На правах рукописи

ЗАХАРОВ СЕРГЕЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ

БИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ ПРИМЕНЕНИЯ ИМИДАЗОЛИНОНОВЫХ ГЕРБИЦИДОВ В ПОСЕВАХ ЗЕРНОБОБОВЫХ КУЛЬТУР

Специальность 06.01.11 – защита растений

АВТОРЕФЕРАТ ДИССЕРТАЦИИ
на соискание учёной степени
кандидата биологических наук

Большие Вязёмы - 2003

Работа выполнена в отделе гербологии Всероссийского научно-исследовательского института фитопатологии РАСХН.

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ:

заслуженный деятель науки РФ,
член-корреспондент РАСХН,
доктор биологических наук,
профессор Ю.Я. Спиридонов

ОФИЦИАЛЬНЫЕ ОППОНЕНТЫ:

академик РАСХН,
доктор биологических наук,
профессор М.С. Соколов

кандидат биологических наук,
ведущий научный сотрудник В.С. Горбатов

ВЕДУЩЕЕ УЧРЕЖДЕНИЕ:

Факультет почвоведения Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова.

Защита диссертации состоится 25.06 2003 г. в 10 часов на заседании диссертационного совета К 006-064.01 при Всероссийском научно-исследовательском институте фитопатологии по адресу: 143050 Большие Вязёмы Одинцовского района Московской области.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ВНИИФ.

Автореферат разослан 24.05 2003 г.

Учёный секретарь
диссертационного совета -
кандидат биологических наук Яковлева И.Н.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Значение в народном хозяйстве зернобобовых культур трудно переоценить. Они играют огромную роль как в кормопроизводстве, так в пищевой и непищевой промышленности.

Несмотря на большое народнохозяйственное значение зернобобовых культур, их урожайность в нашей стране невелика - в 2-2,5 раза ниже, чем в среднем в мире. В немалой степени это связано с широким распространением сорняков, которые, конкурируя с культурными растениями, существенно снижают величину и качество урожая (Захаренко В.А., Спиридонов Ю.Я., Захаренко А.В., 2001).

Наиболее приемлемым и экологически безопасным путём снижения засорённости посевов является комплекс предупредительных и агротехнических мероприятий (Баздырев Г.И., 1995). Однако многолетние исследования и широкая практика хозяйств убедительно показывают, что только агротехническими приёмами невозможно защитить, в частности, посевы сои от сорняков, нужны гербициды (Дряхлов А.И., 2001).

К настоящему времени для использования на посевах бобовых, особенно сои, было зарегистрировано более 30 гербицидных препаратов (Доронин В.Г. 1998), но большинство из них не способно полностью решить проблему засорённости. Так, Базагран уничтожает только двудольные сорняки, Фюзилад-супер - злаковые, Гезагард можно применять только до всходов культуры, в то время как большинство сорняков появляются гораздо позже. Универсальными в этом плане можно считать недавно появившиеся в нашей стране гербициды последнего поколения из класса имидазолинонов Пивот и Пульсар. Если Пивот с 1996 года используется в РФ на посевах сои и гороха, и многие вопросы его применения уже изучались в работах Спиридонова, Угрюмова, Саввы, Дряхлова и др., то Пульсар является абсолютно новым гербицидом для нашей страны, находящимся на момент начала наших исследований на стадии регистрации Госхимкомиссией Российской Федерации.

Иностранные литературные источники свидетельствуют о высокой гербицидной активности Пульсара в низких дозах применения, а также о возможности его негативного воздействия на защищаемую культуру и последействия на чувствительные культуры севооборота в зависимости от почвенно-климатических условий. Поэтому широкое внедрение Пульсара в сельскохозяйственную практику нашей страны было бы неоправданным и опасным без всестороннего предварительного научного исследования.

Цель работы. Изучение биологической активности и экологических последствий от применения имидазолиноновых гербицидов Пульсара и Пивота в различных почвенно-климатических условиях нашей страны.

Задачи исследования.

1. Изучение гербицидного спектра действия Пульсара.
2. Выявление устойчивых культур из семейства бобовых к имидазолиноновым гербицидам.
3. Изучение чувствительности некоторых зернобобовых культур в зависимости от сорта и фазы развития в момент обработки имидазолиноновыми гербицидами.
4. Изучение технической и хозяйственной эффективности гербицидов Пульсар и Пивот в полевых условиях.
5. Изучение поведения в почве д.в. Пульсара (имазамокса) и д.в. Пивота (имазетапира).
6. Изучение последействия имидазолиноновых гербицидов на последующие культуры севооборота.

Научная новизна. Пульсар является новым и неизученным гербицидом в нашей стране. Адаптирован и модифицирован аналитический метод определения остатков имазамокса (д.в. Пульсара) и имазетапира (д.в. Пивота) в почве и элементах урожая, разработана биоиндикационная шкала для установления уровня фитотоксичности почв, обработанных имидазолиноновыми гербицидами. В работе дана комплексная оценка гербицида Пульсар в сравнении с Пивотом, исследовано их воздействие на

сорные и культурные растения, а также поведение остаточных количеств имазамокса и имазетапира в почве с последующим действием на чувствительные культуры севооборота. Впервые изучена сортовая и фазовая чувствительность некоторых зернобобовых культур к имидазолиноновым гербицидам.

Практическая значимость. Аналитический метод определения имазамокса и имазетапира в объектах окружающей среды (почва, вода, элементы урожая) прошёл соответствующую экспертизу и принят Госхимкомиссией и Минздравом России в качестве официального для *практического применения*. По результатам всесторонних исследований были определены устойчивые зернобобовые культуры к изучаемым гербицидам, оптимальные сроки, дозы и условия применения Пульсара и Пивота, способствующие их максимальной эффективности.

Апробация работы. Основные положения диссертации изложены на втором Всероссийском научно-производственном совещании «Состояние и развитие гербологии на пороге XXI столетия» (Голицыно, 2000); на Международной научно-практической конференции «Состояние и перспективы развития люпиносеяния в XXI веке» (Брянск, 2001); на Международной конференции «Методико-биологические проблемы экологической безопасности АПК» (Сергиев Посад, 2001).

Публикации. По результатам диссертационной работы опубликовано 8 научных работ.

Структура и объём работы. Диссертация состоит из введения, 6 глав, выводов, рекомендаций производству, списка использованной литературы, приложений. Работа изложена на 136 страницах машинописного текста, содержит 58 таблиц, 23 рисунка, 16 приложений. Список литературы включает 121 библиографических названий, из них 46 на иностранных языках.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Введение. Обоснована актуальность проблемы и её научная новизна, а также поставлены цель и задачи исследования.

