сельскохозяйственных культур от сорняков, что позволит исключить возможные противоречия между плодосменом и применяемыми гербицидами с продолжительным последствием.

6 МНОГОКРИТЕРИАЛЬНАЯ ИНТЕГРАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ФИТОСАНИТАРНОГО СОСТОЯНИЯ ПОСЕВОВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР

Интенсификации производства зерновых культур в обязательном порядке сопутствует использование системы интегрированной их защиты от вредных организмов. Это комплекс механических, агротехнических, химических и других методов борьбы с сорняками, болезнями и вредителями сельскохозяйственных культур. Перечисленные методы в различном соотношении по воздействию на вредные организмы практически присутствуют во всех элементах систем земледелия, отчего невозможно выделить главный параметр оптимизации. Поэтому оценка эффективности углубленной адаптации средств защиты растений является многокритериальной.

Решение таких задач возможно использованием функции желательности Харрингтона, сущность которой состоит в преобразовании значений нескольких параметров оптимизации ($i = 1, 2, \dots, n$) в безразмерную шкалу, обобщающую частные функции желательности. Строится шкала методом количественных оценок в диапазоне значений функции желательности от нуля до единицы. При этом неприемлемое значение параметра оптимизации соответствует нулю, а наилучшее – единице. Базовые промежуточные отметки шкалы желательности внутри обозначенного интервала приведены в таблице 8 [61]:

Таблица 8 – Безразмерная шкала желательности

Базовые отметки	Оценка свойств функции желательности
1,00	Наилучшее значение
0,80–1,00	Наиболее приемлемое
0,63–0,80	Вполне приемлемое, хорошее
0,37–0,63	Приемлемое, удовлетворительное
0,20–0,37	Неприемлемое, плохое
0–0,20	Полностью неприемлемое

Шкала может быть с односторонним и двусторонним ограничением. Оптимизация с односторонним ограничением состоит в максимизации или минимизации цели исследований. При двустороннем ограничении цель исследований принимает конкретное значение. Для исследования процессов в земледелии чаще возникает необходимость в шкале с односторонним ограничением, когда параметр оптимизации y_i преобразовывают в функцию желательности d_i применением экспоненциальной зависимости (4):

$$d_i = \exp[-\exp(-y'_i)]; \quad (4)$$

где
$$y'_i = b_0 + b_1 y_i. \quad (5)$$

Коэффициенты b_0 и b_1 уравнения (5) определяют для значений параметра оптимизации y_i , которые соответствуют величине функции желательности d_i в пределах предпочтительного интервала $(a_i; c_i)$ внутри безразмерного диапазона шкалы (0; 1) на основании опытных данных исследователя:

$$a_i \leq d_i \leq c_i.$$

Для преобразования параметра оптимизации y_i в функцию желательности d_i подставляют наибольшее c_{imax} и наименьшее a_{imin} значение в уравнение (4):

$$a_{imin}, c_{imax} = \exp[-\exp(-y'_i)]. \quad (6)$$

Дважды прологарифмировав уравнение (4), получают две величины y'_i , которые совместно с соответствующими им значениями y_i последовательно подставляют в уравнение (5), преобразующееся в систему двух уравнений. Решением данной системы определяют коэффициенты b_0 и b_1 . Затем рассчитывают функцию желательности d_i по формуле (4).

Влияние j -х элементов систем земледелия ($j = 1, 2, \dots, m$) на фитосанитарное состояние посевов характеризуется величиной их индекса изменчивости [62] (табл. 9).

После преобразования параметров оптимизации y_i в частные функции желательности d_i их объединяют в обобщённую функцию желательности D , представляющую среднюю геометрическую величину частных функций (6):

$$D = \sqrt[m]{\prod_{i=1}^m d_i}. \quad (6)$$

Для некоторых элементов систем земледелия характерно использование в технологиях не одного, а нескольких приёмов. Например, в системе обработки почвы обязательными приёмами всех технологий являются боронование, культивация и лушение, которые могут дополняться углублением пахотного слоя или минимизацией обработки и др. Или удобрение используется не только минеральное, но и в совокупности с органическим. В данном случае первоначально определяют обобщённую функцию желательности d_{ki} для совокупности приёмов по формуле (7):

$$d_{ki} = \sqrt[k]{\prod_{i=1}^k d_i}. \quad (7)$$

Затем полученное значение $d_{ki} = d_i$ подставляют в формулу (6).

