

БОЛЬШОВ  
АЛЕКСАНДР ВЯЧЕСЛАВОВИЧ

**НОВЫЙ ОТЕЧЕСТВЕННЫЙ ГЕРБИЦИД ИМИДАЗОЛИНОНОВОГО  
РЯДА ДЛЯ ЗАЩИТЫ ЗЕРНОБОБОВЫХ И МАСЛИЧНЫХ КУЛЬТУР**

Шифр и наименование специальности

06.01.07 – Защита растений

АВТОРЕФЕРАТ  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата биологических наук

Санкт-Петербург  
2018

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном научном учреждении «Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений» (ФГБНУ ВИЗР).

**Научные руководители:** **Долженко Виктор Иванович**  
академик РАН, доктор  
сельскохозяйственных наук, профессор

**Нестерова Лилия Михайловна**  
кандидат химических наук

**Официальные оппоненты:** **Спиридонов Юрий Яковлевич**  
доктор биологических наук, профессор,  
академик РАН, заведующий отделом гербологии  
Федерального государственного бюджетного  
научного учреждения "Всероссийский научно-  
исследовательский институт фитопатологии"

**Полин Валерий Дмитриевич**  
кандидат сельскохозяйственных наук, доцент  
кафедры земледелия и методики опытного дела  
Федерального государственного бюджетного  
образовательного учреждения высшего образования  
"Российский государственный аграрный  
университет - МСХА им. К. А. Тимирязева"

**Ведущая организация:** Федеральное государственное унитарное  
предприятие "Всероссийский научно-  
исследовательский институт химических средств  
защиты растений" (ФГУП ВНИИХСЗР)

Защита состоится 31 мая 2018 г. в 14<sup>00</sup> час. на заседании диссертационного  
совета Д 006.015.01, созданного на базе Федерального государственного  
бюджетного научного учреждения "Всероссийский научно-исследовательский  
институт защиты растений" (ФГБНУ ВИЗР) по адресу: 196608, Санкт-  
Петербург, Пушкин, ш. Подбельского, д. 3.

Факс: 8(812)4705110; e-mail: info@vizr.spb.ru

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБНУ ВИЗР и на сайте  
[www.vizr.spb.ru](http://www.vizr.spb.ru)

Автореферат разослан « » \_\_\_\_\_ 2018 г.

Учёный секретарь диссертационного совета,  
кандидат биологических наук

Наседкина Галина Анатольевна

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность проблемы.** В современном сельском хозяйстве значительную часть гербицидных препаратов, применяемых для защиты масличных и зернобобовых культур, составляют ингибиторы ALS – фермента ацетолактат-синтазы. Широко применяемыми представителями этого класса гербицидов являются сульфонилмочевины. В 70-х годах прошлого столетия учеными американской компании «American Cyanamid Company» был открыт новый класс ингибиторов ацетолактат-синтазы – имидазолиноны. В силу разнообразия гербицидной активности и низкой токсичности имидазолиноны успешно применяют в сельском хозяйстве всего мира. Перспективным соединением класса имидазолинонов является имазамокс (селективность, широкий спектр действия, защита востребованных культур); продукт относительно новый и до 2013 года на отечественном рынке были представлены лишь два зарубежных препарата, содержащих имазамокс – Пульсар, ВР (40 г/л имазамокса) и Евро-Лайтнинг (33 г/л имазамокса, 15 г/л имазапира), производимые фирмой BASF. Имазамокс – послевсходовый системный гербицид имидазолинонового ряда, широкого спектра действия для борьбы с однолетними злаковыми и двудольными сорными растениями в посевах бобовых культур - сои и гороха. Возможно применение гербицида на рапсе и подсолнечнике при условии использования устойчивых к имидазолинонам сортов и гибридов этих культур. Поэтому весьма актуально было создание отечественного гербицида на основе имазамокса.

**Цель исследований:** создание отечественного, эффективного и безопасного гербицидного препарата на основе действующего вещества имидазолинонового ряда для борьбы с сорными растениями в посевах бобовых и масличных культур.

### **Задачи исследований:**

1. Разработать отечественный гербицидный препарат на основе имидазолинонов для борьбы с сорными растениями на посевах бобовых и масличных культур.
2. Изучить физико-химические свойства производных имидазолинонового ряда с целью создания оптимальной препаративной формы гербицида.
3. Обеспечить оптимальное взаимодействие рабочего раствора отечественного гербицида с сорными растениями на основе использования современных сурфактантов.
4. Оценить биологическую эффективность созданного препарата и безопасность его для защищаемых культур в лабораторных и полевых условиях.
5. Провести токсиколого-гигиеническую и экологическую оценку разработанного препарата.
6. Разработать регламенты эффективного и безопасного применения нового отечественного гербицида для защиты бобовых и масличных культур.

**Научная новизна** работы состоит в создании первого отечественного гербицидного препарата на основе имазамокса с содержанием действующего вещества 120 г/л и оценке его биологической эффективности, экологической безопасности; разработке регламентов его применения.

**Практическая значимость и реализация результатов исследований.** Разработана рецептура препарата, апробированы и внедрены лабораторный и технологический регламенты его производства. Препарат Парадокс, ВРК прошел все необходимые биологические и токсиколого-гигиенические испытания, включен в Государственный каталог пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории Российской Федерации, и внедрен в производство. Результаты полевых испытаний показали, что препарат Парадокс, ВРК (120 г/л имазамокса), по своей биологической эффективности не уступает препаратам аналогичного действия зарубежного производства и значительно снижает пестицидные нагрузки.

**Основные положения** диссертационной работы, выносимые на защиту:

1. Первый отечественный гербицид на основе имазамокса – Парадокс, ВРК (120 г/л) для защиты бобовых и масличных культур.
2. Биологическая эффективность и безопасность созданного препарата.
3. Регламенты применения в сельском хозяйстве нового отечественного гербицида для защиты бобовых и масличных культур.

**Реализация результатов исследований.** На основе полученных результатов биологической эффективности, токсиколого-гигиенической и экологической оценки препарата Парадокс, ВРК осуществлена его регистрация в РФ, свидетельство о регистрации № 021-03-342-1. Разработаны регламенты применения гербицидного препарата Парадокс, ВРК, для эффективного и безопасного использования для защиты бобовых (соя и горох) и масличных (подсолнечник и рапс) культур. Разработана необходимая научно-техническая документация (лабораторный и технологический регламент, технические условия) для производства препарата в филиале ЗАО Фирма «Август» – «Вурнарский завод смесевых препаратов» (ВЗСП).

**Апробация работы.** Результаты исследований опубликованы в периодической печати, были доложены на различных международных конференциях, проходивших в ФГБНУ СибНИИЗХиМ (Новосибирск, 2014), БелНИИЗР (Минск, Прилуки, 2015), ФГБНУ ВНИИ фитопатологии (Большие Вяземы, 2016). Данные исследовательской работы ежегодно докладывались на заседаниях Методической комиссии ФГБНУ ВИЗР (2013-2016 гг.).

**Публикация результатов исследований.** По материалам диссертации опубликовано 5 научных работ, в том числе 2 в журналах, рекомендованных ВАК.

**Личный вклад.** Автор принимал личное участие в создании препарата, в проведении опытов и анализе полученных данных, написании статей и диссертации (2012 – 2016 гг.).

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, 6 глав с результатами исследований, заключения, рекомендаций к производству,

списка литературы и приложений. Текст изложен на 166 страницах и иллюстрирован 24 таблицами, 55 рисунками. Список литературы составляет 272 источника, в том числе 48 на иностранных языках.

**Благодарности.** Автор выражает искреннюю благодарность научным руководителям академику РАН, доктору с.-х. наук В.И. Долженко и кандидату химических наук Л.М. Нестеровой, за оказанную помощь на всех этапах исследований, кандидату с.-х. наук Т.А. Маханьковой за консультационную помощь при ежегодных отчетах, кандидату химических наук Л.С. Елиневской за консультационную помощь при разработке гербицидного препарата и его исследованиях, кандидату биологических наук М.В. Колупаеву, научному сотруднику А.Г. Львову и сотрудникам институтов «ФНЦГ им. Ф.Ф. Эрисмана» и ФГБНУ ВИЗР за сотрудничество при проведении исследований и статистическом анализе данных.

## СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

### 1 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

Приведены сведения литературы о народнохозяйственном значении зернобобовых и масличных культур, таких как горох, соя, подсолнечник и рапс. Описаны особенности их возделывания, вредоносность сорных видов растений, встречающихся в посевах этих культур, различные приемы и методы их защиты, в том числе с помощью гербицидных препаратов. Рассмотрены механизмы проникновения гербицидов в растения. Описана история открытия гербицидов имидазолинового ряда и показаны способы повышения эффективности препаратов на их основе.

### 2 УСЛОВИЯ И МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования физико-химических характеристик и оценку стабильности в различных температурных режимах модельных образцов разрабатываемого гербицидного препарата Парадокс, ВРК (120 г/л имазамокса) производили в соответствии с методиками СІРАС (Dobrat, Martijn, 1995; Dobrat, 2000) и ГОСТ. Определение значений рН проводили на рН метре Mettler Toledo Seven Multi (ГОСТ 32385-2013). Работа по определению содержания имазамокса в образцах препарата выполнена совместно с группой аналитической химии НИОКРа ЗАО Фирма «Август» по разработанной ею методике. Исследования поверхностно-активных свойств рабочих растворов препарата производили на приборе Dataphysics OSA15. Обсчет данных вели в прилагающейся к оборудованию программе, либо в программе MS Office Excel.

