

УДК 632.954.07:581.5

## АГРОЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ И ОЦЕНКА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГЕРБИЦИДОВ В ПОСЕВАХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР

Р.И. СЛОВЦОВ

(Кафедра сельского хозяйства зарубежных стран)

На основании анализа результатов многолетних исследований впервые разработаны агроэкологические принципы обоснования и подбора гербицидов для сахарной свеклы и ее семенников в ЦЧЗ, а также для риса в Краснодарском крае. Предложена технология эффективного и безопасного использования гербицидов. Для указанных агробиоценозов дана комплексная биоценотическая, гигиеническая и экотоксикологическая оценка последствий внесения гербицидов. Реализация разработанной автором системы применения гербицидов в посевах свеклы и риса позволяет возделывать эти культуры в указанных регионах с высоким экономическим эффектом и получать экологически чистую продукцию.

Применение гербицидов в настоящее время является одним из эффективных приемов оперативного управления видовыми составом и численностью сорных растений в агрофитоценозах. Однако в ходе острой дискуссии о необходимости использования гербицидов и возможном при этом риске для человека и среды его обитания высказывается в основном отрицательное мнение [12, 13].

Обработка гербицидами должна рассматриваться как мера, направленная не на полное уничтожение

сорняков, а на оптимизацию структуры агрофитоценоза, в котором культурные растения, являясь эдификаторами, определяют режим отношений в сообществе. Численность сорных растений при этом регулируется на таком уровне, который не препятствует получению запланированного урожая при максимальной возможной безопасности для окружающей среды.

Поскольку гербициды являются биологически активными веществами, небезразличными для агроценоза, то их применение требует посто-

янного жесткого экологического контроля. Для этого необходимо разработать объективные, доступные проверке агроэкономические показатели, гигиенические и экотоксикологические критерии, нормативы и регламенты применительно к конкретной сельскохозяйственной культуре в определенной почвенно-климатической зоне.

### Методика

Исследования проводились в 1964—1989 гг. в полевых, вегетационных и лабораторных опытах в сочетании с наблюдениями и анализами по разработанным программам.

Полевые опыты были заложены в посевах сахарной свеклы в учхозе ТСХА (Мичуринский район Тамбовской области) на Тамбовской опытной сельскохозяйственной станции (поселок Чакино) и в колхозе «Россия» (Ржаксинский район той же области), а также в посевах риса на экспериментальных участках ВНИИ риса и в рисовых хозяйствах «Прибрежный» Темрюкского района Краснодарского края.

При закладке, проведении опытов и обработке полученных результатов мы руководствовались методическими работами и пособиями Б.А. Доспехова [5] и Н.А. Плехинского [9], методикой полевых испытаний гербицидов в токсикологических лабораториях ВИЗР (1964, 1969, 1979 гг.) Вредоносность сорных растений в агрофитоценозах изучали в соответствии с методическими указаниями ряда авторов [2, 4, 6, 11], пороги вредоносности определяли по методике Г.С. Груздева, В.А. Захаренко [4], эколого-экономические пороги вредоносности — по А.В.

Голубеву [3], остаточные количества гербицидов в почве и растениях — методами тонкослойной и газожидкостной хроматографии [7]. Константу скорости распада, время полураспада и другие показатели персистентности гербицидов в почве и растениях определяли по регрессионным моделям, полученным в результате наших опытов. Экологическую ситуацию при использовании гербицидов оценивали по экотоксикологическим критериям — экологической нагрузке [8], прогнозируемому загрязнению с учетом самоочищающей способности почвы [10], экотоксикологическому индексу [1] и по предложенному нами экологическому коэффициенту опасности.

Результаты опытов и наблюдений обрабатывали методом дисперсионного, корреляционного и регрессионного анализов с использованием ЭВМ и пакетов прикладных программ по статистике.

В период проведения опытов с сахарной свеклой в ЦЧЗ погодные условия были типичными для этой зоны неутойчивого увлажнения и соответствовали среднемноголетним данным. Почвы опытных полей — среднемощные и мощные, средневщелоченные тяжелосуглинистые черноземы. Засоренность посевов была типичной как по видовому составу сорняков, так и по их численности.

При проведении опытов с рисом в центральной зоне Краснодарского края погодные условия также мало отличались от средних многолетних и типичных для данного района. В целом они были благоприятными для роста и развития риса. Основными конкурентами выступали ежовник

рисовидный и клубнекамыш компактный. Почва опытных чеков — луговочерноземовидный солонцеватый тяжелый суглинок.

### Результаты

*Взаимоотношения между культурными и сорными растениями.* За годы исследований в посевах сахарной свеклы было обнаружено 43 вида сорных растений. Среднеголетняя степень засоренности — высокая (186 шт/м<sup>2</sup>); преобладал смешанный малолетне-корнеотпрысковый тип засорения. Малолетние сорняки составляли 94—99%. В биогруппу ранних яровых (в разные годы 23—49%) входили следующие виды: горец развесистый, горец вьюнковый, горчица полевая, капуста полевая, марь белая, чистец однолетний, пикульник обыкновенный, овсюг обыкновенный. Позднеяровые (19—69%) были представлены ежовником обыкновенным, щетинником зеленым, щетинником сизым, пасленом черным и щирицей запрокинутой. Зимующие сорняки (до 5%) — живокость полевая, звездчатка средняя, липучка обыкновенная, ромашка непахучая и ярутка полевая. Многолетние корнеотпрысковые (1—2%) — бодяк полевой, осот полевой, пырей ползучий.

Засоренность почвы семенами была высокой (762 млн шт. в пахотном слое на 1 га). Из всего их запаса 43,9% семян приходилось на ранние и 54,4% — на поздние яровые виды. Жизнеспособные семена всех видов сорняков в среднем составляли 9,4%, но среди них были и непроросшие. Средняя полевая выживаемость проростков — 8,7% к числу жизнеспособных семян. Процент

реализуемости во всходы семян зависел от биологических особенностей вида сорняков и гидротермических условий в период их прорастания. Анализ связи числа всходов малолетних сорняков с запасом всхожих семян и гидротермическим коэффициентом за III декаду апреля и май включительно выявил их тесную корреляцию ( $R = 0,81$ ). Уравнение регрессии зависимости первого показателя ( $Y$ , шт/м<sup>2</sup>) от второго ( $X$ , шт/м<sup>2</sup>) для слоя почвы 0—10 см и третьего за тот же период имеет вид:

$$Y = 0,092X_1 + 64,5X_2 - 117,2. \quad (1)$$

Оно позволяет прогнозировать степень засоренности посевов сахарной свеклы за период от посева до фазы образования 2-й пары настоящих листьев на основании данных о запасах всхожих семян в слое почвы 0—10 см и прогноза погоды на указанный период.