Глава 1. Обзор литературы

В главе рассматриваются литературные данные о народнохозяйственном значении зернобобовых культур, описывается вред, причиняемый сорными растениями. Кратко освещены основные методы регулирования сорного ценоза, в том числе, и химический. Также обсуждается поведение гербицидов в агроландшафте, возможные пути и механизмы их детоксикации, перечислены требования, предъявляемые к современным гербицидам. Дана подробная характеристика разных представителей класса производных имидазолинона.

Глава 2. Объекты и методы исследования

Объекты исследования. В главе подробно описываются физико-химические и экотоксикологические свойства действующих веществ: имазамокса (д.в. Пульсара) и имазетапира (д.в. Пивота).

Методы исследования.

Вегетационные опыты проводились в условиях лаборатории искусственного климата (ЛИКа). Тест-растения выращивали в бумажных парафинированных стаканчиках диаметром 100 мм, вместимостью 600 см^3, заполненных почвой, просеянной через сито с диаметром отверстий 5 мм. При почвенном внесении гербицида использовалась дерново-подзолистая почва типичная для южно-таежной зоны РФ (Московская область). При опрыскивании по всходам использовали искусственную смесь, включающую в равных пропорциях дерново-подзолистую почву, песок и торф (1:1:1). При выращивании культур в камере поддерживался контролируемый режим: освещённость 20 тыс. люкс в течение 16 часов, без освещения – 8 часов в сутки; температура 25^{0}С и 20^{0}С соответственно в светлый и тёмный периоды суток; влажность воздуха 70%; ежедневный полив обессоленной водопроводной водой на уровне 60% от полевой влагоёмкости (ПВ). Для обработки гербицидами

почвы и вегетирующих растений в вазонах использовался экспериментальный опрыскиватель, разработанный и изготовленный в отделе гербологии ВНИИФ (Богданов и др., 1985, Никитин и др., 2003), с расходом рабочей жидкости при обработке почвы- 250 л/га, а при опрыскивании вегетирующих растений – 400 л/га; повторность пятикратная. Продолжительность вегетационных опытов в зависимости от культуры 28-32 сут. Учёт результатов опыта осуществляется путём срезания надземных частей растений и определения их сырой массы. Эффективность гербицида оценивается по проценту отклонения сырой массы обработанных вариантов от контроля.

Полевые опыты проводились в условиях Московской, Амурской и Калининградской областях, согласно «Методическим указаниям по полевому испытанию гербицидов в растениеводстве», 1985. Изучалось применение Пульсара 4% в.р. в дозах 0,5-1 л/га и Пивота 10% в.к. в дозах 0,5-1 л/га при довсходовой и послевсходовой обработках в различные фазы развития культур. Площадь опытной делянки 20 м^2, повторность 4-х кратная. Учёт засорённости проводился количественно-весовым методом.

Лабораторные опыты. Для изучения экологических последствий от применения имидазолиноновых гербицидов был использован метод высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ) для определения остатков имазамокса и имазетапира в почве и элементах урожая. За основу была взята предложенная фирмой «Цианамид» методика по определению имазамокса, в которой нами были изменены фаза очистки проб (подбор более доступных растворителей) и, в связи с этим, некоторые условия хроматографирования (длина волны, состав подвижной фазы и пр.). Условия хроматографирования: хроматограф “Beckman System Gold”, насос типа 116, УФ-детектор Kratos757; колонка для ВЭЖХ Ultrasphere ODS, 4,6x250 мм, с зернением 5 мкм. Длина волны равна 254 нм. Аттеньюация – 0,01-0,02 ед. абсорбции на шкалу. Вводимый объем пробы – 100 мкл. Подвижная фаза, предварительно подвергнутая дегазации, – ацетонитрил+ вода+1%-ный водный раствор уксусной кислоты (17+82+1 по объему). Изменённая длина волны

позволила детектировать данным методом одновременно в одной пробе как имазамокс, так и имазетапир. Это обстоятельство способствовало сокращению объема работ вдвое при изучении смеси этих двух препаратов.

Принцип анализа образцов почвы подробно изложен в наших публикациях (Ларина Г.Е., Спиридонов Ю.Я., Захаров С.А., и др. 2001).

Для расчётов остаточных количеств гербицидов использовали градуировочный график или уравнение: $H=206{,}39 \cdot C+1{,}79$; $R^2=0{,}88$ (для имазамокса); $H=115{,}37 \cdot C+0{,}26$; $R^2=0{,}98$ (для имазетапира), где H - высота хроматографического пика, мм; C - концентрации д.в. в растворе, мкг/мл.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Глава 3. Фитотоксичность гербицидов

В условиях ЛИКа был заложен опыт с набором культур, представляющих различные ботанические семейства (бобовые, гречишные, злаковые, крестоцветные, маревые, паслёновые, тыквенные).

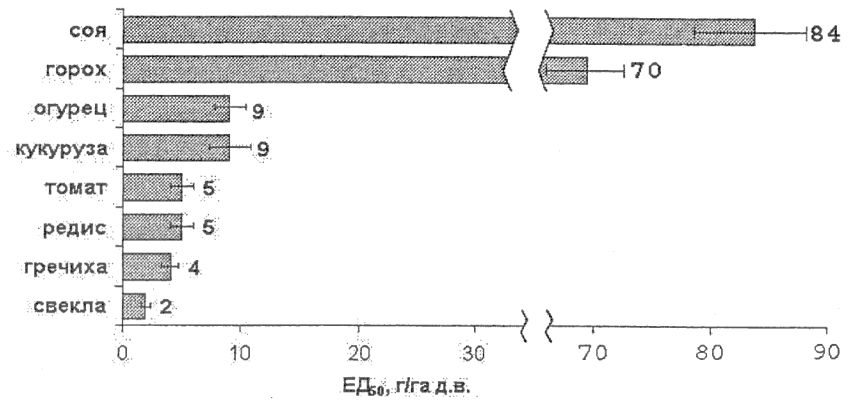
В результате большинство испытанных видов проявило высокую чувствительность к Пульсару (рис.1) при прямом опрыскивании вегетирующих растений.

По показателю эффективной дозы препарата, снижающей массу растений на 50% ($ЕД_{50}$) заметно выделяются из общей группы горох и соя. Их значения $ЕД_{50}$ в 10 и более раз превышают таковые для остальных культур. Это даёт основание считать горох и сою относительно устойчивыми культурами, на которых возможно применение Пульсара.