Для разработки препарата и проведения исследований были использованы действующие вещества имидазолинового ряда и группа поверхностно-активных веществ. Для определения поверхностного натяжения рабочих растворов модельных образцов препарата в качестве гидрофобной поверхности, имитирующей листовую поверхность, восковый слой, были использованы пластинки Parafilm M (Bemis. US); растения: горох (*Pisum sativum* L.) сорта:

Фараон, Красноус, Таловец 70, Флагман 9, Фокор; соя (*Glycine gliscine Max L.*) сорта: Свапа, Нива 70, Аннушка, Бара, Алтом, Ланцетная; подсолнечник (*Helianthus annuus L.*) – гибрид ЕС Флоримис; рапс яровой (*Brassica napus L.*) – гибрид Сальса КЛ, рапс озимый – гибрид Сафран; пшеница озимая (*Triticum aestivum L.*) – сорт Кристалл. Целевые объекты: однолетние злаковые и двудольные сорные растения.

Первичный биологический скрининг на тест-растениях проводили в лаборатории искусственного климата в контролируемых по температуре, влажности и освещенности условиях. В качестве интегральной характеристики реакции растений на действие гербицидов использовали величину ED<sub>50</sub> (эффективная доза препарата в г/га, снижающая массу растений на 50% по сравнению с контролем). Расчеты проводили методом пробит-анализа (Kudsk et al., 1987; Pilar Sandin-Espana et al., 2011; Спиридонов и др., 2004; Спиридонов, Шестаков, 2006). Опыты по изучению биологической и хозяйственной эффективности исследуемых гербицидов проводили в 2012 и 2013 гг. на посевах гороха, сои, подсолнечника и рапса в различных почвенно-климатических зонах. Эффективность препарата оценивали количественно-весовым методом согласно «Методическим указаниям по регистрационным испытаниям гербицидов в сельском хозяйстве» (2013).

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

### 3 РАЗРАБОТКА ПРЕПАРАТОВ ИМИДАЗОЛИНОНОВОГО РЯДА

**3.1 Физико-химические свойства действующего вещества, определяющие выбор препаративной формы.** Тип препаративной формы, в основном, определяют физико-химические свойства действующего вещества. Опираясь на литературные данные по физико-химическим свойствам имазамокса, а также оценив преимущества каждой из возможных препаративных форм для этого действующего вещества (ДВ), мы пришли к выводу, что наиболее подходящей препаративной формой будет водорастворимый концентрат (ВРК).

**3.2 Разработка препаративной формы для имазамокса.** Мы перевели имазамокс в хорошо растворимую в воде аммонийную соль (рис. 1) и приступили к созданию препарата (водорастворимый концентрат) на его основе.

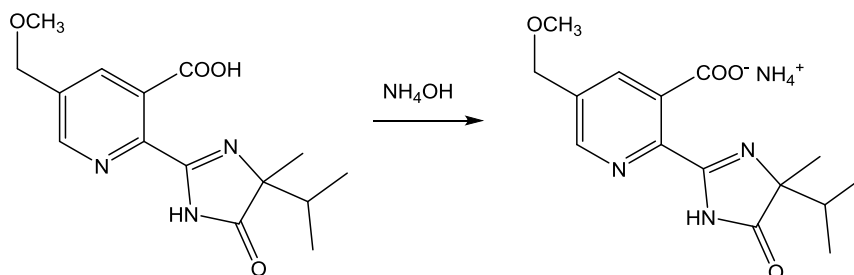


Рисунок 1 – Схема получения аммониевой соли имазамокса

Основной способ применения гербицидов — опрыскивание. При распылении рабочего раствора гербицидного препарата в поле с помощью опрыскивающей техники возникает множество факторов, препятствующих его полному и равномерному нанесению на поверхность растений (рис. 2). В связи с этим важнейшей задачей при разработке препарата являлась минимизация потерь, возникающих при распылении рабочего раствора.

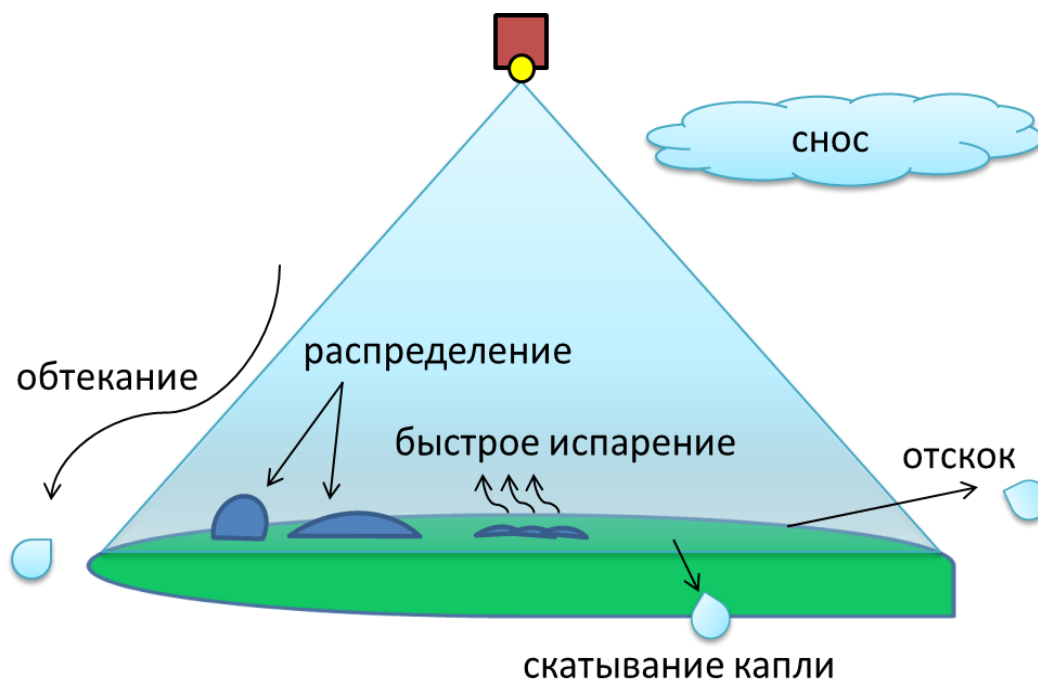


Рисунок 2 – Возможные потери препарата, возникающие при обработке (ориг.)

**3.3 Оценка стабильности и поверхностно-активных характеристик модельных образцов препаратов на основе имазамокса.** Современные исследования в области химии пестицидов показывают, что основным компонентом препаративной формы, позволяющим снизить потери при применении и добиться максимальной эффективности активного ингредиента, является ПАВ – поверхностно-активное вещество (Mercer et al., 2010). ПАВ влияют на такие поверхностно-активные свойства рабочего раствора, как поверхностное натяжение, смачивание, прилипание.

Для разработки эффективного гербицида на основе имазамокса, отвечающего современным требованиям, нами были наработаны модельные образцы препарата, содержащие разнообразные по своей природе поверхностно-активные вещества. Эти вещества были представлены этоксилированными эфирами сорбитанов, нонилфенолами, этоксилированными жирными и алкоксилированными спиртами в концентрациях от 20 до 50%. Были изучены физико-химические и поверхностно-активные свойства рабочих растворов модельных препаратов (рис. 3 и 4).

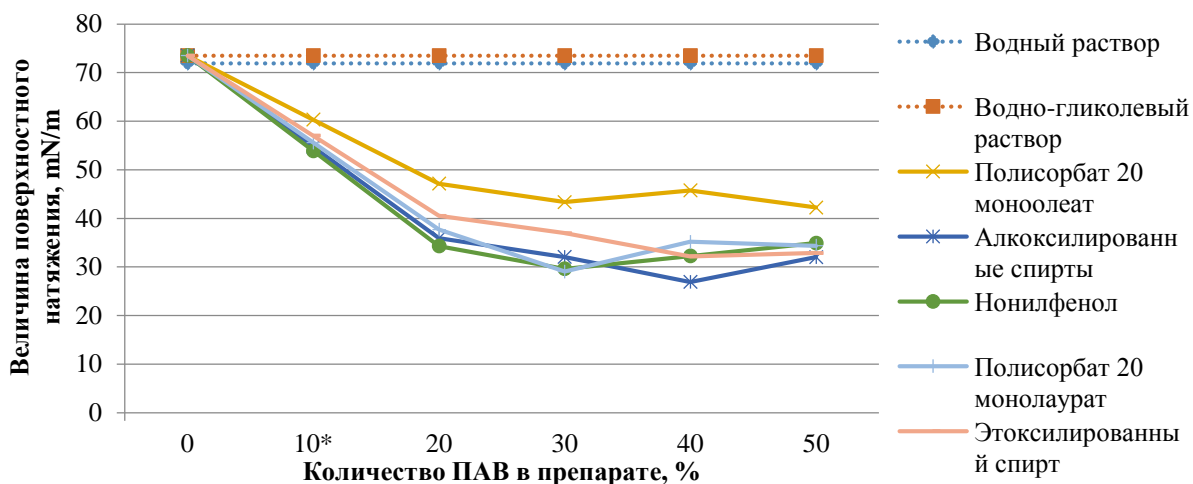


Рисунок 3 – Зависимость поверхностного натяжения капель рабочего раствора от количества ПАВ в рецептуре