В свекловичном севообороте реализация потенциального запаса семян сорняков во всходы была разной в зависимости от вида культуры: для подсолнечника — 7,3%, сахарной свеклы — 8,7, кукурузы — 9,8, озимой пшеницы — 3,6, гороха — 3,7, ячменя — 4,9%. Как видно, в посевах пропашных культур создаются наиболее благоприятные условия для прорастания семян сорняков, что в совокупности с громадным их запасом в почве создает высокую степень засоренности.

Многолетние исследования показали, что высокая засоренность посевов сахарной свеклы была основной причиной низкой урожайности этой культуры. Так, за 21 год наблюдений средний урожай корнеплодов без ручной прополки составил

15,6 т/га, что на 45% меньше, чем при ее проведении. В условиях ЦЧЗ резкое снижение урожая наблюдалось в засоренных посевах всех культур свекловичного севооборота: зерна озимой пшеницы — на 25, зеленой массы кукурузы — на 65, семян подсолнечника — на 41, семян свеклы — на 31%.

Значительные (9,2—24,5 ц/га) потери урожая от сорняков были также в посевах ранних сортов риса в Краснодарском крае.

Многолетние исследования позволили установить, что урожайность сельскохозяйственных культур находится в обратной корреляционной зависимости от количества сорняков ( $R = -0,98 - 0,99$ ). Количественную связь между этими по-

казателями мы предлагаем выражать уравнением линейной функции. На основе экспериментального материала с помощью регрессионных моделей по этому уравнению нами определены коэффициенты вредоносности сорных растений в посевах риса, сахарной свеклы и ее семенников. Значения коэффициентов в посевах сахарной свеклы значительно изменялись по годам и зависели от степени засорения, видового состава сорняков и гидротермических условий в весенний период.

Уравнения множественной регрессии зависимости коэффициента вредоносности от численности сорняков, процента двудольных сорняков и гидротермических условий имеют вид:

$$Y = 0,73 - 0,0224X_1 + 0,019X_2 - 0,012X_3, \quad (2)$$

$$Y_1 = 3,88 - 0,059X_1 + 0,037X_2 - 0,38X_3, \quad (3)$$

где  $Y$  — коэффициент вредоносности, т/га на десятки шт/м<sup>2</sup>;  $Y_1$  — коэффициент вредоносности, % на десятки шт/м<sup>2</sup>;  $X_1$  — количество сорняков, десятки шт/м<sup>2</sup>;  $X_2$  — содержание двудольных видов в сорной флоре, %;  $X_3$  — гидротермический коэффициент за весенний период.

На базе полученного экспериментального материала были установлены критический и эколого-экономический пороги вредоносности сорных растений, пороги целесообразности применения ручных прополок, механических приемов и применения гербицидов в посевах риса, сахарной свеклы и ее семенников. Были определены также критические фазы роста культур по отношению к конкуренции сорняков.

Экономический порог вредонос-

ности сорняков в посевах сахарной свеклы за последние годы исследований составил в расчете на 1 м<sup>2</sup> 3—16 шт., а эколого-экономический — 4—28 шт., в посевах риса, засоренных кулебнекамышом компактным, — 1—3 клубня в почве или 2—10 стеблей в фазу полных всходов риса. Критическим периодом конкуренции сорных растений и сахарной свеклы оказалась фаза 2-й пары настоящих листьев; для риса — 5 дней от фазы полных всходов. Установлено, что главным фактором конкуренции является значение ФАР, коэффициент использования которой в засоренном посеве сахарной свеклы в начале вегетации был на 39—76% ниже, чем в чистом от сорняков посеве.

Следовательно, применение гербицидов на этих культурах необхо-

димо и допустимо до наступления критических периодов и только в случае превышения значений указанных порогов.

Под влиянием сорняков снижается не только урожай сельскохозяйственных культур, но и его качество (технологические и биохимические показатели корнеплодов, зерна; полевые качества семян и др.).

*Направленный подбор гербицидов и разработка системы их применения.* Необходимость использования гербицидов против сорных растений в настоящее время определяется высокой засоренностью полей и недостаточной эффективностью агротехнических приемов. Так, при среднем запасе сорняков в слое 0—10 см почвы перед посевом свеклы в описываемых многолетних опытах (2473 шт. всхожих семян на 1 м<sup>2</sup>) средняя эффективность агротехнических приемов в снижении засоренности была следующей: ранневесеннего боронования и выравнивания зяби — 5% к исходной; предпосевной культивации — 40; 2-кратного довсходового боронования — 50; боронования по всходам — 30; шаровки — 50; 2-кратной междурядной обработки — 30%. Согласно расчетам, при проведении данного комплекса агроприемов в посевах свеклы должно остаться 173 всхода сорняков на 1 м<sup>2</sup>. Эта прогнозируемая численность сорняков близка к фактической (186 шт/м<sup>2</sup> в среднем за 21 год) и свидетельствует о достоверности прогноза. Такая засоренность требует проведения 2—3 ручных прополок, что малоосуществимо из-за отсутствия необходимых трудовых ресурсов.

Наши исследования проблем при-

менения гербицидов в посевах сахарной свеклы и ее семенников были одними из первых в условиях ЦЧЗ. В результате их разработана система внесения гербицидов, включающая набор препаратов и их смеси, нормы расхода, способы и сроки применения (табл. 1). Эффективность такой системы оказалась на уровне 75—90%, что обеспечивало прибавку урожая корнеплодов свеклы на 8,7—18,6 т/га.

В посадках семенников при смешанном типе засорения наиболее эффективно применение смесей почвенных гербицидов ТХА (12 кг на 1 га) или дуала (3,8 кг) + гексилура (2 кг) сразу после посадки в сочетании с обработкой в фазу розетки бетаналом (6 кг) + лонтрелом (0,3 кг). Эффективность такой схемы составила 81—84%, прибавка урожая семян — 0,29—0,97 т/га.

В посевах риса при смешанном засорении ежовником и клубнекамышом лучшим оказалось применение смеси пропанида (10 кг) с базаграном (3,1 кг) в фазу 2—3 листьев риса, которое снижало засоренность на 71—90%. При этом прибавка урожая зерна у сорта Горизонт составила 10 ц/га, у сортов Солярис и Спальчик — 23, Краснодарского 424 — 9 ц/га, ухудшения технологических и биохимических его качеств не отмечалось. Для подавления только клубнекамыша компактного необходимо применять баковую смесь базаграна (4 кг) с раундапом (0,9 кг), ее эффективность — 99%, прибавка урожая — 17,5 ц/га.