Важное значение имеет вопрос остаточного последействия Пульсара на культуры севооборота. С этой точки зрения представляют интерес результаты опыта с предпосевной обработкой почвы, где в качестве характеристического показателя использовали $ЕД_{10}$ (угнетение роста растений на 10%), характеризующий уровень предельно допустимой концентрации ($ПДК_ф$)

Рисунок 1

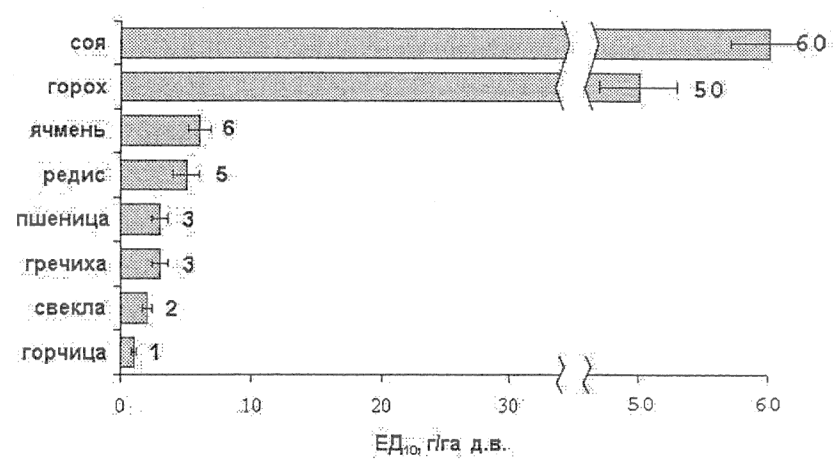
Чувствительность культур к Пульсару при обработке вегетирующих растений



гербицида для растения. Большинство испытанных культур (рис.2) проявили высокую чувствительность к гербициду ($ЕД_{10}$=1-6 г/га д.в.), особенно горчица белая. Как и в предыдущем опыте, относительная устойчивость отмечена на горохе и сое ($ЕД_{10}$=50-60 г/га д.в.).

Рисунок 2

Чувствительность культур к Пульсару при допосевной обработке почвы



Имидазолиноновые гербициды отличаются узкой специфичностью по отношению к разным культурам, поэтому нами были проведены исследования по выявлению относительно устойчивых, помимо гороха и сои, дополнительных культур из семейства бобовых, на которых возможно использование Пульсара или Пивота.

Результаты опытов показали, что испытываемые культуры условно можно разделить на следующие группы по уровню чувствительности ($ЕД_{10}$, г/га д.в.) к имидазолиноновым гербицидам (Пульсар/*Пивот):

- высокочувствительные – вика яровая (2/*2);
- чувствительные - козлятник, клевер ползучий, лядвенец рогатый, люцерна посевная (5-9/*13-20);
- среднечувствительные – люпин узколистный (16/*27);
- относительно устойчивые – горох, соя, бобы кормовые (30-34/*82-103).

Итак, экспериментально установлена ещё одна устойчивая к Пульсару и Пивоту культура – бобы кормовые.

Следующим шагом наших исследований стало изучение уровня устойчивости защищаемой культуры к имидазолиноновым гербицидам в зависимости от используемого сорта, а также фазы развития культурных растений в момент обработки.

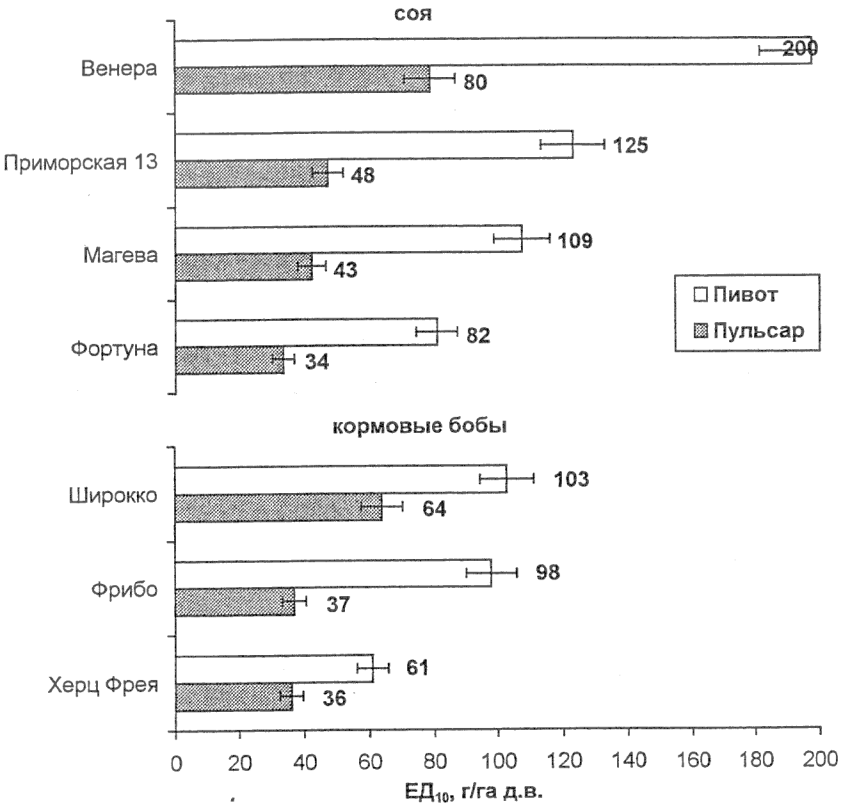
В ходе опытов было установлено, что устойчивость разных сортов одной культуры к изучаемым гербицидам неодинакова (рис.3). Ранжированные сорта сои по чувствительности к Пульсару и Пивоту совпадают и образуют следующий ряд по увеличению устойчивости: Фортуна< Магева< Приморская 13< Венера.

При испытании 3-х сортов кормовых бобов ранжированные ряды по Пульсару и Пивоту также имеют совпадение (по степени устойчивости): Херц Фрея < Фрибо < Широкко. Необходимо отметить, что для самых чувствительных сортов: Фортуна у сои ($ЕД_{10}$ Пульсара равен 34 г/га д.в., Пивота- 82 г/га д.в.) и Херц Фрея у кормовых бобов ($ЕД_{10}$ Пульсара равен 36 г/га д.в., Пивота- 61 г/га д.в.) ПДК гербицидов ниже максимально

рекомендованных к применению доз - Пульсар, 40 г/га д.в. и Пивот, 100 г/га д.в. Этот факт необходимо учитывать при использовании данных препаратов при возделывании таких чувствительных сортов сои и кормовых бобов, чтобы избежать нежелательного угнетения культуры.