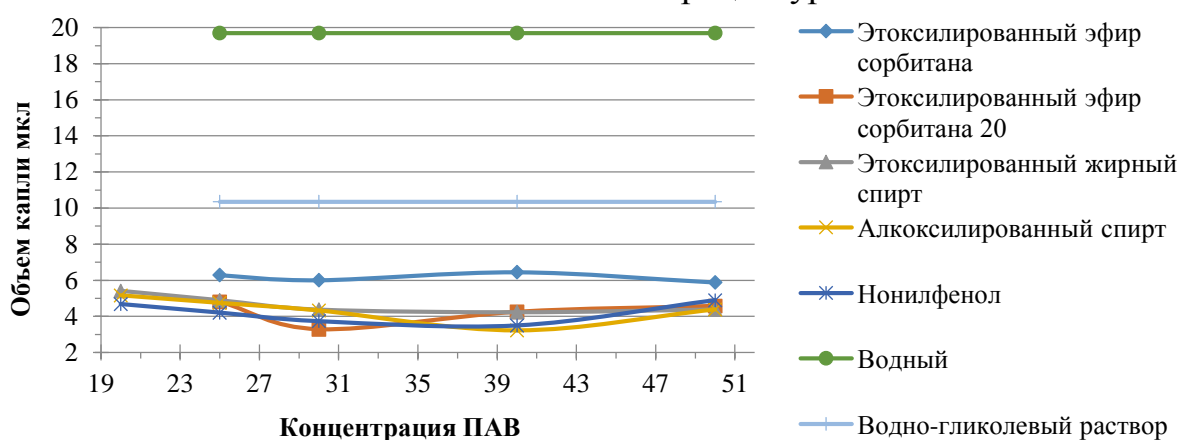


Рисунок 4 – Влияние количества ПАВ в рецептуре на объем капель рабочего раствора

Поверхностно-активные вещества для целевой группы модельных образцов были подобраны на основании характеристик, включающих физико-химические свойства (рН, плотность), гидрофильно-липофильный баланс, совместимость сурфактанта с остальными компонентами препарата, влияние на окружающую среду, стоимость и возможность использования отечественных аналогов.

В ходе исследований поверхностно-активных свойств рабочих растворов модельных образцов препарата нами было показано, что для значительного влияния ПАВ на поверхностное натяжение рабочего раствора достаточно 20% поверхностно-активного компонента. При этом устанавливается плато, на котором практически не происходит изменений, даже при двукратном увеличении сурфактанта. Поскольку поверхностное натяжение определяет объем капель (рис. 4), результаты исследований позволили исключить образцы, которые давали особенно мелкие капли рабочего раствора при применении. Это позволяло избегать потерь препарата при сносе.

Часть приготовленных модельных образцов препарата на основе 120 г/л имазамокса оказалась нестабильна при хранении. Высокая концентрация ПАВ, обладающих более низкой растворяющей способностью чем вода,



способствовала выделению растворенных в пробе твердых компонентов, в первую очередь действующего вещества.

Как показали результаты испытаний стойкости препарата в различных климатических условиях, включение более чем 30 процентов сурфактанта в рецептуру, приводило к ухудшению качественных характеристик препарата и снижению его устойчивости к температурным изменениям окружающей среды (табл. 1). Такие модельные образцы также были исключены из целевой группы в ходе исследований.

Помимо ПАВ в рецептуру препарата были включены также гликоли, обеспечивающие снижение скорости испарения капель и устойчивость препарата к перепадам температур в диапазоне от  $-30^{\circ}\text{C}$  до  $+35^{\circ}\text{C}$ . При хранении в этих условиях препарат не теряет своих свойств и биологической активности.

Таблица 1 – Влияние поверхностно-активных компонентов препарата на свойства рабочего раствора

Наименование и количество сурфактанта в образце, %	Статическое поверхностное натяжение, mN/m	Стабильность исследуемого образца при хранении
Водно-гликолевый раствор (Без ПАВ)	73,49	Устойчив
Нонилфенол		
20	34,23	Устойчив
30	29,61	Устойчив
40	31,42	Устойчив
50	34,92	Нестабилен
Алкоксилированные спирты		
20	35,95	Устойчив
30	32,06	Устойчив
40	26,93	Нестабилен
50	32,03	Нестабилен
Этоксиллированные спирты		
20	40,53	Устойчив
30	36,97	Устойчив
40	32,18	Нестабилен
50	32,89	Нестабилен
Полисорбат 20 моноолеат		
20	47,15	Устойчив
30	43,36	Устойчив
40	45,76	Нестабилен
50	42,23	Нестабилен
Полисорбат 20 монолаурат		
20	37,70	Устойчив
30	29,06	Устойчив
40	35,17	Нестабилен
50	34,36	Нестабилен

**3.4 Взаимодействие рабочих растворов модельных образцов препарата на основе имазамокса с гидрофобной поверхностью.** При контакте капли рабочего раствора с листовой поверхностью в процессе взаимодействия, помимо твердой фазы включаются дополнительные параметры и силы (рис. 5), влияющие в той или иной степени на эффективность применяемого препарата. В связи с этим необходимо было знать, как рабочий раствор, достигнув поверхности листа, будет распределяться на ней и её смачивать. С этой целью мы провели исследования по определению краевых углов смачивания рабочих растворов модельных образцов разрабатываемого препарата. В качестве гидрофобной поверхности мы использовали пластинки Parafilm M, а в некоторых случаях и закрепленную гладкую листовую пластинку.

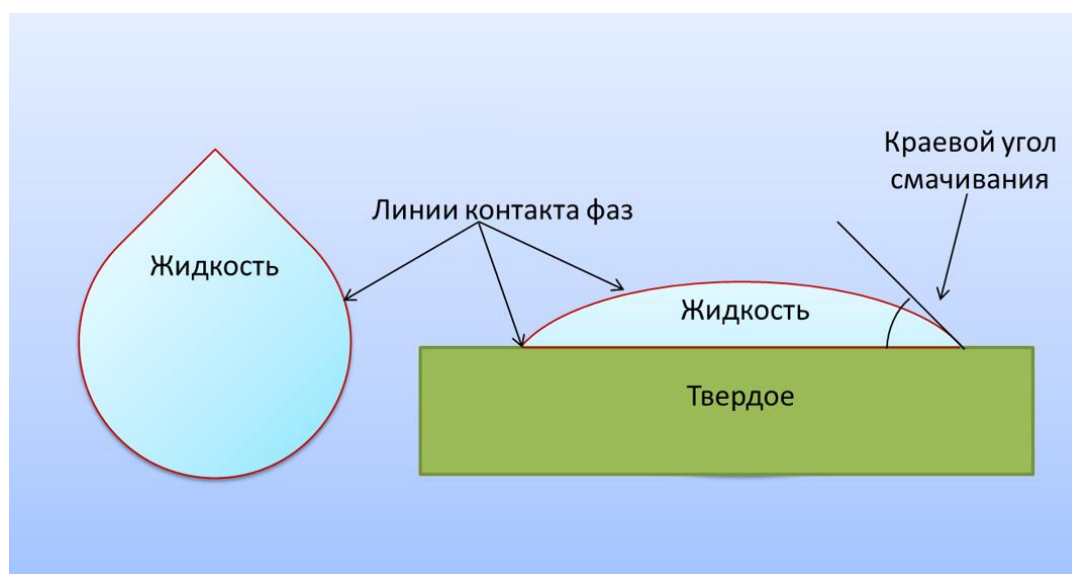


Рисунок 5 – Поверхностное натяжение статической капли и краевой угол смачивания капли на поверхности листа (ориг.)

В ходе исследования рабочих растворов модельных образцов, нами было показано, что влияние ПАВ на краевые углы смачивания капель рабочих растворов сильно зависело от их природы. Например, в одних случаях добавление сурфактантов определенных классов в концентрациях 20% не оказывало влияния на свойства раствора смачивать поверхность. Результаты измерений краевых углов смачивания таких образцов не сильно отличались от значений водно-гликолевого раствора аммонийной соли имазамокса (образцы без ПАВ). Капли на поверхности удерживались плохо и скатывались. В других случаях, при тех же концентрациях, поверхностно-активные вещества оказывали существенное влияние на свойства рабочего раствора. Значения краевых углов смачивания капель этих растворов были ниже, на листе такие капли растекались гораздо лучше. Кроме этого, в наших исследованиях присутствовал образец, в составе которого был ПАВ, дающий крайне низкие значения краевых углов смачивания капель рабочих растворов. В этих случаях сильное растекание капли рабочего раствора приводило к снижению концентрации действующего вещества на единицу поверхности и испарению, приводящему к его кристаллизации. При выборе ПАВ, мы учитывали не только

интенсивное растекание, но и создание условий для лучшего проникновения действующего вещества в лист.

Наиболее подходящими с нашей точки зрения оказались варианты **В** (ПАВ – этоксилированные спирты) и **Г** (ПАВ – этоксилированные эфиры сорбитана), имеющие меньший краевой угол смачивания в сравнении с **Д** (водно-гликолевый раствор без добавления ПАВ) и больший – в сравнении с алкоксилированными спиртами – **А**, или **Б** – этоксилированными нонилфенолами (рис. 6). Присутствие нонилфенолов в препаративных формах нежелательно по ряду причин, в том числе с точки зрения токсичности.