*Экологическая и биоценотическая оценка побочного воздействия гербицидов в агробиоценозах.* Гербициды, как известно, обладают разносторонним воздействием на агро-

## Система применения гербицидов в посевах сахарной свеклы

Препараты, их смеси, форма применения, концентрация	Норма расхода, кг/га (л/га)	Примечание
<i>Внесение осенью в системе зяблевой обработки почвы</i>		
Аминная соль 2,4-Д, 40% в.р.	6,0	Против корнеотпрысковых сорняков
<i>Внесение под предпосевную обработку почвы</i>		
ТХА, 75%, р.п.	12,0	При наличии только злаковых сорняков
Дуал, 96%, к.э.	2,5	То же
Ронит, 72%, к.э.	6,0	При смешанном типе засорения
Тиллам, 76%, к.э.	6,0	То же
Эптам, 72%, к.э.	6,0	» »
Ацетлур, 86%, с.п.	12,0	» »
ТХА + ронит, баковая смесь	12+6	» »
Эптам + ленацил, то же	6+2	» »
Ронит + ленацил, » »	6+2	» »
Дуал + ленацил, » »	2+2	» »
<i>Внесение в фазу 1—2 пар листьев свеклы по всходам сорняков</i>		
Бетанал, 15,9%, к.э.	6,0	Против малолетних двудольных видов
Зеллек, 20%, к.э.	1,0	Против злаковых сорняков
Фузилад, 25%, к.э.	3,5	То же
Ронит + бетанал, баковая смесь	3+3	При смешанном типе засорения
Бетанал + зеллек, то же	6+1	То же
Бетанал + лонтрел, » »	6+0,3	Против двудольных сорняков
Бетанал + зеллек + лонтрел, то же	6+1+0,3	При смешанном малолетне-корнеотпрысковом типе

биоценозы. Их циркуляция в атмосфере, почве, воде, трофических звеньях пищевых цепей обуславливает возможное загрязнение биосферы остаточными количествами и продуктами их трансформации. Они способны вызывать побочные эффекты (табл. 2), не связанные с прямым влиянием на сорные растения. В связи с этим нами были проведены комплексные исследования в рамках экологического мониторинга. Специальные фитоценологические

наблюдения показали, что 19-летнее применение технологий с использованием гербицидов в свекловичном севообороте привело к снижению численности сорняков в посевах сахарной свеклы, сокращению их видового состава и накоплению более устойчивых к гербицидам видов.

Внесенные в черноземную почву гербициды оказывали определенное влияние на почвенные микроорганизмы, однако в целом и антимикробное действие ТХА, ронита, эпта-

ма, пирамины и их смесей оказалось слабым. Угнетение аэробных и спорообразующих бактерий проявлялось лишь в течение 2—4 нед после внесения этих препаратов. Общая биологическая активность почвы в данный период тоже несколько снижалась. Анаэробные бактерии и актиномицеты отрицательного воздействия не испытывали. Деятельность

аммонифицирующих и нитрофицирующих бактерий слабо подавлялось только в первые 2 нед. Влияния на целлюлозоразлагающие аэробные и анаэробные микроорганизмы не наблюдалось; активность почвенных ферментов уреазы и фосфатазы не подавлялась. Гербициды не ухудшали условий минерального питания культур.

Т а б л и ц а 2

**Возможное побочное воздействие гербицидов на агробиоценоз**

Элемент агробиоценоза	Вероятное побочное воздействие	Основные направления предотвращения отрицательного воздействия
Культура	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Фитотоксичность (торможение роста и развития, снижение урожая, изменение качества продукции)</li> <li>2. Наличие остаточных количеств в продукции</li> <li>3. Изменения в репродукционном процессе</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Использование высокоизбирательных препаратов</li> <li>2. Соблюдение регламентов применения</li> <li>3. Чередование препаратов в севообороте</li> <li>4. Совершенствование способов внесения</li> </ol>
Сорные растения	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Изменение структуры сеgetального сообщества (накопление устойчивых к гербицидам видов)</li> <li>2. Резистентность отдельных видов при систематическом применении гербицидов</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Использование высокоэффективных препаратов широкого спектра действия</li> <li>2. Чередование препаратов</li> <li>3. Применение смесей и комбинаций</li> <li>4. Соблюдение регламентов применения</li> </ol>
Почва	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Персистентность</li> <li>2. Миграция по профилю почвы в сопредельные среды</li> <li>3. Отрицательное воздействие на микрофлору</li> <li>4. Снижение плодородия</li> <li>5. Отрицательное воздействие на энтомофауну</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Использование малотоксичных и быстроразлагающихся препаратов</li> <li>2. Регулирование экологической нагрузки</li> <li>3. Соблюдение регламентов применения</li> </ol>
Вода	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Остаточные количества</li> <li>2. Изменение качества</li> <li>3. Гибель фито- и зоопланктона</li> <li>4. Гибель рыбы</li> <li>5. Остаточные количества в рыбопродуктах</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Использование малостабильных препаратов</li> <li>2. Соблюдение регламентов применения</li> <li>3. Использование противоточных экранов-поглотителей</li> </ol>

Влияние гербицидов на полезную почвенную энтомофауну посевов свеклы мы оценивали по их действию на жулици. Доминантными их видами в опытах были бороздчатокрыл медный, жулицица волосатая, калыт большой, краснотал золотистоточечный. Установлено, что сразу после внесения гербицидов численность насекомых в почве снижалась на 20—29%, однако прямого токсического действия гербицидов на насекомых не наблюдалось и их численность через 2—3 сут восстанавливалась.

Важнейшую роль в процессах накопления и циркуляции гербицидов в окружающей среде играет поведение их в почве. Многолетние исследования динамики остатков ТХА, гексилура, бетанала, пирамина, эптамта и ронита в черноземной почве показали, что их разложение зависит от гидротермических условий (рис. 1, 2). Этот процесс наиболее точно может быть выражен регрессионными уравнениями — линейным, экспоненциальным, логарифмическим. По этим уравнениям нами определены показатели скорости

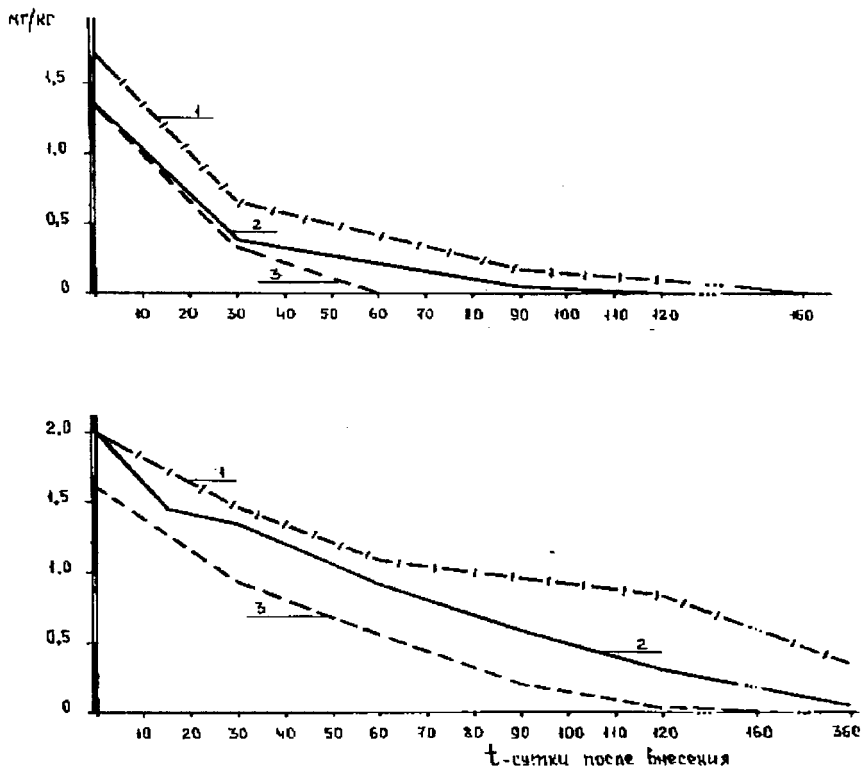


Рис. 1. Динамика остатков бетанала (вверху) и гексилура в почве.