Рисунок 3

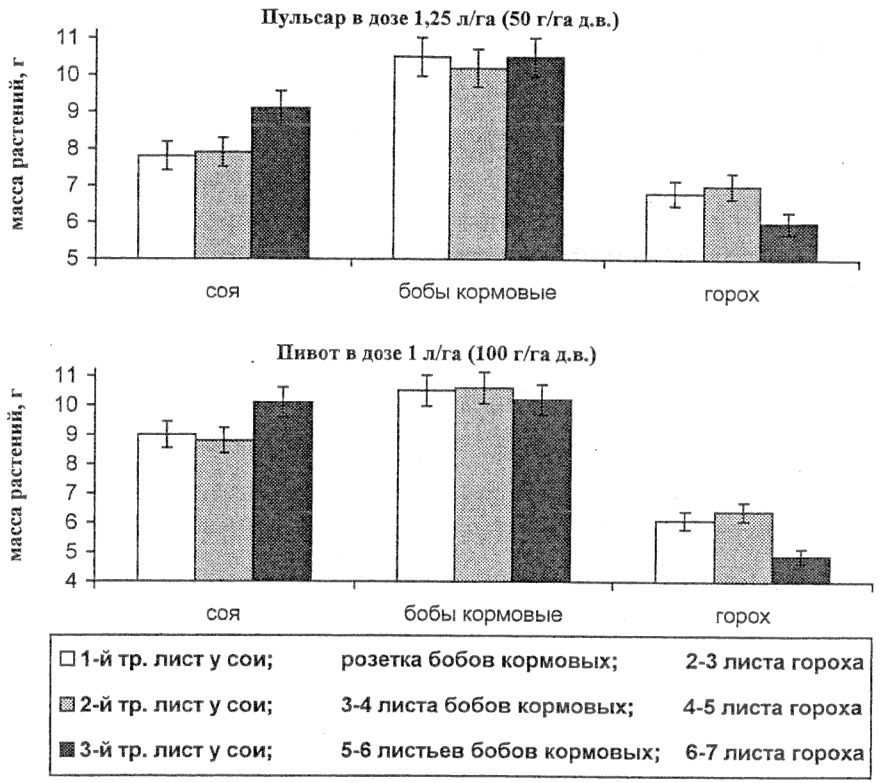
Сортовая чувствительность культур к Пульсару и Пивоту



При обработке культур в различные фазы развития выявлены существенные изменения в реакции растений к испытываемым гербицидам (рис.4).

Рисунок 4

Уровень чувствительности зернобобовых культур
в зависимости от фазы развития в момент обработки



Наименьшую восприимчивость к Пульсару и Пивоту соя проявила в фазу развития 3-х тройчатых листьев; горох – до 5-и листьев, дальнейшее запаздывание с его обработкой ведёт к угнетению культуры; у кормовых бобов существенной разницы в уровне чувствительности в изучаемых фазах развития не обнаружено.

Глава 4. Эффективность Пульсара и Пивота на посевах гороха, сои и кормовых бобов в разных почвенно-климатических зонах России

Дальнейшим этапом наших исследований было испытание гербицидов в полевых условиях.

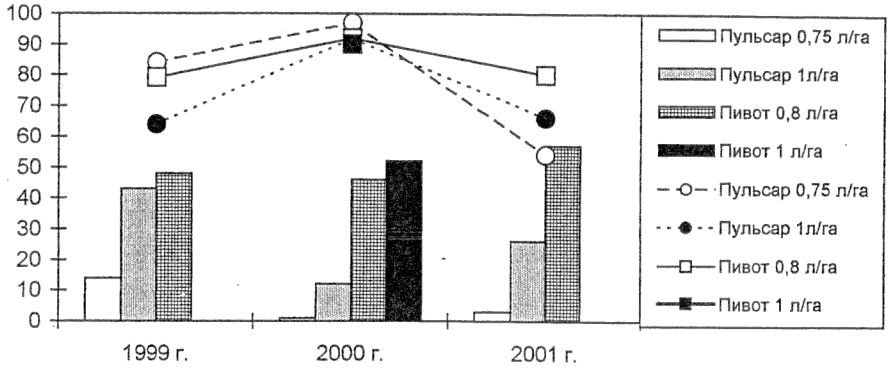
Горох. В условиях Московской обл. в течение 3-х лет (1999-2001гг.) испытывали на посевах гороха гербициды Пульсар и Пивот с различными сроками обработки (довсходовая обработка почвы и послевсходовое опрыскивание в разные фазы развития). Погодные условия сезонов исследования в значительной степени отличались друг от друга. Так 1999 г. был засушливым, 2000 г. соответствовал среднемноголетним показателям, а 2001 г. выдался экстремальным для развития растений, сочетая в себе сильное переувлажнение в 1-й половине вегетации и засуху во 2-й.

Не смотря на это, результаты опытов выявили некоторые общие закономерности. Так, было установлено, что Пульсар обладает почвенным действием, но в отличие от Пивота непродолжительным и менее выраженным (рис.5). Так при невысоком уровне засорённости в 1999 и 2000 гг. Пульсар какое-то время сдерживал развитие сорняков и был почти на уровне с Пивотом. Но в 2001 г. при появлении мощной второй волны засорённости техническая эффективность у Пульсара была существенно ниже, чем у Пивота. Хозяйственная эффективность Пульсара при довсходовой обработке почвы, как правило, хуже, чем у Пивота, что связано с непродолжительностью почвенного действия Пульсара.

Оптимальным вариантом для довсходовой обработки почвы является Пивот в дозе 0,8 л/га, который стабильно обеспечивал прибавку урожая более 45%. Эта доза по своей эффективности практически не уступает норме расхода 1 л/га, но заметно снижает гербицидную нагрузку и гектарную стоимость обработки.

Рисунок 5

Техническая и хозяйственная эффективность (%) Пульсара и Пивота при довсходовой обработке посевов гороха сорта «Таловец 50»



■ (гистограмма) прибавка урожая, %
—•— (линия) % снижения массы сорняков по сравнению с контролем через 50-60 сут. после обработки

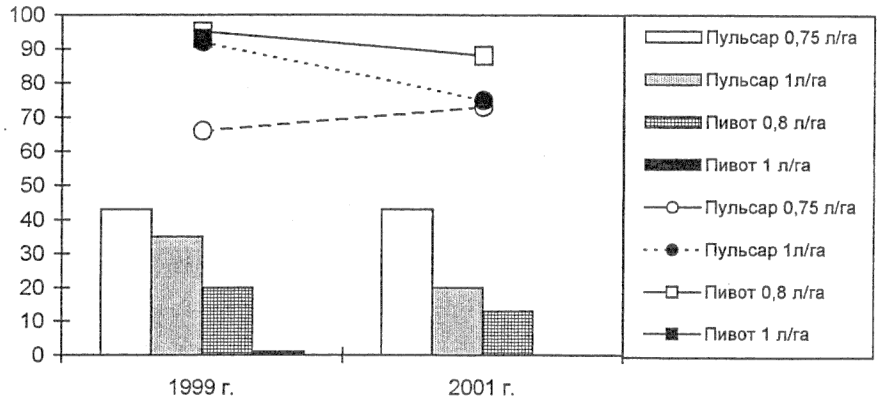
Опыты с послевсходовой обработкой имидазолиноновыми гербицидами в различные фазы развития гороха подтвердили выводы вегетационных опытов. Опрыскивание Пульсаром и Пивотом в 2000 и 2001 гг. в фазу 6-7 листьев способствовало угнетению культуры, вследствие чего урожайность гербицидных вариантов была ниже контрольной.