Функцию желательности можно использовать в роли критерия оптимизации в исследованиях фитосанитарного состояния посевов, возделываемых по различным технологиям. Для этого формируется обобщённая функция желательности (6) из характерных для конкретных технологий частных функций по элементам систем земледелия.

Таблица 9 – Влияние элементов технологий на фитосанитарное состояние посевов

Элементы системы земледелия, приёмы	Состояние фитосанитарного потенциала	Индекс изменчивости*, %	Функция желательности	
			диапазон изменения	среднее
1	2	3	4	5
1 Севооборот				
Научно обоснованное чередование культур	Фитосанитарный потенциал стабилизируется по сравнению с бессменным выращиванием	+200...+300	0,73–0,80	0,77
Нарушение чередования культур	Количество вредителей увеличивается, сильное развитие специализированных вредных организмов	-200...-300	0,20–0,31	0,26
Освоение специализированных севооборотов	Фитосанитарный потенциал ухудшается, численность вредных организмов увеличивается	-130...-150	0,37–0,40	0,39
Введение в севообороты промежуточных культур	Численность вредных организмов снижается	+25...+40	0,57–0,59	0,58
2 Обработка почвы				
Боронование, культивация, лущение стерни	Численность сорняков уменьшается	+60...+80	0,61–0,63	0,62
Углубление пахотного слоя на 5-10 см	Численность сорняков уменьшается	+30...+80	0,58–0,63	0,61
Минимизация обработки почвы	Численность сорняков, развитие болезней, вредителей увеличивается	-150...-300	0,20–0,37	0,29
Замена отвальных обработок почвы на безотвальные	Численность сорняков, развитие болезней, вредителей увеличивается. Потенциальная засорённость верхнего слоя почвы возрастает	-70...-90	0,45–0,47	0,46
Глубокое рыхление	Численность сорняков и развитие болезней снижается	+25...+40	0,58–0,59	0,59

Продолжение таблицы 9

1	2	3	4	5
3. Удобрения				
Минеральные	Повышение конкурентоспособности культур сплошного сева, снижение численности сорняков	+25...+30	0,58	0,58
	В пропашных севооборотах возможно увеличение количества сорняков	-35...-50	0,49–0,51	0,50
	Развитие болезней может увеличиться	-50...-70	0,47–0,49	0,48
Органические	Возрастает обилие сорняков и болезней	-60...-80	0,46–0,48	0,47
	Возрастает засорённость	-24...-40	0,50–0,52	0,51
Сидераты	Уменьшается обилие сорняков, болезней, вредителей	+25...+40	0,58–0,59	0,59
4. Химические средства защиты растений				
Однократное применение	Повышает фитосанитарный потенциал	+50...+90	0,60–0,64	0,62
Системное применение	Повышает эффект последействия	+90...+95	0,64–0,65	0,65

* «-» – увеличение поражённости, «+» – уменьшение поражённости

Сопоставление таблиц 8 и 9 показывает следующее.

Наиболее значимое влияние на фитосанитарное состояние посевов оказывает севооборот. Научно обоснованное чередование культур обеспечивает хороший уровень данного показателя ($d_i = 0,77$). И наоборот, пренебрежение позитивными свойствами севооборота сводит фитосанитарное состояние посевов до неприемлемого ($d_i = 0,26$).

В части обработок почвы, если учесть, что боронование, культивация и лущение стерни повсеместно используется в технологиях различного уровня интенсивности, то по влиянию на фитосанитарное состояние посевов существенное различие вырисовывается между глубокими и минимальными обработками. Влияние углубления пахотного слоя приемлемое ($d_i = 0,61$). Отклик же фитосанитарного состояния на минимальные обработки оказался неудовлетворительным ($d_i = 0,29$).

Применение минеральных удобрений снижает численность сорняков за счёт повышения конкурентоспособности культур сплошного сева ($d_i = 0,58$). В то же время в пропашных севооборотах возможно увеличение засорённости посевов ($d_i = 0,5$). Позитивное однозначное влияние на фитосанитарное состояние посевов оказывают сидераты ($d_i = 0,59$). В целом же применение удобрений удовлетворительно сказывается на фитосанитарном состоянии посевов ($d_i = 0,52$).

Химические средства защиты растений повышают фитосанитарный потенциал. Причём уровень последствий от системного применения химических средств защиты растений хороший ($d_i = 0,65$).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Интенсификации земледелия сопутствует наращивание применения химических средств защиты растений, последствие которых может оказать негативное влияние на качество производимой продукции и экологическую безопасность. Длительность последствия препаратов зависит от их фитосанитарного назначения и действующих веществ и изменяется от 30-50, а для некоторых препаратов превышает 300 дней. В сезон более теплый и влажный интенсивность деградации пестицидов увеличивается.