**Бетанал:** 1 — 1972 г., гумус — 6,5%, ГТК — 0,29,  $C_1 = 1,64 - 0,671gt$ ,  $T_{0,5} = 15$  сут; 2 — 1978 г., гумус — 7,85%, ГТК — 1,28,  $C_1 = 0,85 - 0,381gt$ ,  $T_{0,5} = 13$  сут; 3 — 1980 г., гумус — 8,0%, ГТК — 2,16,  $C_1 = 0,88 - 0,391gt$ ,  $T_{0,5} = 12$  сут.  
**Гексилур:** 1 — 1972 г., гумус — 6,5%, ГТК — 0,29,  $C_1 = 0,86 - 0,201gt$ ,  $T_{0,5} = 78$  сут; 2 — 1977 г., гумус — 7,8%, ГТК — 1,41,  $C_1 = 1,66 - 10^{-0,007t}$ ,  $T_{0,5} = 45$  сут; 3 — 1980 г., гумус — 8,0%, ГТК — 2,16,  $C_1 = 1,74 - 0,731gt$ ,  $T_{0,5} = 29$  сут.



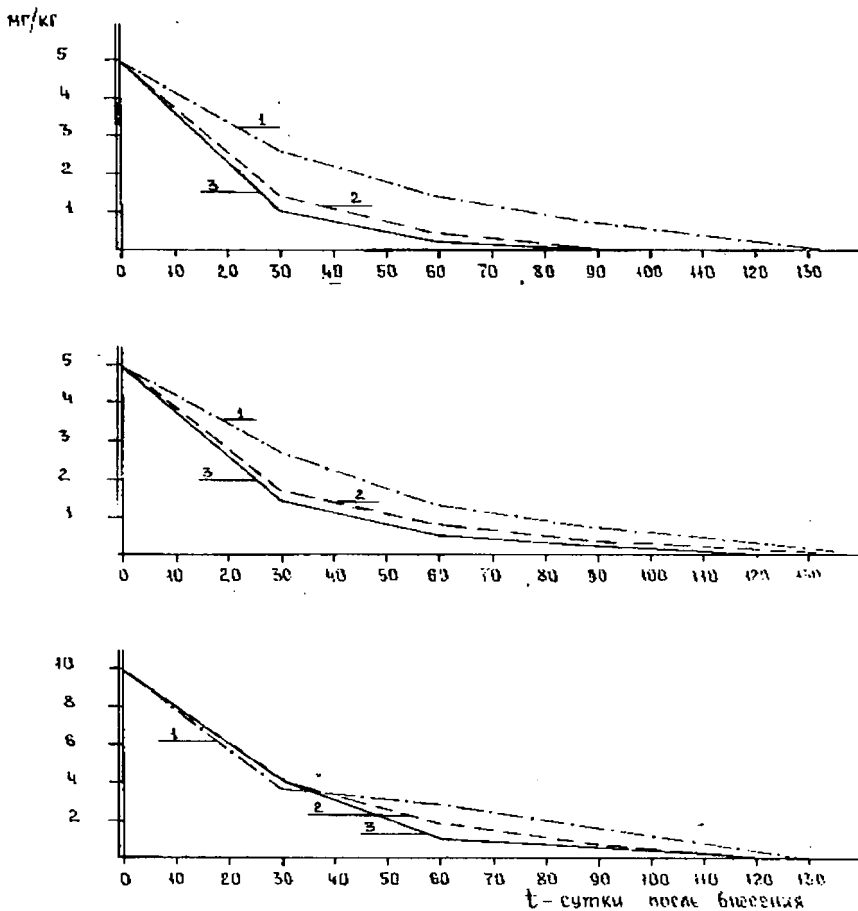


Рис. 2. Динамика остатков ронита, эптама и ТХА (сверху вниз).

**Ронит:** 1 — 1972 г., гумус — 6,5%, ГТК — 0,29,  $C_0 = 4,94 - 2,06 \text{lg}t$ ,  $T_{0,5} = 16$  сут; 2 — 1978 г., гумус — 7,85%, ГТК — 1,28,  $C_0 = 4,83 - 2,33 \text{lg}t$ ,  $T_{0,5} = 11$  сут; 3 — 1980 г., гумус — 8,0%, ГТК — 2,16,  $C_0 = 4,75 - 2,39 \text{lg}t$ ,  $T_{0,5} = 9$  сут.  
**Эптам:** 1 — 1979 г., гумус — 7,8%, ГТК — 0,76,  $C_0 = 5,02 - 2,2 \text{lg}t$ ,  $T_{0,5} = 12$  сут; 2 — 1978 г., гумус — 7,85%, ГТК — 2,16,  $C_0 = 4,93 - 2,27 \text{lg}t$ ,  $T_{0,5} = 12$  сут; 3 — 1980 г., гумус — 8,0%, ГТК — 2,16,  $C_0 = 4,85 - 2,32 \text{lg}t$ ,  $T_{0,5} = 14$  сут.  
**ТХА:** 1 — 1979 г., гумус — 7,8%, ГТК — 0,76,  $C_0 = 9,98 - 4,26 \text{lg}t$ ,  $T_{0,5} = 15$  сут; 2 — 1978 г., гумус — 7,85%, ГТК — 1,28,  $C_0 = 9,98 - 4,54 \text{lg}t$ ,  $T_{0,5} = 13$  сут; 3 — 1980 г., гумус — 8,0%, ГТК — 2,18,  $C_0 = 10,0 - 4,62 \text{lg}t$ ,  $T_{0,5} = 14$  сут.