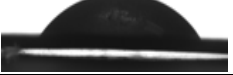


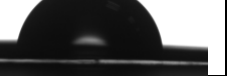
А	Б	В	Г	Д
				
36,18°	46,33°	52,12°	59,65°	75,16°

Рисунок 6 – Форма капель рабочего раствора при контакте с гидрофобной поверхностью

## 4 БИОЛОГИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ МОДЕЛЬНЫХ ОБРАЗЦОВ ПРЕПАРАТА НА ОСНОВЕ ИМАЗАМОКСА

**4.1 Биологическая эффективность препаративной формы, первичный биологический скрининг.** На основании проведенных исследований и полученных результатов о физико-химических и поверхностно-активных свойствах модельных препаратов и их рабочих растворов, нами были отобраны образцы, обеспечивающие, с нашей точки зрения, оптимальные условия доставки действующего вещества к цели. Таким образом, следующий этап работы состоял в подтверждении необходимости использования ПАВ и выбора наилучшего модельного образца. Этот этап заключался в первичной оценке биологической эффективности отобранных образцов препарата в лаборатории искусственного климата.

Дополнительно нами была проведена работа по выявлению возможного фитотоксического действия препарата на защищаемые культуры, в частности гороха и сои.

По результатам исследований биологической эффективности модельных препаратов, образец, содержащий в своем составе 25% ПАВ – этоксилированные эфиры сорбитана, показал наилучшие результаты (рис. 7). А сравнительные исследования подтвердили необходимость использования поверхностно-активных веществ в данной рецептуре, как компонентов, влияющих на биологическую эффективность.

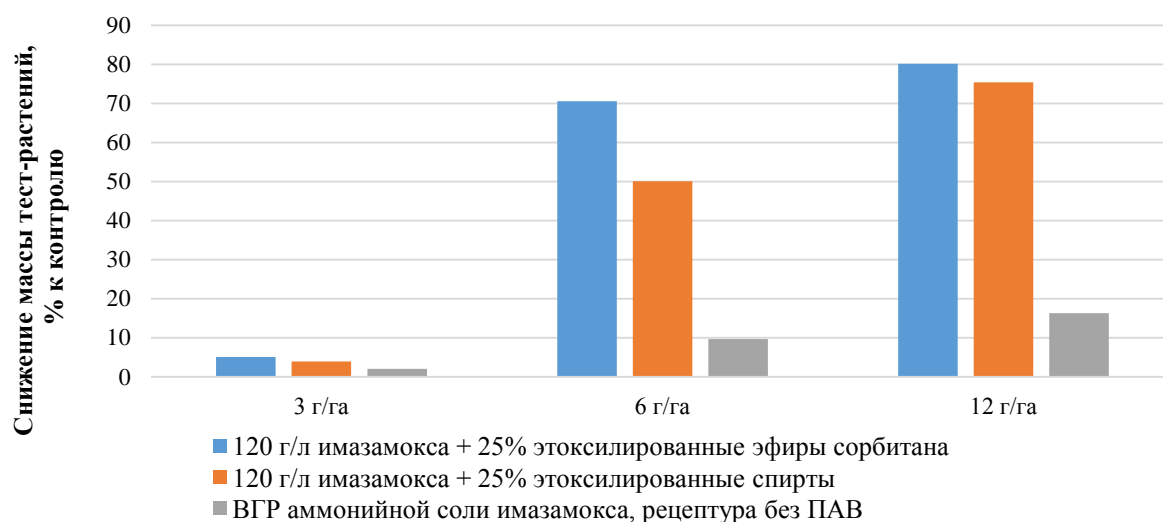


Рисунок 7 – Сравнение биологической эффективности модельных образцов препарата на основе имазамокса (120 г/л)

Сравнение  $ED_{50}$  показало, что модельный образец с поверхностно-активным компонентом на основе сурфактанта класса этоксилированных эфиров сорбитана был более эффективен, чем модельный образец, в состав которого входил ПАВ на основе этоксилированных спиртов (табл. 2).

Таблица 2 – Сравнительная эффективность модельных образцов, оцененная методом пробит-анализа (при  $P = 0,95$ )

Используемый в рецептуре ПАВ	$ED_{50}$
Этоксилированные эфиры сорбитана	6,014 (4,9415 – 7,3194)
Этоксилированные спирты	7,914 (5,8427 – 10,7181)

В результате проведенных исследований мы отобрали наиболее эффективный модельный образец. Поверхностно-активный компонент выбранного образца представлял собой полисорбат-20 монолаурат, относящийся к классам этоксилированных эфиров сорбитана. Включение в состав препарата этого ПАВ создавало оптимальные условия нанесения рабочего раствора на поверхность растений и удержания на ней. Обеспечив оптимальные условия доставки действующего вещества в растения, мы получили эффективный препарат.

**4.2 Примеси имазамокса как фактор, влияющий на его биологическую эффективность.** Применение химических средств защиты растений зачастую связано с явлением фитотоксичности, поэтому немаловажно оценить влияние

разрабатываемого препарата на защищаемую культуру. Оценку фитотоксичности исследуемых модельных образцов осуществляли на сое сорта Свапа и горохе сорта Фараон. С целью усиления фитотоксического действия было решено увеличить норму применения препарата, а также использовать образец, приготовленный на сырье более низкого качества, основной примесью которого является имазапик, значительно усиливающий негативное воздействие на защищаемые культуры. Специально приготовленный образец с 5% примесью имазапика мы сравнили с разработанным модельным препаратом. Только на горохе наблюдалось незначительное усиление фитотоксичности образца препарата, сырьем для которого был имазамокс с 5% примесью имазапика (рис. 8).

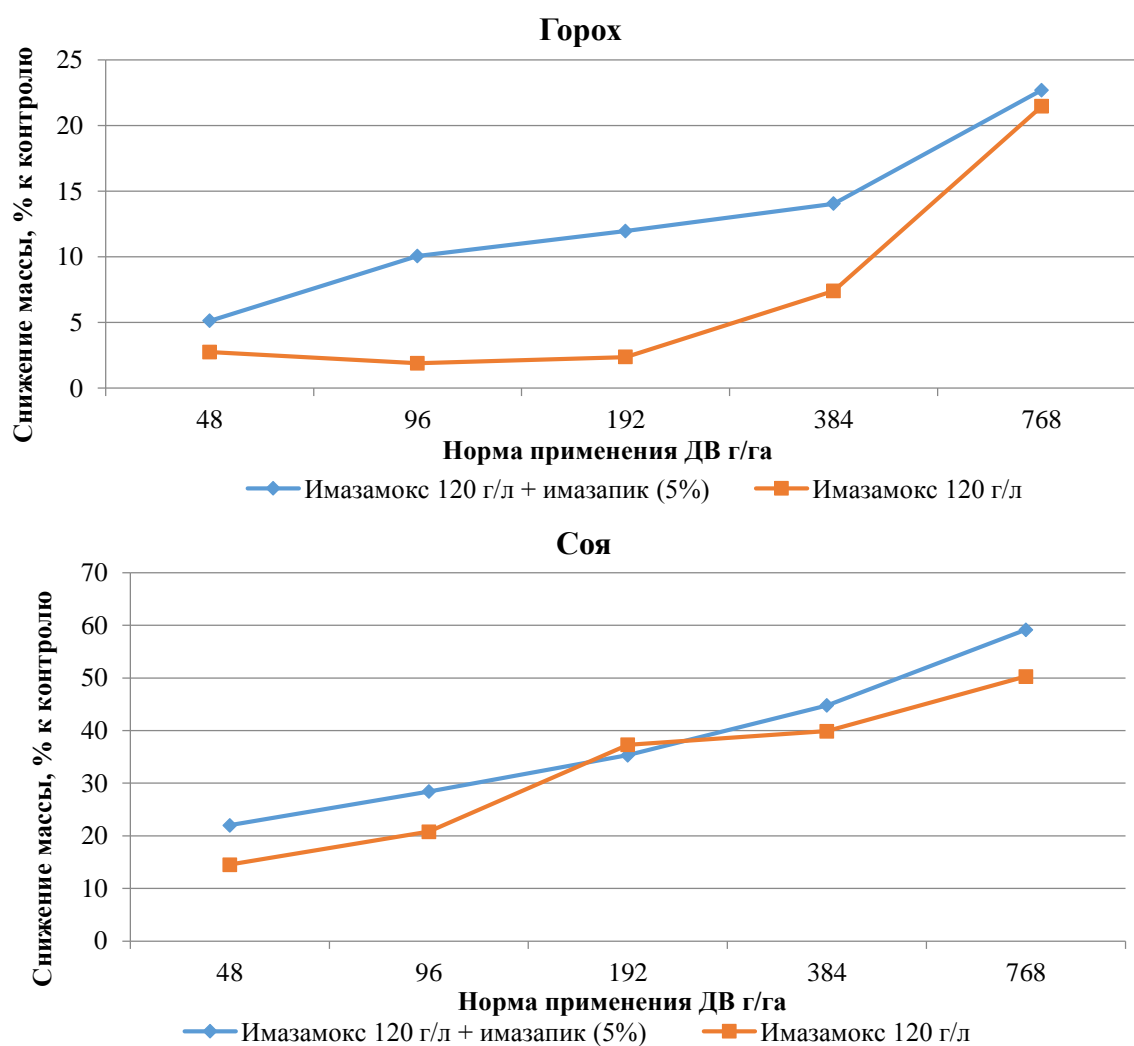


Рисунок 8 – Оценка фитотоксичности примеси имазапика на защищаемых культурах (горох и соя)

Сравнительный опыт показал незначительное повышение фитотоксичности на горохе при применении образца препарата, сырьем для которого был имазамокс, содержащий примесь имазапика в количестве 5%. Полученные результаты свидетельствуют о том, что производство препарата с высокой концентрацией действующего вещества требует тщательного контроля сырья.