Положительные результаты были достигнуты при использовании гербицидов в фазы до 5-и листьев гороха (рис.6). При этом Пульсар и Пивот показали примерно одинаковую техническую эффективность (66-95% в зависимости от дозы). Однако по хозяйственной эффективности Пульсар значительно превосходил Пивот, что говорит о наличии некоторой токсичности у Пивота к гороху в рекомендованных дозах. Оптимальной дозой Пульсара при опрыскивании растений гороха, обеспечивающей наибольшую прибавку урожая (43%), является 0,75 л/га (30 г/га д.в.). Дальнейшее повышение нормы расхода ведёт к угнетению роста культуры.

Необходимо отметить, что большинство представителей ценоза сорняков были чувствительными к имидазолиноновым гербицидам. Относительную устойчивость проявили сушеница топяная, хвощ полевой и фиалка полевая. По видовой чувствительности сорняков существенных различий между Пульсаром и Пивотом не обнаружено.

Рисунок 6

Техническая и хозяйственная эффективность (%) Пульсара и Пивота при обработке гороха «Таловец 50» в фазу 3-4 листа



■ (гистограмма) прибавка урожая, %
—•— (линия) % снижения массы сорняков по сравнению с контролем через 50-60 сут. после обработки

Соя. Испытания Пульсара в сравнении с Пивотом на посевах сои при послевсходовой обработке проводились в Амурской обл. в период 1998-2000 гг. в совместных исследованиях с коллективом ВНИИ сои под руководством старшего научного сотрудника, кандидата сельскохозяйственных наук Коломийцева Ф.Б.

За три года исследований все испытываемые нормы расхода имидазолиноновых гербицидов показали себя на одинаково высоком уровне (табл.1). Это объясняется тем, что большинство представителей ценоза сорняков (просо куриное, овсюг обыкновенный, щирица запрокинутая, марь белая,

дурнишник обыкновенный) проявили очень высокую чувствительность и даже от минимальной дозы препаратов Пульсар 0,6 л/га (25 г/га д.в.) и Пивот 0,7 л/га (70 г/га д.в.) подавлялись практически полностью (около 90%). Однако, наличие в посевах сои относительно устойчивых даже к максимальным дозам гербицидов акалифы южной и хвоща полевого снижало общий показатель технической эффективности.

Таблица 1

Техническая и хозяйственная эффективность имидазолиноновых гербицидов в Амурской обл. при обработке сои в фазу 3-го тройчатого листа (по данным Ф.Б. Коломийцева)

Гербицид	Доза		Техническая эффективность, %			Хозяйственная эффективность, %		
	л/га	г/га д.в.	1998 г.	1999 г.	2000 г.	1998 г.	1999 г.	2000 г.
Пульсар	0,63	25	62	82	85	98	25	55
	0,75	30	64	68	83	91	31	61
	0,88	35	71	83	92	100	26	55
	1	40	67	88	87	107	34	60
	1,13	45	72	78	88	106	25	54
Пивот	0,7	70	63	84	87	103.	29	53
	0,8	80	66	91	92	95	26	62
Контроль	—	—	848*	478*	548*	9,4**	15,3**	13,7**

* - масса сорняков на контроле, г/м^2
** - урожай зерна сои на контроле, ц/га

Оптимальной фазой для обработки следует считать 3-й тройчатый лист сои, так как именно в эту фазу культура проявляла наибольшую устойчивость к имидазолиноновым гербицидам и была менее подвержена негативному влиянию, усиливающемуся в стрессовых ситуациях (1999, 2000 гг. – засушливые годы). Этот факт подтверждает выводы вегетационных опытов.

В почвенно-климатических условиях Амурской обл. все изучаемые дозы гербицидов были практически одинаковы по своей технической и хозяйственной эффективности. Это позволяет нам считать оптимальными для

данной зоны пониженные нормы расхода имидазолиноновых гербицидов: Пульсара 0,6-0,75 л/га (25-30 г/га д.в.) и Пивота – 0,7-0,8 л/га (70-80 г/га д.в.).

Кормовые бобы. Изучение имидазолиноновых гербицидов на посевах кормовых бобов проводились нами в Калининградской области в 2001 г. совместно с сотрудниками Калининградской СТАЗР на посевах сорта «Херц Фрея», а также в Московской области в 2001-2002 гг. на посевах с сортом «Широкко».

Результаты этих испытаний подтвердили выводы вегетационных опытов о наличии выраженной сортовой чувствительности кормовых бобов. Более чувствительный сорт «Херц Фрея», возделываемый в Калининградской обл., угнетался имидазолиноновыми гербицидами даже в низких дозах: Пульсар 0,75 л/га (30 г/га д.в.) и Пивот 0,8 л/га (80 г/га д.в.). В результате этого существенной прибавки урожая от применения гербицидов не получено. При этом техническая эффективность гербицидов составила 61-67%. Столь невысокий уровень подавления общей засорённости объясняется наличием в ценозе устойчивых видов: будры плющевидной и мятлика однолетнего. Существенной разницы между Пульсаром и Пивотом по видовой чувствительности сорняков не обнаружено.

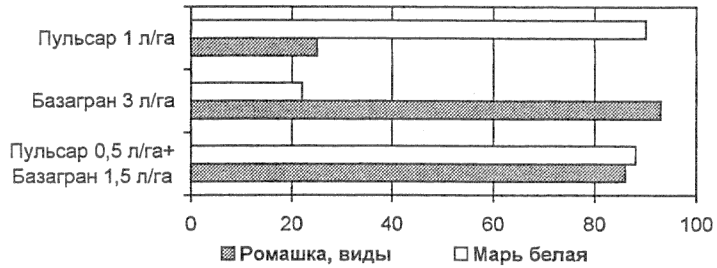
Результаты полевых опытов в Московской обл. на относительно устойчивом сорте «Широкко» доказали возможность использования имидазолиноновых гербицидов на посевах кормовых бобов, но в пониженных нормах расхода – Пульсара 0,5-0,75 л/га (20-30 г/га д.в.) и Пивота 0,4-0,6 л/га (40-60 г/га д.в.). Прибавка урожая при этом составила 18-30% в 2001 г. (неблагоприятном по погодным условиям), и 131-146% в 2002 г. Существенной разницы между гербицидами не отмечено.