распада —  $T_{0,5}$  и  $T_{0,9}$  (время распада на 50 и 90% от исходной дозы). Значения их сильно варьировали в зависимости от препарата и года исследований. Так,  $T_{0,5}$  бетанала составила 12—17 сут, гексилура — 29—78, пирамида — 55, ТХА —

13—29, эптама — 14—55, а ронита — 9—16 сут;  $T_{0,9}$  ТХА — 62—119, гексилура — 98—280 сут. Установлено, что значение  $T_{0,5}$  для всех препаратов коррелирует с гидротермическим коэффициентом за 2 мес после внесения гербицидов. Чем

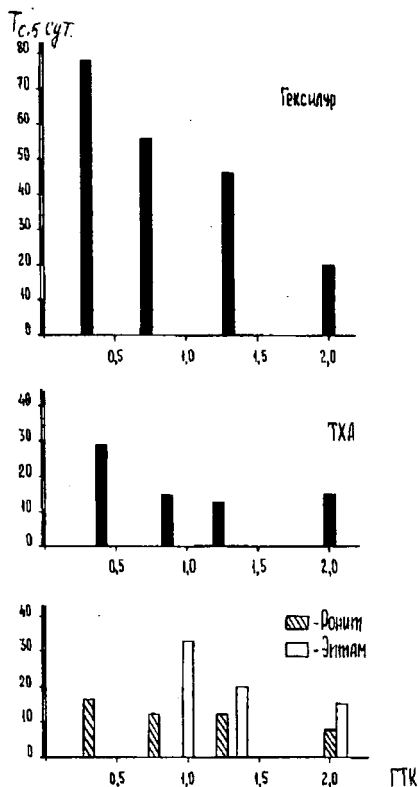


Рис. 3. Зависимость времени полураспада гербицидов от ГТК.

меньше значение коэффициента (рис. 3), тем выше  $T_{0,5}$  препарата. Значение  $T_{0,9}$  теснее коррелирует с показателем гидротермического коэффициента за весь вегетационный период. Наиболее стабильным в почве был гексилур. В засушливые годы его остатки сохранялись в почве более года, что вызывало повреждение ячменя, следующего в севообороте за сахарной свеклой. Наиболее подвижным в черноземной почве оказался ТХА. При внесении в слой 0—5 см он перемещался до глуби-

ны 20 см. Остальные препараты были малоподвижными.

*Реакция культурных растений агрофитоценозов на гербициды.* Избирательность гербицидов относительна, что подтверждается их определенной токсичностью для защищаемых культур, по отношению к которым гербициды выступают как новый экологический фактор. Они могут влиять на многие процессы метаболизма растений и вызывать отклонения от нормы. Ответная реакция растений зависит от биологических особенностей последних, типа и дозы препарата, погодных условий.

Гербициды ацетлур, гексилур, ТХА, эптам и его смеси с гексилуром заметно ингибировали рост и развитие сахарной свеклы на ранних этапах ее развития, что выражалось в снижении массы проростков и содержания в них сахаров. В этот период роста уменьшалось также содержание хлорофилла, повышалась активность инвертазы в листьях, снижалось содержание азота, фосфора и калия. Определение интенсивности фотосинтеза с использованием  $^{14}\text{C}$  выявило уменьшение ассимиляции углекислоты и оттока ассимилятов в корни.

Указанные проявления фитотоксичности гербицидов были сильно выражены только в начале вегетации и в засушливых условиях (табл. 3). К уборке заметных различий между опытными и контрольными растениями, урожаем корнеплодов и их качеством не наблюдалось (табл. 3). Такую ответную реакцию свеклы на воздействие гербицидов мы рассматриваем как результат постепенной ее адаптации к данному стресс-фактору. Ответная реакция на воз-

действие гербицидов изученных нами культурных растений во многом определялась сортовыми особенностями. Так, растения свеклы триплоидного внутрисортного гибрида В-038 (4n x 2n) более устойчивы к гербицидам эптам и тиллам, чем диплоидные и тетраплоидные.

Сорта риса Солярис, Горизонт, Спальчик и Краснодарский 424 неодинаково реагировали на обработку пропанидом, сатурном, базараном, 2,4-Д и их смесями. В вегетационных опытах они вызывали снижение продуктивности риса на 2—28%.

Т а б л и ц а 3

**Рост, развитие, урожай сахарной свеклы и качество урожая при обработке гербицидами**

Показатель	Без гербицида		Эптам (6 кг) + гексилур (2 кг)	
	1975 г.	1976 г.	1975 г.	1976 г.
Гидротермический коэффициент (ГТК)	1,07	1,76	1,07	1,76
Густота всходов, шт. на 1 м рядка	34	20	32	20
Хлорофилл в листьях в фазу «вилочки», мг/г	1,55	1,39	1,15	1,08
Сахар, % на сырую биомассу:				
в фазу «вилочки»	0,21	0,30	0,18	0,26
к уборке	19,40	18,50	19,40	18,60
Активность инвертазы, мг за 1 ч	2,64	5,31	3,05	5,51
N, % на абс. сухую массу	3,84	2,88	3,28	2,80
P, % » » » »	0,98	0,96	1,16	1,05
K, % » » » »	4,26	3,70	4,67	3,50
Урожай корнеплодов, т/га	41,40	36,90	40,30	37,40

Специальными исследованиями установлено, что систематическая в течение 3 лет обработка гербицидами свеклы начиная с суперэлиты до I репродукции не отражается на репродукционном процессе, не ухудшает сортовых признаков, технологических и биохимических показателей качества корнеплодов и семян. Остаточные количества гербицидов в урожае сахарной свеклы (табл. 4) и риса не превышали максимально допустимого уровня (МДУ).

Из сказанного следует, что применение гербицидов в соответствии

с научно обоснованными регламентами не вызывает существенных необратимых изменений в формировании урожая сахарной свеклы и риса, не влияет на технологические, биохимические и гигиенические показатели продукции.

*Экотоксикологическая оценка опасности гербицидов для агроценоза.* В настоящее время нет единого методологического подхода к оценке степени опасности гербицидов для агроценоза и окружающей среды. Трудность такой оценки состоит в многообразии взаимосвязанных факторов, влияющих на пове-

**Остаточные количества гербицидов (мг на 1 кг сухой массы) в корнеплодах сахарной свеклы в 1978 г. (числитель) и в 1979 г. (знаменатель)**

Гербицид и его доза в д.в., кг/га	ГТК за вегетационный период	Остатки, мг/кг, через			МДУ, мг на 1 кг биомассы
		30 дн.	160 дн.	90 дн.	
Бетанал*, 1,0	<u>1,28</u>	<u>0,15</u>	<u>0,010</u>	<u>Н.о.</u>	0,20
	2,16	0,20	0,015	0,010	
Гексилур, 2,0	<u>1,28</u>	<u>0,20</u>	<u>0,15</u>	<u>0,07</u>	0,50
	1,16	0,25	0,20	0,10	
Ронит, 6,0	<u>1,28</u>	<u>0,1</u>	<u>Н.о.</u>	<u>Н.о.</u>	0,30
	0,76	0,2	Н.о.	Н.о.	
ТХА, 10,0	<u>1,28</u>	<u>0,5</u>	<u>0,010</u>	<u>Н.о.</u>	0,01
	0,10	0,6	0,015	Н.о.	
Эптам, 6,0	<u>1,28</u>	<u>0,2</u>	<u>0,025</u>	<u>Н.о.</u>	0,05
	0,76	0,3	0,020	Н.о.	