Технический имазамокс, который мы используем, содержит 0,2% имазапика, что значительно ниже допустимых норм и позволяет снизить токсикологическую нагрузку на агробиоценозы, а также предотвратить нежелательные последствия применения препарата. Анализ ряда имазамокс-содержащих препаратов, представленных на отечественном рынке, показал, что в некоторых из них количество имазапика превышает установленные международными нормативами пределы.

Проведя ряд лабораторных исследований по оценке биологической эффективности нами была подтверждена целесообразность включения поверхностно-активного вещества в состав препарата. Эксперименты по оценке фитотоксичности показали, что предложенная рецептура безопасна по отношению к защищаемой культуре, при соблюдении требований качества сырья и норм применения.

## 5 ОЦЕНКА БИОЛОГИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРЕПАРАТА ПАРАДОКС, ВРК В РАЗНЫХ ПОЧВЕННО-КЛИМАТИЧЕСКИХ ЗОНАХ СТРАНЫ

На следующем этапе мы проводили оценку биологической эффективности разработанного нами препарата в борьбе с сорной растительностью на посевах сои, гороха, рапса и подсолнечника в разных почвенно-климатических зонах РФ.

**5.1 Оценка биологической эффективности препарата Парадокс, ВРК в посевах гороха.** Оценка биологической эффективности препарата Парадокс, ВРК на посевах гороха проводилась в Свердловской, Воронежской и Волгоградской областях. Основные виды сорных растений в агробиоценозах этой культуры были представлены овсягом, куриным просом, 2 видами щетинника (зеленый, сизый) ясноткой стеблеобъемлющей, оберной бехена, марью белой, дымянкой лекарственной, фиалкой полевой, одуванчиком лекарственным, щирицей запрокинутой, горчицей полевой и различными видами горца. Результаты оценки биологической эффективности препарата в борьбе с комплексом этих видов представлены на графике (рис. 9).

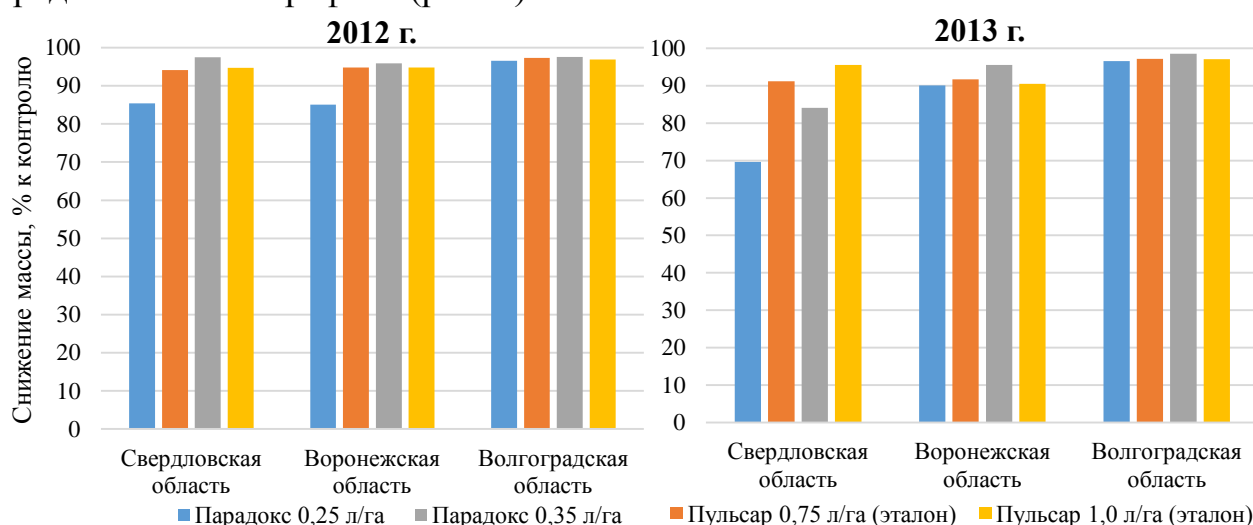


Рисунок 9 – Влияние гербицида Парадокс, ВРК (120 г/л имазамокса) на общую засоренность посевов гороха (контроль 30 дней)

Полученные данные показали, что применение препарата Парадокс, ВРК обеспечивает высокую защиту посевов гороха от сорной растительности. В Свердловской области в 2013 году было отмечено снижение эффективности в норме применения 0,25 л/га, что, видимо, было связано с засоренностью опытных делянок, менее чувствительными к действию гербицида овсюгом и куриным просом. Применение препарата в норме 0,35 л/га показывало эффективность более 80% во всех опытах, что обеспечивало прибавку урожая (рис.10). Таким образом препарат Парадокс, ВРК может быть использован в борьбе с сорными растениями на посевах гороха в нормах применения 0,25 и 0,35 л/га.

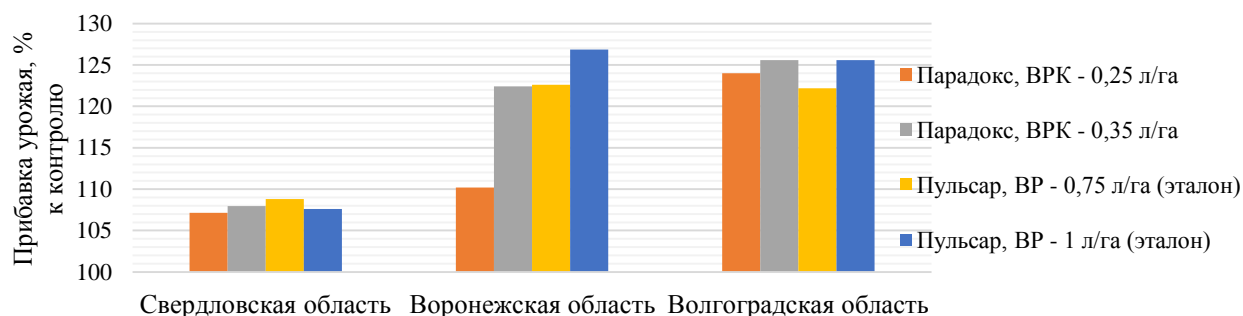


Рисунок 10 – Урожай гороха при применении на его посевах гербицида Парадокс, ВРК в борьбе с сорными растениями (средний за 2 года)

При применении препарата в максимально допустимой норме применения 0,35 л/га фитотоксического действия на защищаемую культуру не отмечалось.

**5.2 Оценка биологической эффективности препарата Парадокс, ВРК в посевах сои.** Оценку биологической эффективности препарата Парадокс, ВРК на посевах сои проводили в Алтайском крае, Белгородской и Волгоградской областях (рис. 11). Основные виды сорных растений в агробиоценозах этой культуры были представлены просом сорным, куриным просом, 2 видами щирицы (запрокинутая и жминовидная), марью белой, неслей метельчатой, вьюнком полевым, щетинником сизым, подмаренником цепким, чистецом однолетним, фиалкой полевой и горцем развесистым.

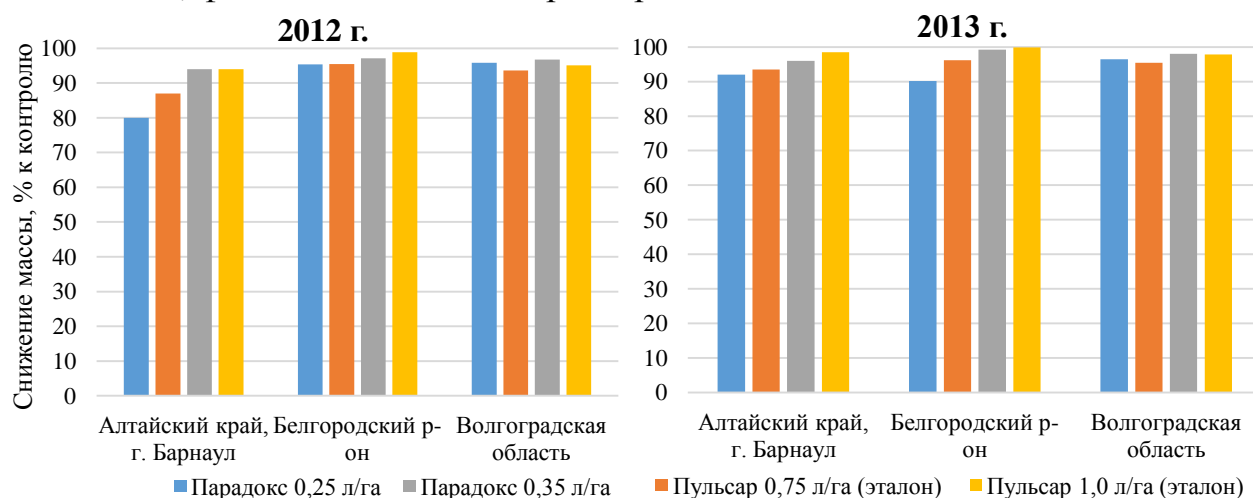


Рисунок 11 – Влияние гербицида Парадокс, ВРК на общую засоренность посевов сои (контроль 30 дней)

Как видно из рисунка 11 применение исследуемого гербицидного препарата Парадокс, ВРК для защиты посевов сои обеспечило стабильную, высокую эффективность против сорных растений. В обеих нормах применения гербицид Парадокс, ВРК в большинстве случаев показал эффективность более 90%, а в Белгородской области мы наблюдали снижение массы сорных растений относительно контроля на 99%. Во всех вариантах исследований наблюдалась прибавка урожая (рис. 12). Таким образом препарат Парадокс, ВРК может быть использован в борьбе с сорными растениями на посевах сои в нормах применения 0,25 и 0,35 л/га.