Перспективным направлением в регулировании сорного ценоза в посевах кормовых бобов, на наш взгляд, является использование баковых смесей имидазолинонов с гербицидами других классов, обладающих иным механизмом действия. Так в сезоне 2002 г. более 50% ценоза сорняков занимали марь белая и виды ромашки. При этом Пульсар недостаточно действовал на ромашку, а

Базагран – на марь. Сочетание этих гербицидов в половинных дозах позволило добиться угнетения обоих сорняков более чем на 85% по сравнению с контролем (рис. 7).

Рисунок 7

Видовая чувствительность сорняков к гербицидам (% угнетения по сравнению с контролем) на посевах кормовых бобов (Московская обл., 2002 г.)



По итогам полевых опытов 2002 г. в Московской обл. лучший вариант был баковая смесь Пульсар 0,5 л/га (20 г/га д.в.) + Базагран 1,5 л/га (720 г/га д.в.), обеспечившая прибавку урожая на 190% (рис.8).

Рисунок 8

Техническая и хозяйственная эффективность гербицидов (%) на посевах кормовых бобов сорта «Широкко» в 2002 г.

Глава 5. Изучение поведения имазамокса в почве

Контролируемые условия. Исследование динамики процесса разложения имазамокса в почве проводили в контролируемых условиях на образцах дерново-подзолистой почвы, модифицированной по уровню кислотности (pH=5-7) и влажности (W=30-60% ПВ). Установлено (табл. 2), что с понижением pH от 7 до 5 скорость разложения имазамокса возрастало на 21%; при 60% ПВ скорость деградации гербицида на 42% выше, чем при влажности 30% ПВ; при повышении температуры от 0^0C до 25^0C скорость разложения имазамокса возрастала на 32%.

Таблица 2

Характеристика процесса разложения имазамокса в почве в контролируемых условиях

Почвенные условия	Показатели		Скорость разложения, $сут^{-1}$.	T_{50}, сут.	T_{90}, сут.
	переменные	постоянные			
Кислотность	pH=5	W=60% ПВ t=25 ^{0}C	0,041	17	56
	pH=7		0,034	20	68
Влажность	30% ПВ	pH=7 t=25 ^{0}C	0,024	28	96
	60% ПВ		0,034	20	68
Температура	0 ^{0}C	W=60% ПВ pH=7	0,019	16	53
	25 ^{0}C		0,025	12	39

При уровне увлажнения около 60% ПВ почва достаточно обеспечена влагой и воздухом, содержащимися в почвенных порах. Этот режим оптимален для развития микроорганизмов, поэтому можно предположить, что в процессе деструкции имазамокса возможно принимает участие и микробиологический фактор. В лабораторно-вегетационном опыте использовали нативную и стерильную почву (действие жестким УФ в течение 3-х сут.), обработанную препаратом Пульсар в дозе 1 л/га (40 г/га д.в.). После периода ожидания (58 сут.) в сосуды с почвой посеяли яровую пшеницу, и по степени её угнетения оценили различия вариантов. Одновременно с этим определяли остаточные количества гербицида инструментальным методом ВЭЖХ (табл.3). В течение 2-х месяцев разложилось более 90% от начального количества. Отметим, что

содержание остатков гербицида в стерильной почве было почти в 2 раза выше, чем в нативной, что подтверждает участие микроорганизмов в процессе разложения имазамокса.

Таблица 3

Показатели детоксикации имазамокса в дерново-подзолистой почве на 58 сут. после обработки (лаборатория-ЛИК)

Вариант	Содержание в почве остатков имазамокса (ВЭЖХ)		Угнетение роста тест-культуры - пшеницы, %
	мкг/кг	% от $C_{исх.}$	
Нативная почва (контроль)	1,8	5	48
Стерильная почва	3,3	10	63

Таким образом, установлено, что скорость разложения имазамокса возрастает с повышением влажности, температуры и кислотности почвы. Также доказано участие микроорганизмов в процессе детоксикации гербицида.

Полевые условия. Динамику разложения и миграции по почвенному профилю д.в. Пульсара – имазамокса изучали в полевых мелкоделяночных опытах в условиях дерново-подзолистой почвы (Московская обл., 1999-2001 гг.). В засушливых условиях 1999 г. имазамокс проявил среднюю устойчивость, его период полуразложения (T_{50}) составил 31 сут., а T_{90}=148 сут. Остатки имазамокса обладали высокой миграционной способностью, проникая на глубину до 40 см, но большая часть остатков локализовалось в верхнем слое (0-10 см).

В конце вегетационного сезона 1999 года, что соответствовало 121 сут. после обработки, содержание имазамокса в почвенном профиле составило 12% (≈5 г/га или 4 мкг/кг почвы). При условии сохранения такого количества остатков имидазолиноновых гербицидов до следующего вегетационного сезона возникает вероятность угнетения последующей культуры севооборота. Поэтому в 2000 году исследовали динамику разложения имазамокса в сравнении с имазетапиром, у которого известны случаи последействия на культуры севооборота через год после применения (Krauz, 1994; Moyer, Esau, 1996).

В сезоне 2000 года, типичном по погодным условиям для данной природно-климатической зоны, скорость разложения имазамокса по сравнению с предыдущим относительно сухим годом увеличилась (T_{50}=17 сут., T_{90}=116 сут), а миграционная способность (до 40 см) сохранилась на прежнем уровне. В конце вегетационного сезона, через 116 сут. после обработки, содержание в почве остатков гербицида составило 14%, но уже через 1 месяц их количество снизилось до 2%. На начало следующего вегетационного сезона (326 сут.) зафиксированы остатки имазамокса менее 1% от начального количества (0,4 г/га).

Для д.в. Пивота – имазетапира показатель T_{50} составил 20 сут. При этом разложение имазетапира на 90% от начального количества (T_{90}=72 сут.) достигалось быстрее, чем у имазамокса. Однако дальнейший распад имазетапира происходил очень медленно, и на начало следующего вегетационного сезона его остатки в почве составили около 3% (3 г/га).

Погодные условия вегетационного сезона 2001 года выдались экстремальными для развития растений. Первая его половина (май-июнь) была очень влажной, сумма выпавших осадков превысила норму более чем в 2 раза. За счёт этого скорость разложения имазамокса возросла по сравнению с предыдущими годами исследования, в результате T_{50}=16 сут. Вторая половина сезона (июль-август) отличалась сильной засухой, показатель T_{90} составил 49 сут. В конце сезона, через 120 сут. после обработки, остатки имазамокса зафиксированы в почвенном профиле в количестве 0,3% от начального содержания.