\* В знаменателе данные за 1980 г.

ление гербицидов в объектах окружающей среды, и в отсутствие надежных достоверных количественных нормативов для характеристики этого процесса. По нашему мнению, основой решения данной проблемы должен стать системный подход, учитывающий весь комплекс агроэкономических, гигиенических и экотоксикологических параметров.

При оценке последствий применения гербицидов для агроценозов сахарной свеклы и риса мы использовали следующие критерии: экологическую нагрузку (ЭН), степень прогнозируемого загрязнения (ПЗ), агроэкотоксикологический индекс (АЭТИ) и экологический коэффициент опасности (ЭКО). Экологическую нагрузку определяли исходя из дозы препарата, времени его полураспада и токсичности для теп-

ловровных. Прогнозируемое загрязнение (ПЗ в условных кг/га) рассчитывали с учетом дозы гербицида, средневзвешенной степени опасности (расчет по токсичности для теплокровных и рыб, времени распада в почве, коэффициенту кумуляции) и индекса способности территории к самоочищению (0,7 для ЦЧЗ и 0,8 для Краснодарского края). По значению ПЗ в соответствии с уравнением Михаэлиса — Ментена был рассчитан АЭТИ. Из табл. 5 следует, что ЭН и ПЗ при использовании предлагаемого нами ассортимента гербицидов для сахарной свеклы и риса не превышают условных 4 кг/га, а АЭТИ меньше 1. Это позволяет считать экологическую ситуацию в агроценозе практически безопасной. Вместе с тем важно определить степень опасности возможных экологических последствий в стоимост-

ной форме, т.е. экономически. Для этой цели нами предложен экологический коэффициент опасности (ЭКО) каждого гербицидного препарата. Он представляет собой относительное значение в долях от единицы суммарной опасности препарата, рассчитанной по специальной экотоксикологической шкале. Последняя предусматривает оценку (в баллах) степени отрицательного действия каждого гербицида на агроценоз по следующим показателям: персистентность в почве, действие

на почвенные ферментативные процессы, миграция по почвенному профилю, транслокация в культурном растении, реакция на инсоляцию, МДУ для урожая, пороговая концентрация для питьевой воды и рыбохозяйственных водоемов, действие на качество урожая, летучесть, токсичность для млекопитающих, кумуляция в организме теплокровных. Оценка экологической опасности применения гербицидов по этой шкале точнее, чем по шкале расчета АЭТИ.

Т а б л и ц а 5

**Экотоксикологическая оценка опасности гербицидов для агробиоценоза**

Гербицид и его доза в д.в., кг/га	Экологическая нагрузка	ПЗ, условные кг/га	АЭТИ	ЭКО
Ацетлур, 8,6	0,12	3,07	0,39	0,41
Бетанал, 1,0	0,02	0,24	0,0007	0,18
Гексилур, 2,0	0,01	0,80	0,005	0,19
Дуал, 2,0	0,03	0,57	0,004	0,20
Зеллек, 0,5	0,06	0,10	0,0003	0,11
Лонтрел, 0,2	0,0004	0,05	0,0001	0,17
Нортрон, 6,0	0,04	1,70	0,066	0,19
Ронит, 6,0	0,03	1,43	0,041	0,17
ТХА, 10,0	0,05	2,86	0,315	0,22
Эптам, 5,0	0,07	1,40	0,041	0,19
Базагран, 1,9	0,16	0,45	0,004	0,12
Ордрам, 6,0	0,40	1,70	0,066	0,22
Пропанид, 9,0	0,10	2,14	0,130	0,16

Чем больше ЭКО препарата, тем более он опасен для агроценоза, а значит, и требует больших затрат на экологический мониторинг, затрат на устранение отрицательных экологических последствий. Использование ЭКО позволяет выбрать из предполагаемого ассортимента препараты, наиболее безопасные для агроценоза. Судя по значениям ЭКО,

наиболее экологически безопасными препаратами в посевах сахарной свеклы следует считать: зеллек (ЭКО 0,11), лонтрел (0,17), бетанал (0,18), ронит (0,17), фузилад (0,14), эптам (0,19); в посевах риса — базагран (0,12), сатурн (0,12) и пропанид (0,16).

*Эколого-экономическая оценка эффективности применения герби-*

цидов в посевах сельскохозяйственных культур. Обычно для оценки экономической эффективности гербицидов стоимость сохраненного урожая и сэкономленные на прополке сорняков средства сопоставляются с затратами на приобретение и внесение гербицидов. Однако в этом случае не учитываются затраты на биоценотический мониторинг по сорнякам, на экологический мониторинг возможных воздействий гербицидов в агроценозе и затрат на ликвидацию последствий их применения. Правильные выводы о целесообразности использования гербицидов могут быть сделаны только на основе определения эколого-экономической эффективности по всем перечисленным выше параметрам.

Нами предложена методика расчета эколого-экономического эффекта от применения гербицидов в посевах сахарной свеклы и риса. Реальная стоимостная оценка затрат, связанных с возможным экологическим ущербом, определяется ЭКО конкретного препарата для агроценоза. Такие затраты для сахарной свеклы составили 5—15% всей их суммы, для риса — 10—15%. Расчеты показали, что включение дополнительных затрат в общую их сумму при оценке эффективности использования гербицидов снижает конечные экономические показатели, рассчитанные без учета этих затрат, на 4—15%. Тем не менее и при такой методике рентабельность применения гербицидов оказалась достаточно высокой: для сахарной свеклы — 117—150, для риса — 85—140%.

Наши исследования убедительно свидетельствуют о том, что основными критериями научно обосно-

ванного использования гербицидов являются экологический порог вредности сорняков (ЭПВ) и экономический порог целесообразности (ЭПЦ). Методика расчетов этих критериев не учитывает затрат на ликвидацию возможных неблагоприятных воздействий гербицидов на экологию. По нашему мнению, ЭПВ и ЭПЦ должны обязательно определяться с учетом такого рода затрат. В итоге это будут новые критерии — эколого-экономический порог вредности (ЭЭПВ) и эколого-экономический порог целесообразности применения гербицидов (ЭЭПЦ). По нашим данным, значения ЭЭПВ и ЭЭПЦ для разных гербицидов в посевах сахарной свеклы в 1,5—2 раза выше соответствующих значений ЭПВ и ЭПЦ.

*Энергосберегающая эффективность применения гербицидов.* Использование гербицидов является одним из важнейших приемов сокращения энергетических затрат на возделывание сельскохозяйственных культур.

Механические приемы уменьшения засоренности посевов — это энергоемкие процессы, особенно при возделывании таких культур, как сахарная свекла и рис. По нашим расчетам, при возделывании сахарной свеклы дополнительные агроприемы исчисляются в 1,98 эталонного гектара с энергетическими затратами 2107 МДж/га, что эквивалентно расходу 26,5 кг дизельного топлива на 1 га, в посевах риса — 2,5 эталонного гектара и 2663 МДж/га, что эквивалентно расходу топлива 33,5 кг/га.