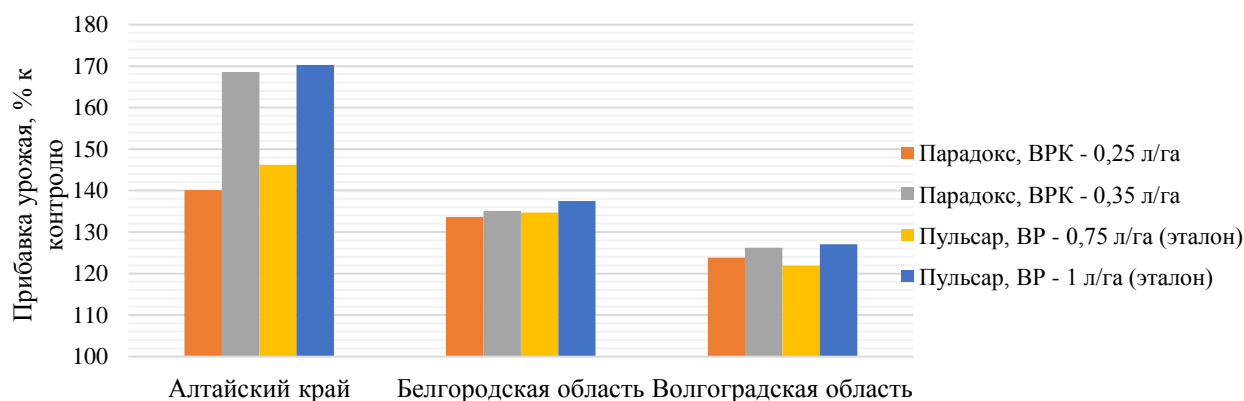


Рисунок 12 – Урожай сои при применении на её посевах гербицида Парадокс, ВРК в борьбе с сорными растениями (средний за 2 года)

При применении препарата в максимально допустимой норме 0,35 л/га фитотоксического действия на защищаемую культуру не отмечалось.

**5.3 Оценка биологической эффективности препарата Парадокс, ВРК в посевах подсолнечника.** Исследование биологической эффективности препарата Парадокс, ВРК на посевах подсолнечника проводили в Алтайском крае, Астраханской и Тамбовской областях. Основные виды сорных растений в агробиоценозах этой культуры были представлены просом куриным, щетинником зеленым, марью белой, пикульником двураздельным, гречишкой вьюнковой, бодяком щетинистым, вьюнком полевым, пасленом черным, канатником Теофраста, портулаком огородным, солянкой южной, щирицей запрокинутой, горчицей полевой. Результаты оценки биологической эффективности гербицида представлены на рисунке 13.

Применение гербицидного препарата Парадокс, ВРК на устойчивом к имидазолинонам гибриде подсолнечника обеспечило высокий уровень защиты посевов, результаты по двум годам исследований в Алтайском крае и Тамбовской области были не ниже 80%. Однако в Астраханской области отмечено ослабление гербицидного действия имидазолинонов, в том числе эталонного препарата, содержащего, помимо селективного имазамокса, гербицид сплошного действия имазапир.



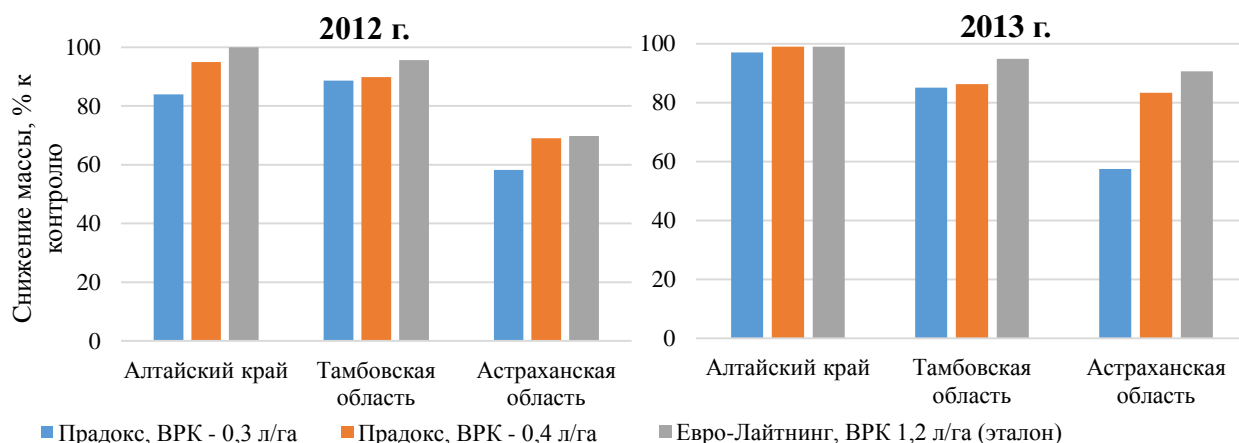


Рисунок 13 – Влияние гербицида Парадокс, ВРК на общую засоренность посевов подсолнечника (контроль 30 дней)

Несмотря на это, во всех вариантах исследований наблюдалось увеличение урожая, на рисунке 14 отображены усредненные данные за 2 года исследований.

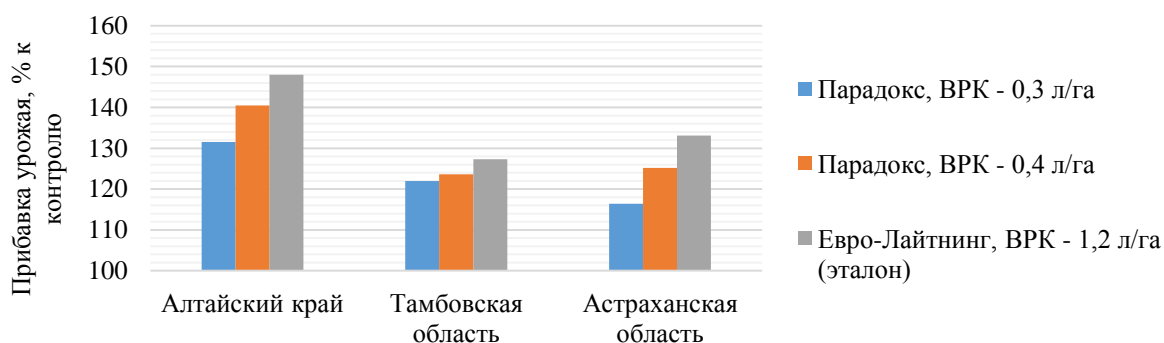


Рисунок 14 – Урожай подсолнечника при применении на его посевах гербицида Парадокс, ВРК в борьбе с сорными растениями (средний за 2 года)

На устойчивые к имидазолиномам гибриды подсолнечника препарат фитотоксического действия не оказывает, урожайность во многом зависит от чистоты поля. Таким образом препарат Парадокс, ВРК может быть использован в борьбе с сорными растениями на посевах подсолнечника в нормах применения 0,3 и 0,4 л/га.

**5.4 Оценка биологической эффективности препарата Парадокс, ВРК в посевах рапса.** Применение гербицидного препарата Парадокс, ВРК, с целью оценки биологической эффективности, на посевах рапса ярового проводили в Белгородской, Волгоградской и Калужской областях. Основные виды сорных растений в агробиоценозах этой культуры были представлены щетинником сизым, куриным просом, подмаренником цепким, щирицей запрокинутой, чистецом однолетним, марью белой, 2 видами горца (почечуйный и щавелелистный), фиалкой полевой, ромашкой непахучей, ярутка полевой, торицей полевой, пикульником обыкновенным. Результаты оценки эффективности препарата Парадокс, ВРК представлены на рисунке 15.

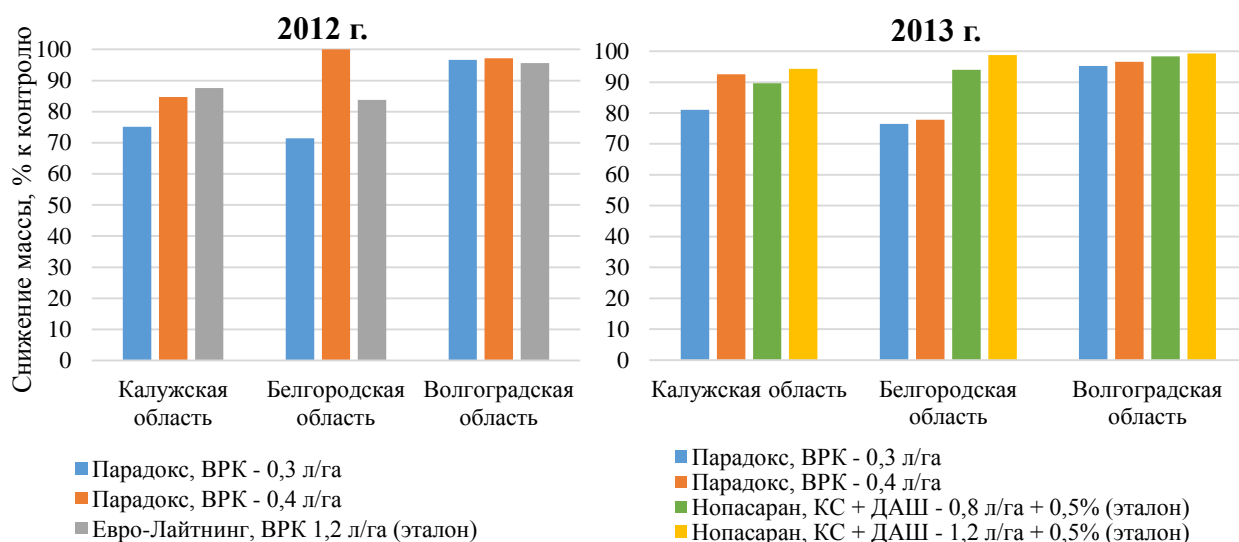


Рисунок 15 – Влияние гербицида Парадокс, ВРК на общую засоренность посевов рапса ярового (контроль 30 дней)