2. Ускорить самоочищение почвы от пестицидов позволяет предпосевное применение природного цеолита в дозе 300-350 кг/га. С использованием его увеличивается содержание пестицидов различного фитосанитарного назначения в пахотном слое почвы и растениях за счет снижения проникновения токсикантов в подпахотный слой почвы, что расценивается как положительный признак и создает предпосылки для снижения рекомендуемых доз препаратов с повышением экологической безопасности. Предпосевное внесение в почву цеолита увеличивает биологическую эффективность средних технологических доз пестицидов: инсектицида – на 42 %, гербицида – на 45 %, фунгицида – в два раза. Каких-либо отрицательных последствий на качество продукции и урожайность культур применение пестицидов на фоне цеолита не оказывает. В качестве адсорбента токсичных веществ наиболее эффективная фракция цеолита 2-3 мм.

3. Методом биотестирования проведены исследования по определению токсичности почвы для культур севооборота от остаточного содержания гербицидов. Гербициды оказывают существенное отрицательное воздействие на биологическую активность почвы, снижая её до 1,4 раза в сравнении с вариантом без их применения. Методы биотестирования и определения целлюлоз разрушающей активности почвы могут применяться при оценке

уровня экологических последствий для окружающей среды при интенсификации производства зерновых культур.

4. Оценка эффективности средств защиты растений многокритериальная, когда невозможно выделить главный параметр оптимизации. Использование функции желательности Харрингтона установлено, что наиболее значимое влияние на фитосанитарное состояние посевов оказывает севооборот. Пренебрежение его позитивными свойствами сводит фитосанитарное состояние посевов до неприемлемого уровня. Уровень системного применения химических средств защиты растений оценивается как хороший. Влияние углубления пахотного слоя, сидератов и минеральных удобрений объективно приемлемое. Отклик же фитосанитарного состояния на минимальные обработки оказался неудовлетворительным.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Акименко А.С., Дудкина Т.А., Долгополова Н.В. и др. Методологические основы производства заданного количества продовольственного зерна в севооборотах Центрального Черноземья // Земледелие. – 2021. – № 4. – С. 10-14.
2. Новожилов К.В. Аспекты экологизации защиты растений в современном земледелии // Моделирование разрушения пестицидов в почве. – Л.: ВИЗР, 1991. – С. 8-10.
3. Ступакова Г.А., Лунев М.И., Деньгина С.А. Стандартные образцы в оценке качества и безопасности продукции растениеводства // Международный сельскохозяйственный журнал. – 2020. – № 3. – С. 60-65.
4. Долженко В.П., Лаптиев А.Б. Современный ассортимент средств защиты растений: биологическая эффективность и безопасность // Плодородие. – 2021. – № 3. – С. 71-75. – DOI: 10.25680/S19948603.2021.120.13.
5. Вавин В.Г. Эволюция защиты растений в устойчивых системах земледелия // Инновационно-технологические основы развития адаптивно ландшафтного земледелия: Сб. докладов Междунар. науч.-практ. конф., посвященной 50-летию со дня основания ВНИИ земледелия и защиты почв от эрозии. – Курск: Курский ФАНЦ, 2020. – С. 143-145.
6. Brown A.W. Acology of pesticides. – N.Y: Wilceya Sons, 1989. – P. 516.
7. Список пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории Российской Федерации. Справочное издание – М., 2022. – 880 с.
8. Трескунова А, Ефремова М. Как пестициды влияют на природу и человека: грань между необходимым и безопасным. Спецпроект. 22.08.22. – URL: <https://journal.ecostandardgroup.ru/ot/world/kak-pestitsidy-vliyayut-na-prirodu-i-cheloveka-gran-mezhdu-neobkhodimym-i-bezopasnym-spetsproekt/> (дата обращения 30.01.2023).
9. Данилова А.А. Контроль остаточных количеств пестицидов в объектах окружающей среды // Агрохимия. – 2021. – № 6. – С. 49-56.

10. Вавин В.Г. Перспективы применения цеолитов совместно с пестицидами в защите растений // Природные цеолиты в социальной сфере и охране окружающей среды: Сб. науч. трудов ВАСХНИЛ СО. – Новосибирск, 1990. – С. 61-67.