Полученные и обобщённые нами данные по поведению имазамокса и имазетапира в течение 1999-2001 гг. в разных почвенно-климатических зонах России (табл. 3), свидетельствуют о том, что скорость разложения гербицидов варьировала в пределах 0,009-0,055 $сут^{-1}$, а показатель экологической нагрузки (ЭН) – 0,0001-0,0016.

Таблица 4

Экологическая характеристика гербицидов Пульсар и Пивот

Регион	Тип почвы	Год применения	Доза, г/га д.в.	k, сут$^{-1}$	*ЭН
имазамокс					
Московская обл.	Дерново-подзолистая pH=4,4 $C_{орг.}$=2,4	1999 2000 2001	40 40 40	0,0103 0,0105 0,0249	0,0002 0,0003 0,0001
Приморский край	Лугово-бурая pH=5,0 $C_{орг.}$=4,0	2000	40	0,0119	0,0002
Амурская обл.	Лугово-черноземная pH=5,1 $C_{орг.}$=3,0	2000	45	0,0123	0,0002
Краснодарский край	Чернозем выщелоченный pH=6,0 $C_{орг.}$=5,0	2000	45	0,0140	0,0003
имазетапир					
Московская обл.	Дерново-подзолистая pH=4,4 $C_{орг.}$=2,4	1999 2000 2001	100 100 100	0,0123 0,0091 0,0067	0,0007 0,0008 0,0007
Приморский край	Лугово-бурая pH=5,0 $C_{орг.}$=4,0	1997	100	0,0550	0,0003
Амурская обл.	Лугово-черноземная pH=5,1 $C_{орг.}$=3,0	1997	100	0,0096	0,0016
Краснодарский край	Чернозем выщелоченный pH=6,0 $C_{орг.}$=5,0	1997	100	0,0348	0,0008

Примечание: *ЭН – индекс экологическая нагрузка, предложенный Мельниковым (1987).

Показатель ЭН для имазетапира, как правило, превышает в 2 и более раз этот показатель для имазамокса. Это говорит о том, что при одинаковой эффективности гербицидов предпочтение следует отдавать именно Пульсару.

Глава 6. Уровень остаточной фитотоксичности дерново-подзолистой почвы после применения Пульсара и Пивота

С целью изучения уровня фитотоксичности почвы на 120-е сут. после применения Пульсара и Пивота в конце вегетационного сезона в условиях Московской области отбирали образцы почвы в пределах пахотного горизонта (до 25 см). В качестве тест-объекта выбрали высокочувствительный индикатор - горчицу белую сорта «ВНИИМКа-112». Для сравнения одновременно проводили детектирование остаточных количеств гербицидов в почве инструментальным методом ВЭЖХ. Установлено (табл.5), что на 120 сут. после

обработки содержание в почве имазамокса не превысило 2%, а имазетапира – 6% от исходной дозы применения. Однако даже столь небольшие остаточные количества гербицидов угнетали развитие тест-культуры: Пульсар на 22-26%, Пивот на 79%.

Таблица 5

Содержание имазамокса и имазетапира в почве через 120 сут. после обработки гербицидами

Почва	Гербицид	Доза д.в., мкг/кг	Снижение биомассы, %	ОК гербицидов в почве, мкг/кг	
				биометод	инструментальный
поле №1 pH=5,6 $C_{орг.}$=3,1	Пульсар	25 33 42	22 25 26	0,7 0,8 0,8	0,6 0,7 0,8
	Пивот	83	79	5,3	5,1
поле №2 pH=4,7 $C_{орг.}$=3,3	Пульсар	33	8	0,3	0,2
	Пивот	83	48	3,5	3,3

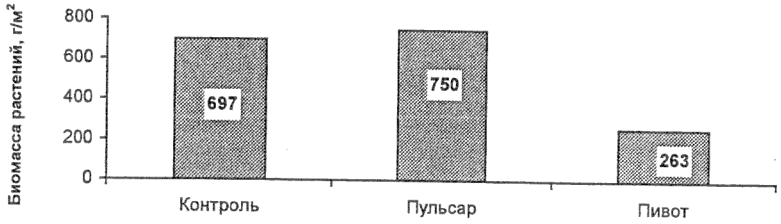
Результаты, полученные разными методами, примерно равны между собой, однако всё же наблюдается тенденция обнаружения бóльшего количества остатков гербицидов биоиндикацией в сравнении с инструментальным методом. Это объясняется тем, что метод ВЭЖХ позволяет детектировать собственно действующее вещество – имазамокс или имазетапир, а биоиндикация определяет суммарную фитотоксичность: реакцию биотеста как на действующее вещество, так и на его метаболиты.

В начале следующего вегетационного сезона (350 сут. после обработки гербицидами) на опытном участке в полевых условиях Московской области была посеяна высокочувствительная тест-культура - горчица белая. На вариантах с Пульсаром (доза 1 л/га или 40 г/га д.в.) эффект последействия не наблюдался и урожай зелёной массы горчицы был на уровне с контролем, в отличие от Пивота (доза 1 л/га или 100 г/га д.в.), где снижение урожайности культуры достигало 62% по сравнению с контролем (рис.9).

В итоге можно сказать, что применение Пивота сопряжено с риском последействия на чувствительные культуры севооборота (например, горчица, свекла). А при использовании Пульсара такой отрицательный эффект маловероятен.

Рисунок 9

Влияние остатков имидазолиноновых гербицидов в дерново-подзолистой почве на урожай культуры севооборота - горчицы белой



ВЫВОДЫ

1. Экспериментально подтверждено, что Пульсар - представитель класса имидазолинонов является узкоспецифичным гербицидом. Большинство испытанных видов растений из различных ботанических семейств проявили высокую чувствительность к этому препарату, особенно свекла и горчица. Относительная устойчивость была отмечена лишь у гороха и сои.
2. По уровню чувствительности к Пульсару и Пивоту представители семейства бобовых, наиболее распространённые в нашей стране, образуют следующие группы: а) высокочувствительные – вика яровая; б) чувствительные - козлятник, клевер ползучий, лядвенец рогатый, люцерна посевная; в) среднечувствительные – люпин узколистный; г) относительно устойчивые – горох, соя, бобы кормовые.
3. Установлено, что устойчивость к имидазолиноновым гербицидам различных сортов одной и той же культуры может варьировать в широких пределах. Выявлена зависимость степени устойчивости защищаемых культур к Пульсару и Пивоту от фазы развития культурных растений в момент обработки. Лучшие результаты были получены при опрыскивании сои в фазу развития 3-го тройчатого листа, гороха – до 5 листьев. Для кормовых бобов существенной разницы от применения в фазы от розетки до 6-и листьев не обнаружено.
4. В полевых условиях Пульсар в дозах 0,5-1 л/га (20-40 г/га д.в.) проявил себя как высокоактивный послевсходовый гербицид широкого спектра действия. Его техническая эффективность находилась на одном уровне с Пивотом и составила 60-98% в зависимости от видового состава ценоза сорняков. Выявлено

несколько видов сорных растений, обладающих относительной устойчивостью к Пульсару и Пивоту: хвощ полевой, акалифа южная, фиалка полевая, сушеница топяная, будра плющевидная.