Для оценки энергосберегающей эффективности гербицидов нами использован коэффициент эффектив-

ности энергозатрат (всех затрат и дополнительных). Это отношение энергии, накопленной в урожае или его прибавке за счет применения гербицидов, к совокупной энергии, затраченной на возделывание культуры, или к дополнительной энергии на использование гербицидов. Значение коэффициента эффективности всех затрат увеличивалось с ростом прибавки урожая при использовании гербицидов. Оно было в 1,6—2,0 раза выше, чем в вариантах без гербицидов. Коэффициент эффективности дополнительных энергозатрат был соответственно в 1,5—3,6 раза выше. По нашим расчетам, использование гербицидов в посевах сахарной свеклы дает экономию энергозатрат, эквивалентную 36—66 кг дизельного топлива на 1 га; в посевах риса — 9—26 кг.

*Биоценотическая и экологическая модель регулирования численности сорных растений в агрофитоценозах с использованием гербицидов.* На основании результатов многолетних исследований нами предложена биоценотическая и экологическая модель обоснования выбора гербицидов для регулирования численности сорняков в агроценозах (рис. 4). В соответствии с этой моделью конечной целью применения гербицидов является не тотальное уничтожение сорняков, а регулирование их численности на уровне ниже порога вредности при обеспечении максимальной безопасности для окружающей среды. Модель включает 4 взаимосвязанных блока параметров, учет которых необходим для достижения указанной цели. Блок биоценотического мониторинга является определяющим в решении вопроса о необходи-

мости использования гербицидов. Данное решение должно основываться на результатах обследований состояния засоренности почвы и посевов. С этой целью необходимо создавать и постоянно пополнять банк данных о фактической засоренности и запасе семян в почве, динамике их жизнеспособности, источниках пополнения этого запаса, влиянии технологических приемов возделывания культур на засоренность почвы и посевов в конкретных почвенно-климатических условиях. Особое значение имеет изучение биологии и вредности сорных растений. Эти данные служат базой для прогнозирования видового состава и степени засоренности посевов, определения порогов вредности, оценки вероятных потерь урожая в конечном итоге и целесообразности применения гербицидов. Результаты биоценотического мониторинга определяют стратегию и тактику использования гербицидов, которые включены в технологический блок. На основании данных о видовом составе и степени засоренности почвы и посевов подбирается необходимый ассортимент гербицидов, разрабатываются система и технология его применения для каждой культуры с учетом ее сортовых особенностей. При выборе технологии следует учитывать оптимальные нормы расхода, сроки и способы внесения, сочетание с другими пестицидами и удобрениями. В результате составляется схема применения гербицидов в севообороте в сочетании с другими приемами.

Выбор препаратов проводится с учетом возможных исследований их применения. Использование герби-

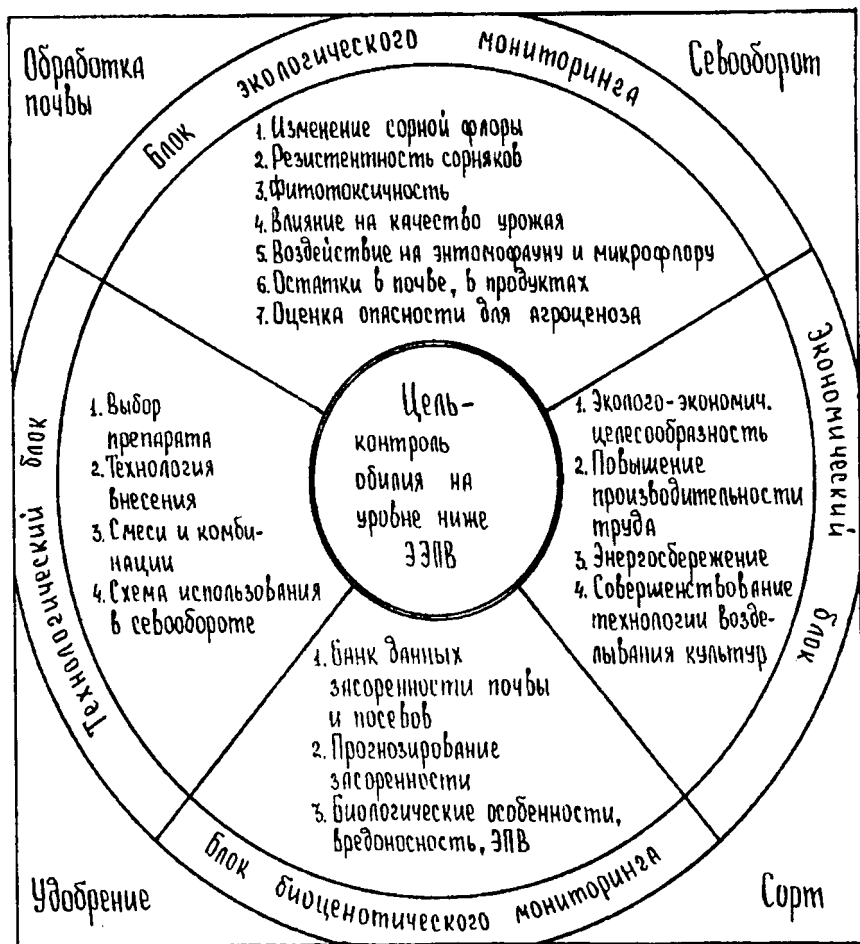


Рис. 4. Биоценотическая и экологическая модель обоснования выбора гербицидов для контроля сорного компонента агроценоза.

цидов необходимо сопровождать постоянной оценкой их опасности для агроценоза и экологическим мониторингом. Эти положения в предлагаемой модели отражены в виде специального блока. Экологический мониторинг включает в себя определение и оценку всех элементов побочного воздействия герби-

цидов, что дает возможность объективно оценить степень опасности препаратов для окружающей среды.

Обоснованные выводы об экономической целесообразности использования гербицидов можно сделать только на основании определения их эколого-экономического эффекта, что и отражено в специальном



блоке модели. Результаты наших исследований показали, что наиболее точное определение экономической эффективности гербицидов может быть достигнуто только при включении затрат на биоценоотический и экологический мониторинг в общую сумму затрат на использование гербицидов.

### Выводы

1. Применение гербицидов в настоящее время является составной и необходимой частью интегрированной системы снижения потерь урожая от сорных растений до минимума. Для обеспечения экологически безопасного их использования необходима разработка нового научного подхода, основанного на биоценоотических и экологических исследованиях.