11. Residues of pesticides and other contaminanta in the total environment // Reasiduerievieva. – N.Y.: Spring-Verlag. – 1983. – Vol. 855. – P. 306-309.

12. Батькаев Ж.Я. Роль микроорганизмов в повышении плодородия почвы // Почвоведение и агрохимия. – 2013. – № 2. – С. 24-27.

13. Круглов Ю.В. Микрофлора почвы и пестициды. – М.: Агропромиздат, 1991. – С. 6-7.

14. Дудкина Т.А. Влияние предшественника и уровня удобрённости на токсичность почвы в посевах озимой пшеницы // Научное обеспечение инновационного развития агропромышленного комплекса регионов РФ: Материалы междунар. науч.-практ. конф. ждународной научно-практической конференции. – Лесниково: Изд-во Курганская государственная сельскохозяйственная академия им. Т.С. Мальцева, 2018. – С. 493-496.

15. Дудкина Т.А., Дудкин И.В. Влияние севооборота и удобрений на целлюлозоразрушающую способность почвы в посевах ячменя // Аграрная наука в условиях модернизации и инновационного развития: Сб. материалов Всерос. науч.-метод. конф. с междунар. участием, посвященная 100-летию академика Д.К. Беляева. Том 1. – Иваново: Изд-во ФГБОУ ВПО Ивановская государственная сельскохозяйственная академия, 2017. – С. 65-69.

16. Pimentel D. Enviromental aspects of pest management // Chemistry and World supplies: The New Frontiers, 1982. – P. 185-201.

17. Саноцкий И.В. Уланова И.П. Критерии вредности в гигиене и токсикологии при оценке опасности химических соединений. – М.: Медицина, 1978. – С. 328-330.

18. Дудкина Т.А. Влияние органических и органо-минеральных удобрений на ферментативную активность почвы // Интенсификация, ресурсосбережение и охрана почв в адаптивно-ландшафтных системах

земледелия: Междунар. науч.-практ. конф. – Курск: ВНИИиЗПЭ, 2008. – С. 490-493.

19. Петрова Т.М., Смирнова И.М., Волгарев С.А. Транслокация инсектицидов различных химических групп в защищаемых растениях и проблема экологической безопасности их использования // Фитосанитарное оздоровление экосистем: Сб. материалов Второго Всероссийского съезда по защите растений; в 2-х томах. – СПб: Инновационный центр защиты растений, 2005. – С. 252-253.

20. Найденко В.В., Губанов Л.Н., Косариков А.Н. и др. Эколого-экономический мониторинг окружающей среды: учебное пособие. – Нижний Новгород, 2003. – 186 с.

21. Агрехимические средства в адаптивно-ландшафтном земледелии/ Державин Л.М., Сычев В.Г., Цыгуткин А.С. и др. – Москва, 2006. – 152 с.

22. Лунёв М.И. Мониторинг пестицидов в агроэкосистемах // Новые методы и результаты исследований ландшафтов в Европе, Центральной Азии и Сибири: Монография. В 5-ти томах. – Москва, 2018. – С. 32-36.

23. Растворенные и взвешенные органические вещества в водных системах / О.В. Яровая, Я.П. Молчанова, Т.В. Гусева и др.; под ред. О.В. Яровой. – М.: РХТУ им. Д. И. Менделеева, 2015 – 92 с.

24. Лунев М.И. Методы количественной оценки уровней накопления и характера детоксикации пестицидов в почве // Токсикологический и радиологический контроль состояния почв и растений в процессе химизации сельского хозяйства: Сб. науч. трудов. – М.: ЦИНАО, 1981. – С. 19-20.

25. Мухин В.М., Спиридонов Ю.Я. Оздоровление почв, загрязненных пестицидами, с помощью угледсорбционных технологий // Аграрная наука. – 2019. – № 2. – С. 156-159.

26. Juri W.A., Spenser W.F. Behavior assesment model for trace organic in soil: Model description // J. Environ. Qual., 1983. – Vol. 12. – P. 558.

27. Дистанов У.Г., Михайлов В.А. и др. Природные сорбенты СССР. М.: «Недра», 1990. – С. 8-14

28. Левченко М.Л., Губайдуллина А.М., Лыгина Т.З. Оптимальные технологии получения сорбентов и пигментов из природных силикатов сложного состава // Вестник Казанского технологического университета. – 2009. – № 4. – С. 45-49.

29. Колягин Ю.С., Карасев О.А., Москворецкий С.П. Цеолиты и динамика накопления сухого вещества // Сахарная свекла. – 2002. – № 1. – С. 10-12.