5. При использование оптимальных доз имидазолиноновых гербицидов - Пульсара 0,75 л/га (30 г/га д.в.) или Пивота 0,8 л/га (80 г/га д.в.) прибавка урожая составляла 20-140% в зависимости от почвенно-климатических условий. На посевах сои и кормовых бобов имидазолиноновые гербициды между собой показывают, как правило, одинаковую хозяйственную эффективность, а на посевах гороха прибавка урожая после применения Пульсара обычно выше на 20-25% по сравнению с Пивотом.
6. При довсходовой обработке посевов гороха в различных почвенно-климатических условиях предпочтительнее использовать Пивот, так как именно этот препарат, в отличие от Пульсара, обладает выраженным почвенным действием. Довсходовая обработка Пивотом в оптимальной дозе – 0,8 л/га (80 г/га д.в.) неизменно способствовала получению достоверной прибавки урожая, равной 46-57%.
7. Установлено, что Пульсар и Пивот можно использовать в баковых смесях совместно с препаратами других классов, обладающих иным механизмом действия. Успешным примером может служить баковая смесь Пульсара в дозе 0,5 л/га (20 г/га д.в.) с Базаграном в дозе 1,5 л/га (720 г/га д.в.), обеспечившая прибавку урожая кормовых бобов на 190%.
8. Действующее вещество гербицида Пульсар является среднеперсистентным соединением. Показатель T_{50} для имазамокса находится в пределах от 16 до 31 сут. в зависимости от почвенно-климатических условий. Имазамокс обладает хорошей миграционной способностью, и в количестве 5-10 % способен проникать по почвенному профилю на глубину до 40 см.
9. При применении Пульсара в максимально рекомендуемой дозе до 1 л/га (40 г/га д.в.) к следующему вегетационному сезону содержание его остатков в почве, как правило, не превышало 1% или 0,3 мкг/кг почвы, что не вызывало угнетения высокочувствительных культур севооборота. Этот факт выгодно отличает Пульсар от Пивота.

РЕКОМЕНДАЦИИ ПРОИЗВОДСТВУ

1. Адаптированный и модифицированный метод определения имазамокса в объектах окружающей среды прошёл соответствующую экспертизу и принят Госхимкомиссией и Минздравом России в качестве официального для практического применения.
2. Результаты наших многолетних исследований имидазолиноновых гербицидов были учтены при принятии решения о регистрации Пульсара для производственного применения в Российской Федерации.
3. В производственных условиях для регулирования ценоза сорняков в посевах сои, гороха, кормовых бобов целесообразно использование имидазолиноновых гербицидов Пульсар и Пивот. Для довсходовой обработки необходимо использовать Пивот, как гербицид, обладающий выраженным почвенным действием. При этом оптимальной дозой Пивота для различных почвенно-климатических условиях является 0,8 л/га (80 г/га д.в.). При послевсходовой обработке оптимальными дозами гербицидов являются: у Пульсара 0,75 л/га (30 г/га д.в.), у Пивота 0,8 л/га (80 г/га д.в.). При этом для уменьшения вероятности угнетения культуры от химической прополки рекомендуем соблюдать следующие условия:
   а) посев наиболее устойчивых сортов защищаемой культуры, например, у сои – Венера, Приморская 13, Магева, у кормовых бобов – Широкко, Фрибо;
   б) выбор срока обработки приурочить к фазе развития культуры: у сои – до 3-х тройчатых листьев, у гороха – до 5-и листьев, у кормовых бобов – до 6-и листьев.
4. Пульсар и Пивот также можно использовать совместно с другими гербицидами, разрешёнными для применения на посевах зернобобовых. Успешным примером может служить баковая смесь Пульсара в дозе 0,5 л/га (20 г/га д.в.) с Базаграном в дозе 1,5 л/га (720 г/га д.в.).

Публикации по диссертационной тематике

1. Спиридонов Ю.Я., Захаров С.А., Ларина Г.Е., Федосенков М.А. Пульсар – новый перспективный гербицид из класса имидазолинонов для борьбы с сорняками в посевах бобовых культур: Материалы второго всероссийского научно-производственного совещания «Состояние и развитие гербологии на пороге XXI столетия». – Голицыно, 2000. - С. 152-154.
2. Ларина Г.Е., Спиридонов Ю.Я., Захаров С.А., Захарова Т.В. Индикация остатков гербицидного препарата Пульсар в объектах агроценоза// Агрохимия. - 2001. - №4. - С. 67-75.
3. Спиридонов Ю.Я., Ларина Г.Е., Захаров С.А., Захарова Т.В. Чувствительность зернобобовых культур к имидазолиноновым гербицидам: Тезисы докладов Международной научно-практической конференции «Состояние и перспективы развития люпиносеяния в XXI веке». – Брянск, 2001. - С. 12-15.
4. Ларина Г.Е., Спиридонов Ю.Я., Захаров С.А., Захарова Т.В. Индикация остатков имидазолиноновых гербицидов в объектах агроценоза// Сборник трудов конференции «Методико-биологические проблемы экологической безопасности АПК». - Сергиев Посад, 2001. - С. 62-71.
5. Спиридонов Ю.Я., Никитин Н.В., Поляков В.В., Захаров С.А., Раскин М.С., Абубикеров В.А. Новая технология обработки опытных делянок// Защита и карантин растений. - 20001. - №11. - С. 33-35.
6. Захаров С.А. Фазовая и сортовая чувствительность сои, гороха, бобов и люпина к имидазолиноновым гербицидам// Агро XXI. – 2001. - № 12. - С. 4-6
7. Спиридонов Ю.Я., Ларина Г.Е., Шестаков В.Г., Захаров С.А., Никитин Н.В. Рекомендации по применению имидазолиноновых гербицидов в посевах зернобобовых культур в России/ Научно-техническая информация - ВНИИФ, БАСФ, 2003. - 104 с.
8. Larina G.E., Spiridonov Yu.Ya., Zaharov S.A., Zaharova T.V. Indication of the rests herbicides of imidazolinone in obyects of agrocenoses// Problems of ecological security in agroculture (The collection of works). – M., Sergiev Posad, v. 5, 2001. – P. 33-40.