2. В ЦЧЗ России выявлена высокая степень засоренности посевов сахарной свеклы и ее семенников (в среднем за 21 год — 186 шт/м<sup>2</sup>), которая определяется громадным запасом семян сорняков в почве (в среднем 762 млн шт/м<sup>2</sup>). Видовой состав и численность сорняков зависят от запаса всхожих семян в слое почвы 0—10 см и гидротермических условий в весенний период. Между численностью всходов и указанными выше показателями установлена тесная положительная корреляция.

В посевах культур свекловичного севооборота реализация потенциального запаса семян во всходы составила 3,6—9,8%, в том числе в посевах подсолнечника — 8,3, сахарной свеклы — 8,7, кукурузы — 9,8%, в посевах озимой пшеницы — 3,6, гороха — 3,7 и ячменя — 4,9%.

Потери урожая корнеплодов сахарной свеклы от сорняков составляли 45—78% потенциального урожая, а семян — 31%. Значительное снижение урожая в засоренных посевах (16—37%) характерно и для остальных культур севооборота.

Предложено количественную связь между урожайностью названных культур и уровнем засоренности выразить уравнениями линейной или показательной функции. Выведенные зависимости урожая от уровня засоренности позволяют определить агроэкономические критерии вредоносности сорняков, предопределяющие необходимость использования гербицидов для снижения потерь урожая.

3. Экономический порог вредоносности сорных растений в посевах сахарной свеклы в условиях ЦЧЗ в среднем за годы исследований составил 3—16 шт. в расчете на 1 м<sup>2</sup>; в посевах риса для клубнекамыша компактного — 2—3 клубня в почве или 2—10 стеблей в фазу полных всходов риса. Применение гербицидов в посевах этих культур необходимо и допустимо только в случаях превышения указанных порогов.

4. Для посевов сахарной свеклы и ее семенников в условиях ЦЧЗ была разработана, рекомендована и внедрена экологически безопасная и эффективная система применения гербицидов, включающая дозы, сроки и способы внесения препаратов, их смесей и комбинаций.

В посевах риса в Краснодарском крае разработана система применения гербицидов с учетом возделываемых сортов.

5. Применение гербицидов рассматривается нами как прием оперативного регулирования числен-

ности сорных растений агроценоза, который следует сопровождать проведением постоянного экологического мониторинга. Многолетние исследования влияния гербицидов при их научно обоснованном внесении не выявили существенных необратимых изменений показателей предложенного нами экологического мониторинга.

6. Комплексная оценка опасности гербицидов для агроценозов сахарной свеклы и риса по агроэкономическим, гигиеническим и экотоксикологическим критериям показала, что научно обоснованное использование гербицидов не вызывает нежелательных экологических изменений. Применение гербицидов в меньшей степени влияет на агроценоз, чем абиотическая среда.

7. При выборе оптимальной системы применения гербицидов предлагается проводить определение эколого-экономического эффекта. С этой целью в общие затраты на возделывание культур следует включать необходимые «экологические» затраты, в первую очередь на биоценотический и экологический мониторинг. В посевах сахарной свеклы такие затраты были равны 5—15, в посевах риса — 10—15% всей суммы затрат. Эколого-экономическая оценка использования гербицидов в посевах сахарной свеклы показала, что рентабельность их применения составила 117—150, а в посевах риса — 85—140%.

8. Научно обоснованное применение гербицидов является одним из важных приемов сокращения энергетических затрат при возделывании культур. В посевах сахарной свеклы это дает экономию 36—66 кг дизельного топлива в расчете на 1 га,

в посевах риса — 9—26 кг. Среди известных приемов снижения вредоносности сорняков применение гербицидов обеспечивает наиболее высокую окупаемость энергетических затрат.

9. С целью научно обоснованных выбора и использования гербицидов для регулирования численности сорняков на уровне эколого-экономических порогов вредоносности нами предложена биоценотическая и экологическая модель, включающая четыре взаимосвязанных блока: биоценотический — мониторинг по засоренности почвы и посевов; технологический — выбор гербицидов, доз, сроков и способов их внесения; экотоксикологический — оценка поведения гербицидов в биоценозах; экономический — оценка эколого-экономической и энергетической эффективности используемых препаратов.

Внедрение этой модели предопределяет оптимизацию использования гербицидов и способствует охране окружающей среды.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Васильев П.П., Кавецкий В.Н., Бублик Л.И.* Критерии целесообразности применения пестицидов. — Защита растений, 1989, № 10, с. 15—18. — 2. *Воеводин А.В.* Агробиологический аспект применения гербицидов. — В сб.: Экол. основы предотвращения потерь урожая от вредителей, болезней и сорняков. — М.: Агропромиздат, 1986, с. 11—19. — 3. *Голубев А.В.* Удобрять, не разрушая. Саратов: Приволж. кн. изд-во, 1990. — 4. *Груздев Г.С., Захаренко В.А. и др.* Методические указания по изучению экономичес-

ких порогов и критических периодов вредоносности сорняков в посевах с.-х. культур. М.: Агропромиздат, 1985. — 5. *Доспехов Б.А.* Методика полевого опыта. М.: Колос, Агропромиздат, 1986. — 6. *Захаренко В.А.* Методика оценки экономических порогов вредоносности применения гербицидов. М.: ВАСХ-НИИ, ВНИИЭСХ, 1979. — 7. *Клисенко М.А.* Методы определения микроколичеств пестицидов в продуктах питания, кормах и внешней среде. М.: Колос, 1983. — 8. *Мельников Н.Н.* Пестициды и окружающая среда. — *Агрохимия*, 1990, № 12, с. 71—94. — 9. *Плохинский Н.А.* Математические методы в биоло-

гии. М.: Изд-во МГУ, 1978. — 10. *Соколов М.С., Стрекозов Б.П.* Содержание и задачи исследований по экотоксикологии пестицидов. — *Химия в сельск. хоз-ве*, 1981, № 10, с. 5—7. — 11. *Танский В.И.* Принципы определения экономических порогов вредоносности насекомых и сорняков. — Сб. науч. тр. ВИЗР. Л., 1982, с. 65—71. — 12. *Яблоков А.В.* Об отрицательных последствиях применения пестицидов. — *Сельхоз. биология*, 1988, № 3, с. 99—105. — 13. *Яблоков А.В.* Ядовитая приправа, проблемы применения ядохимикатов и пути экологизации сельского хозяйства. М.: Мысль, 1990.

*Статья поступила 16 марта 1995 г.*

## SUMMARY

On the base of analysing the results of investigations conducted for many years, agroecological concepts of substantiation and selection of herbicides for sugar beet and its seed plants in Central Chernozem Zone, as well as for rice in Krasnodarsky region were developed for the first time. Technology for efficient and safe application of herbicides is suggested. For the agrobiocenoses named a complex biocenotic, hygienic and ecotoxicological estimation of after-effects of applying herbicides is given. Realization of the system of applying herbicides in sugar beet and rice plantations developed by the author allows to cultivate these crops in the mentioned above regions with high economic efficiency and to obtain ecologically pure produce.