30. Куликова А.Х., Яшин Е.А., Кудряшов А.В. Эффективность применения диатомита, кремниевых комплексов на его основе и минеральных удобрений при возделывании сахарной свеклы в условиях Среднего Поволжья // Вестник Ульяновской ГСХА. – 2013. – № 1(21). – С. 24-28.

31. Доманов Н.М., Анисомова Т.Ю., Ходырев В.М. Эффективность природных удобрений на основе свободного кремнезема при выращивании сахарной свеклы и картофеля // Гавриш. – 2009. – № 2. – С. 41-43.

32. Yochinage E. Et al. Patent US 3.708.673, 1973.

33. Mari Y. et al. // IASSO Ken Kyu. – 1974. – No 18. – P. 21-26.

34. Нармедов Г.В., Аксенова Л.А. Применение природных цеолитов в животноводстве и растениеводстве // Труды Конф. и Симпозиума по применению природных цеолитов в животноводстве и растениеводстве. – Тбилиси, 1984. – С. 202-205.

35. Лопухов К.К., Макарычев Ю.И. Влияние цеолитов, насыщенных пестицидами на всхожесть семян льна. // Использование цеолитов Сибири и Дальнего Востока в сельском хозяйстве: Сборник. – Новосибирск: СО ВАСХНИЛ, 1998. – С. 69-71.

36. Вавин В.Г., Николаев В.Н., Руммель А.Г. Использование цеолитов для защиты картофеля от фитофтороза // Информ. листок Кемеровского ЦНТИ, 1990. – № 392-90.

37. Ruiz N., Crespo G. Efecto de la zeolite on la eficiencia del herbicide en la siembra de siratro // Zeolites – 91: 3-rd International conference on the occurrence, properties and utilization on natural zeolites. – Habana, Cuba, 1991. – P. 131.

38. Вавин В.Г. Деградация пестицидных препаратов при применении на яровой пшенице в лесостепной зоне Западной Сибири: автореф. дис. ... канд. биол. наук; ВИЗР. – СПб, 1993.

39. Вавин В.Г. Деградация пестицидных препаратов при защите зерновых культур в Кемеровской области // Агроэкологические проблемы сельскохозяйственного производства в Кемеровской области: Сб. науч. трудов. – Кемерово, 1993. – С. 29-33.

40. Вавин В.Г., Бакланский А.В. Влияние природного цеолита (пегасина) на динамику деградации пестицидов при защите зерновых культур от вредителей, болезней, сорняков // Природные цеолиты России: медико-биологические свойства и применение в сельском хозяйстве. Т. 2 – Новосибирск: СО АН, 1992. – С. 77-78.

41. Вавин В.Г., Руммель А.Г. Технологическая схема внесения в почву цеолитов, насыщенных пестицидами. – Новосибирск: СО РАСХН, 1991.

42. Вавин В.Г. Изменение темпов деградации пестицидов при применении природных цеолитов // Проблемы оптимизации фитосанитарного состояния растениеводства: Сб. трудов Всероссийского съезда по защите растений. – СПб, Пушкин: Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений РАСХН, 1997. – С. 166-169.

43. Вавин В.Г. Поиск решений в гармонизации задач сельского хозяйства и агроэкологии // Агротехнологическая модернизация земледелия: Сб. докладов Всерос. науч.-практ. конф. ГНУ ВНИИ земледелия и защиты от эрозии. – Курск, 2013. – С. 55-56.

44. Вавин В.Г. Рязанцева Н.В. Пути снижения отрицательного воздействия пестицидов // Актуальные проблемы земледелия и защиты почв от эрозии: Сб. докладов Междунар. науч.-практ. конф. и Школы молодых ученых, посвящённых Году экологии и 50-летию выхода Постановления о борьбе с эрозией почвы. – Курск: ТОП+, 2017. – С. 91-92.

45. Вавин В.Г. Применение природного цеолита в качестве средства – детоксикатора почв и воды от пестицидов // Актуальные проблемы

почвоведения, экологии и земледелия: Сб. докладов Междунар. науч.-практ. конф. Курского отделения МОО «Общество почвоведов имени В.В. Докучаева». – Курск: Изд-во ВНИИЗиЗПЭ, 2018. – С. 92-93.

46. Методические указания по контролю уровней и изучению динамики содержания пестицидов в почве и растениях. – М.: Агропромиздат, 1985. – С. 17-21, 118-123.

47. Методы определения в продуктах питания, кормах и внешней среде: Справочное издание /под ред. М.А. Клисенко. – М.: Колос, 1983 –304 с.