Как видно из рисунка 15 эффективность гербицидного препарата Парадокс, ВРК, в минимальной норме (0,3 л/га) была в среднем на уровне 80%, но не ниже 70%. Интересно отметить что в качестве эталонных препаратов, помимо гербицида Евро-Лайтнинг на основе имазамокса и имазапира, нами был использован препарат Нопасаран, в комбинации с адъювантом ДАШ (продукты BASF), содержащий, помимо имазамокса, метазахлор, относящийся к другому химическому классу и обладающий иным механизмом действия. Полученные результаты исследований, на фоне эталонных препаратов, показали, что по своему гербицидному действию препарат Парадокс, ВРК практически не уступает гербициду Нопасаран, при этом в условиях, когда почвенное применение препарата Нопасаран невозможно (погодные условия или появление второй волны сорных растений), препарат Парадокс, ВРК, применяемый по вегетации, обеспечит должную защиту посевов рапса. Результаты оценки урожая посевов рапса представлены на рисунке 16.

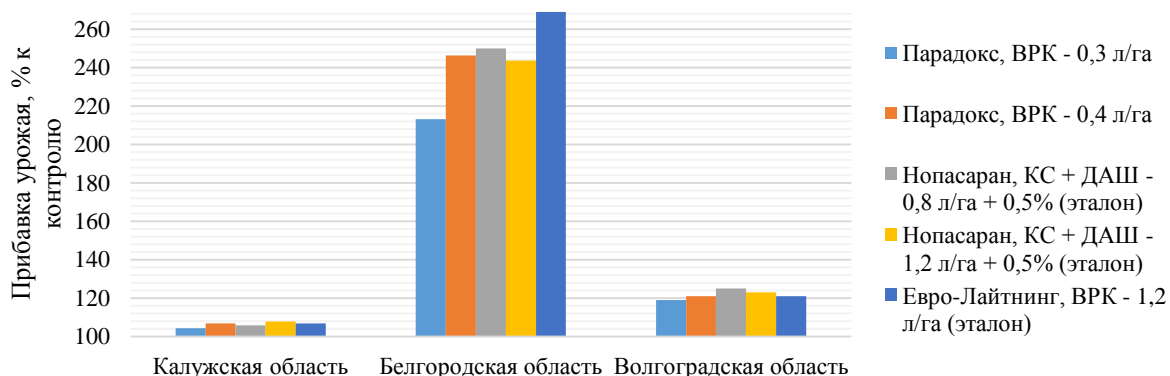


Рисунок 16 – Урожай рапса при применении на его посевах гербицида Парадокс, ВРК в борьбе с сорными растениями (средний за 2 года)

Применение гербицидных препаратов для защиты посевов рапса от сорной растительности оказали существенное влияние на урожайность этой культуры в Белгородской области, в остальных исследуемых зонах прибавка урожая также

наблюдалась, но не такая явная. Таким образом препарат Парадокс, ВРК может быть использован в борьбе с сорными растениями на посевах ярового рапса в нормах применения 0,3 и 0,4 л/га.

В ходе исследований биологической эффективности препарата Парадокс, ВРК (120 г/л) в различных регионах нашей страны было показано, что большинство видов сорных растений, встречающихся в посевах защищаемых культур, проявляют высокую чувствительность к этому гербициду.

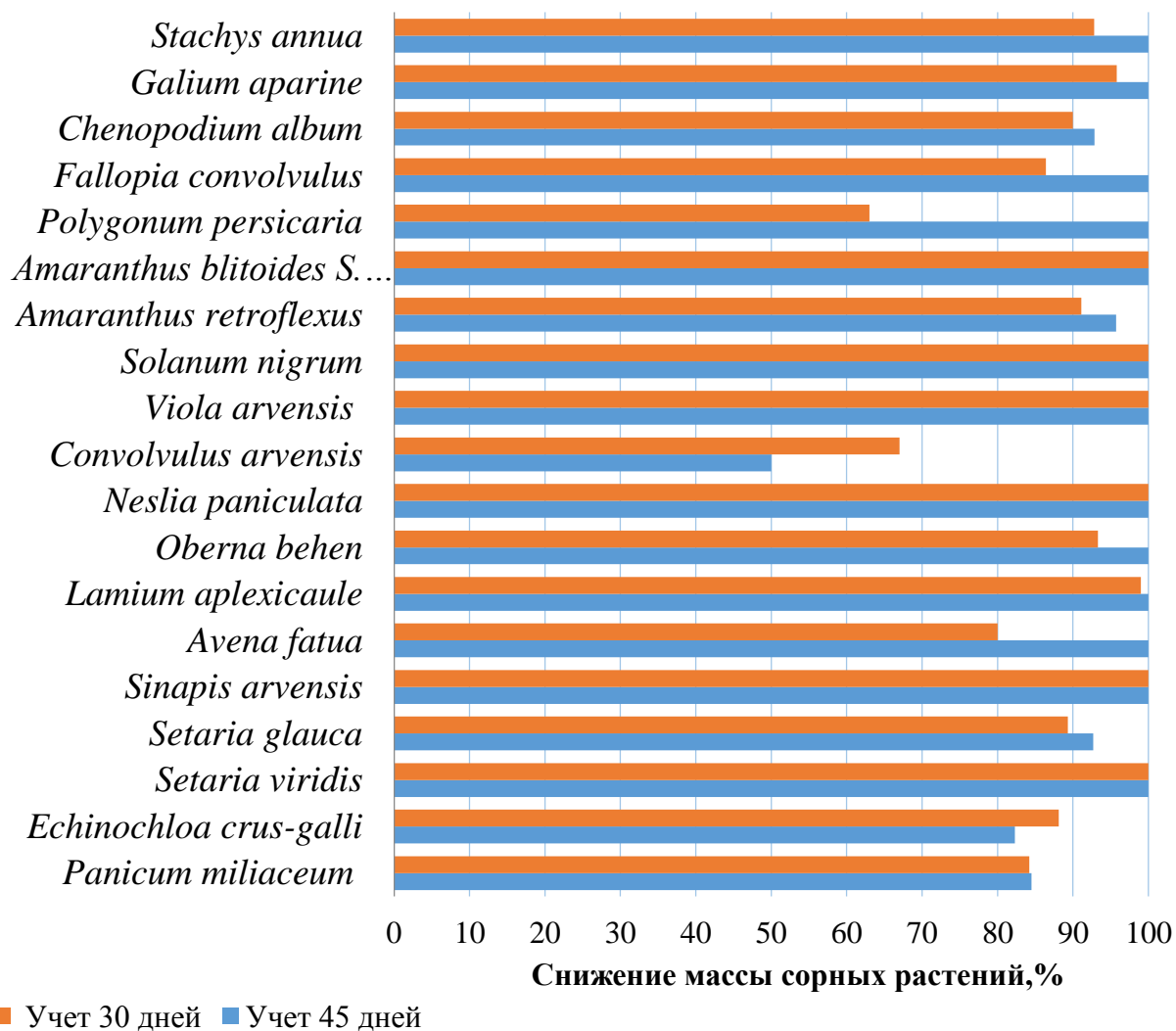


Рисунок 17 – Чувствительность видов сорных растений к гербицидному препарату Парадокс, ВРК (120 г/л имазамокса)

Максимально восприимчивыми к гербициду Парадокс, ВРК были виды: щетинник зеленый (*Setaria viridis*), горчица полевая (*Sinapis arvensis*), неслия метельчатая (*Neslia paniculata*), фиалка полевая (*Viola arvensis*), паслен черный (*Solanum nigrum*) и щирица жминдовидная (*Amaranthus blitoides*). Биологическая эффективность препарата Парадокс в отношении подавляющего большинства видов сорных растений на 45 сутки составляла не менее 100%, однако в посевах защищаемых культур встречались и менее чувствительные к действию гербицида виды, такие как вьюнок полевой, горец почечуйный, виды проса (рис. 17).

**5.5 Возможность комбинации препарата Парадокс, ВРК с препаратом Грейдер, ВГР (250 г/л имазапира).** Проблема присутствия в посевах защищаемых культур устойчивых к имазамоксу сорных видов растений, была решена применением баковой смеси с препаратом Грейдер, ВГР в посевах устойчивых к имидазолинонам культур. Опыты по изучению биологической эффективности комбинации препаратов Парадокс, ВРК и Грейдер, ВГР проводили в 2012 – 2013 годах в Краснодарском крае на посевах озимого рапса. В качестве эталонных препаратов были использованы: в случае осеннего применения Бутизан 400, КС (400 г/л метазахлора); и в случае весеннего применения Евро-Лайтнинг (33 г/л имазамокса + 15 г/л имазапира). Результаты оценки биологической эффективности комбинации гербицидных препаратов Парадокс, ВРК и Грейдер, ВГР представлены в таблицах 3 (осеннее применение) и 4 (весеннее применение).