48. Методы определения микроколичеств пестицидов в продуктах питания, кормах и внешней среде / под ред. М.А. Клисенко. – М.: Медицина, 1984. – С. 119-176.

49. Методические указания по мониторингу болезней, вредителей и сорных растений на посевах зерновых культур / Койшыбаев Мурат, Муминджанов Хафиз. – Анкара, 2016. – 42 с.

50. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. – М.: Агропромиздат, 1986. – С. 336-337.

51. Методика оптимизации севооборотов и структуры использования пашни –М.: Изд-во Россельхозакадемии. – 2004. – 76 с.

52. Сайбель М. Н. Оценка токсичности почвы методами биоиндикации после применения гербицидов в посевах кукурузы // Достижения науки – агропромышленному производству: Материалы науч.-техн. конф. – Челябинск, 2015. – С. 152-158.

53. Хлюпина С.В. Оценка применения пестицидов в севооборотах Курской области // Актуальные проблемы почвоведения, экологии и земледелия: Сб. материалов XVII Междунар. науч.-практ. конф. Курского отделения МОО «Общество почвоведов имени В.В. Докучаева» (г. Курск, 27-29 апреля 2022 г.). – Курск: ФГБНУ Курский ФАНЦ, 2022. – С. 272-276.

54. Хлюпина С.В. Последствие пестицидов как проявление антропогенной нагрузки на сельскохозяйственные культуры // Приоритеты агропромышленного комплекса: научная дискуссия: материалы Междунар.

науч.-практ. конф. (Казахстан, 18 марта 2022 г.). – Петропавловск: СКУ им. М. Козыбаева, 2022. – С. 285-288.

55. Конова А.М. Экологическая оценка комплексного применения удобрений и пестицидов в севообороте // Плодородие. – 2010. – № 3. – С. 8-10.

56. Хлюпина С.В. Применение пестицидов в зерновых севооборотах Курской области // Плодородие почв – основа продовольственной безопасности государства: материалы VI съезда Белорусского общества почвоведов и агрохимиков (Минск, 21 июля 2022 г.). – Минск: Институт системных исследований в АПК НАН Беларуси. – 2022. – С. 318–322.

57. Мороховец В.Н., Басай З.В., Мороховец Т.В., Штерболова Т.В. Изучение чувствительности сельскохозяйственных культур к почвенным остаткам гербицидов Пивот, Фабиан, Лазурит и Пропонит // Вестник ДВО РАН. – 2019. – № 3 – С. 73-78.

58. Моторин А.С., Малышкин Н.Г. Изучение экотоксичности остаточных количеств гербицидов в почве биологическими методами // Аграрный вестник Урала. – 2009. – № 11. – С. 99-102.

59. Спиридонов Ю.Я., Ларина Г.Е., Шестаков В.Г. Методическое руководство по изучению гербицидов, применяемых в растениеводстве – М.: Печатный Город, – 2009. – 252 с.

60. Шуховцов О.Н. Некоторые итоги применения гербицидов группы сульфонилмочевин в Алтайском крае // Повышение устойчивости производства высококачественной сельскохозяйственной продукции на основе использования средств защиты растений и агрохимикатов: Материалы науч.-практ. конф. – Барнаул: ИванЪ, 2003. – С. 55-59.

61. Евдокимов Ю.А., Колесников В.И., Тетерин А.И. Планирование и анализ экспериментов при решении задач трения и износа. – М.: Наука, 1980. – 228 с.

62. Системы земледелия / А.Ф. Сафонов, А.М. Гатаулин, В.Г. Лошаков и др.; под ред. А.Ф. Сафонова. – М.: КолосС, 2006. – 448 с.

Научное издание

Вавин Валерий Григорьевич

Агроэкологические аспекты применения пестицидов при возделывании зерновых культур на черноземных почвах [Текст]: брошюра / В.Г. Вавин, И.И. Гуреев, С.В. Хлюпина. – Курск: Курский федеральный аграрный научный центр, 2023. – 70 с.: 19 ил., 9 табл.

Сдано в набор 06.12.23 г. Подписано в печать 11.12.23 г.

Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная. Печать цифровая.

Усл. печ. л. 4,07. Тираж 500 экз. Заказ № 517.

Отпечатано: «Деловая полиграфия»

ИП Бескровный Александр Васильевич

г. Курск, ул. К.Маркса, 61 Б.

E-mail: zakaz-zachetka@mail.ru