Таблица 3 – Влияние гербицида Парадокс, ВРК и комбинации с препаратом Грейдер, ВГР на общую засоренность посевов озимого рапса (осеннее применение)

Вариант	Время учета	Рапс озимый	
		Снижение количества и массы сорных растений, % к контролю	
		Количество	Масса
Парадокс, ВРК – 0,3 л/га	осенний	67,8	68,7
	весенний	88,9	91,5
Парадокс, ВРК – 0,4 л/га	осенний	72,8	74,8
	весенний	83,7	95,7
Грейдер, ВГР +Парадокс, ВРК – 75 мл/га+300 мл/га	осенний	74,2	76,2
	весенний	94,4	96,9
Грейдер, ВГР +Парадокс, ВРК – 120 мл/га+400 мл/га	осенний	79,8	82,3
	весенний	100	100
Бутизан 400, КС – 1,5 л/га	осенний	68,2	70,7
	весенний	90,0	92,4
Бутизан 400, КС – 2,0 л/га	осенний	73,6	75,9
	весенний	95,3	97,3
Контроль*	осенний	82,5	34,5
	весенний	91,6	721,3

\*Значения количества и массы сорных растений в контроле указаны в экз/м<sup>2</sup> и граммах соответственно.

Таблица 4 – Влияние гербицида Парадокс, ВРК и комбинации с препаратом Грейдер, ВГР на общую засоренность посевов озимого рапса (весеннее применение)

Вариант	Время учета	Рапс озимый	
		Снижение количества и массы сорных растений, % к контролю	
		Количество	Масса
Парадокс, ВРК – 0,3 л/га	30 дн.	86,9	89,7
	45 дн.	85,7	87,5
Парадокс, ВРК – 0,4 л/га	30 дн.	91,9	95,6
	45 дн.	90,6	93,9
Грейдер, ВГР +Парадокс, ВРК – 75 мл/га+300 мл/га	30 дн.	92,8	96,8
	45 дн.	91,7	94,6
Грейдер, ВГР +Парадокс, ВРК – 120 мл/га+400 мл/га	30 дн.	100	100
	45 дн.	100	100
Евро-Лайтнинг, ВР (г/л) – 1,0 л/га	30 дн.	93,9	97,5
	45 дн.	92,9	95,7
Евро-Лайтнинг, ВР (г/л) – 1,2 л/га	30 дн.	100	100
	45 дн.	100	100
Контроль*	30 дн.	84,9	594
	45 дн.	82,1	785

\*Значения количества и массы сорных растений в контроле указаны в экз/м<sup>2</sup> и граммах соответственно

Как видно из данных таблиц 4 и 5, как осеннее, так и весеннее применение комбинации препаратов Парадокс, ВРК (400 мл/га) и Грейдер, ВГР (120 мл/га) позволило на 100% очистить поле от сорных растений и обеспечить защиту озимого рапса на протяжении всего периода вегетации защищаемой культуры.

## 6 ОЦЕНКА ЭКОЛОГО-ТОКСИКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРЕПАРАТА

**6.1 Действие имазамокса и препарата на окружающую среду. Класс опасности.** Разработанный препарат Парадокс, ВРК (120 г/л имазамокса) был исследован совместно с ФБУН «ФНЦГ им. Ф.Ф. Эрисмана» и Факультетом почвоведения МГУ. Опыты по разложению и сорбции-десорбции проводились в стандартных лабораторных условиях по международным, принятым методикам и схемам (ОЭСР, 2002; Руководство ЕРА, 1982). По модели PEARL была проведена оценка поведения препарата в почве и в воздухе при стандартных российских сценариях почвенно-климатических условий. Как показали исследования, аккумуляция значимых количеств имазамокса или его метаболитов в почве при применении препарата на одном и том же поле в течение нескольких лет подряд практически исключено, риск загрязнения атмосферного воздуха имазамоксом отсутствует. По результатам оценки

уровней концентраций имазамокса в поверхностных водах с применением комплекса моделей FOCUS (Step 1 – 2) и SWASH (Step 3) установлено, что загрязнение поверхностных вод имазамоксом также, практически, исключено.

**6.2 Токсикологические характеристики действующего вещества и препарата.** В результате исследований действия препарата на живые организмы было показано, что препарат не токсичен по отношению к млекопитающим, рыбам, птицам и пчелам. Острая пероральная токсичность ЛД<sub>50</sub> для крыс более 10000 мг/кг. При оценке влияния препарата на теплокровных животных не выявлено мутагенного, онкогенного, тератогенного и эмбриотоксического эффектов. Препарат относится к 3 классу опасности, т.е. к умеренно опасным соединениям.

### Заключение

1. На основе анализа научной литературы и экспериментальных исследований разработан отечественный гербицидный препарат Парадокс, ВРК (120 г/л имазамокса) для борьбы с сорными растениями (однолетние злаковые и двудольные) на посевах бобовых (горох, соя) и масличных культур (рапс и подсолнечник).

2. Результаты изучения физико-химических свойств действующих веществ имидазолинонового ряда позволили создать на основе имазамокса препаративную форму - водорастворимый концентрат. Исследования совместимости компонентов разработанной препаративной формы позволили создать 20 модельных образцов препарата на основе имазамокса и включить в рецептуру современные сурфактанты.

3. На основе исследований поверхностно-активных характеристик (поверхностное натяжение, краевой угол смачивания), разработанных модельных образцов препарата и их рабочих растворов, в состав препарата включен современный поверхностно-активный компонент – этоксилированный эфир сорбитана, обеспечивающий оптимальное взаимодействие рабочего раствора с листовой поверхностью сорных растений (смачивание, удерживание, проникновение, медленное испарение).

4. Первичный биологический скрининг в лаборатории искусственного климата позволил на этапе исследований отобрать для дальнейших, полевых испытаний наиболее эффективный образец препарата, обладающий низкой фитотоксичностью по отношению к защищаемым культурам. Разработанный препарат Парадокс показал эффективность более 80% при полевых исследованиях в различных регионах страны и был безопасен для защищаемых культур.

5. На основании результатов, полученных в ходе токсиколого-гигиенической и экологической оценки разработанного препарата, была подтверждена его низкая токсичность по отношению к млекопитающим, птицам, пчелам. Препарат отнесен к 3 классу опасности – умеренно опасное соединение.

6. На основании проведенных исследований разработаны регламенты эффективного и безопасного применения гербицидного препарата Парадокс,

ВРК для защиты бобовых культур (соя и горох, кроме овощного горошка) в нормах применения 0,25 – 0,35 л/га и масличных культур (рапс и подсолнечник на семена и масло, сорта и гибриды устойчивые к имидазолинонам) в нормах применения 0,3 – 0,4 л/га, против однолетних злаковых и двудольных сорных растений. Опрыскивание посевов следует проводить в ранние фазы роста сорных растений (2 – 4 листьев) и 4 – 5 настоящих листьев у культуры.

**Практические рекомендации.** На препарат Парадокс, ВРК (120 г/л имазамокса) получено Свидетельство о государственной регистрации сроком на 10 лет №021-03-342-1. Препарат разрешён для применения в качестве гербицида на всей территории Российской Федерации. Для получения стабильных урожаев бобовых и масличных культур, повышения эффективности их производства целесообразно применять препарат Парадокс для борьбы с однолетними злаковыми и двудольными сорными растениями в установленных регламентах. Препарат Парадокс, ВРК (120 г/л имазамокса) производится в филиале ЗАО Фирма "Август" "Вурнарский завод смесевых препаратов", успешно реализуется и применяется на площади свыше 128 000 га на посевах бобовых и масличных культур.

#### **Список опубликованных работ по теме диссертации**

В рецензируемых журналах Перечня ВАК:

1. **Большов, А.В.** Биологическая эффективность гербицида Парадокс / А.В. Большов, Л.М. Нестерова, В.И. Долженко // Защита и карантин растений. – 2016. – №10. – С. 44-46.

2. **Большов, А.В.** Эффективность применения нового препарата на основе имазамокса для защиты озимого рапса в Северо-Кавказском регионе / А.В. Большов, Л.М. Нестерова, В.И. Долженко // Плодородие. – 2017. – №6. – С. 10-12.

В остальных изданиях:

3. **Большов, А.В.** Разработка гербицидного препарата на основе имазамокса и его биологическая эффективность / А.В. Большов, В.И. Долженко, Л.М. Нестерова // Аграрная наука – сельскохозяйственному производству Сибири, Монголии, Казахстана и Болгарии: матер. XVII международной конф. – Новосибирск, 2014. – С. 52-53.

4. **Большов, А.В.** Разработка отечественного гербицидного препарата на основе имазамокса и его биологическая эффективность / А.В. Большов, Л.С. Елиневская, Л.М. Нестерова, В.И. Долженко // Сорные растения и пути ограничения их вредоносности: матер. международной конф. – Минск (Прилуки), 2015. – С. 18-20.

5. **Большов, А.В.** Современный подход к разработке нового гербицидного препарата на основе имазамокса / А.В. Большов, Л.М. Нестерова, Л.С. Елиневская, В.И. Долженко // Современные проблемы гербологии и оздоровления почв: матер. международной конф. – Большие Вяземы, 2016. – С. 17-22.