

УДК 632.3.001(470.31):[631.51+632.954

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ СОРНОГО КОМПОНЕНТА АГРОФИТОЦЕНОЗА В ЗЕМЛЕДЕЛИИ ЦЕНТРАЛЬНОГО РАЙОНА НЕЧЕРНОЗЕМНОЙ ЗОНЫ РОССИИ

А.И. ПУПОНИН, А.В. ЗАХАРЕНКО

(Кафедра земледелия и методики опытного дела)

В результате многолетних исследований в полевых стационарных опытах разработаны теоретические и практические основы регулирующего воздействия элементов системы земледелия на сорный компонент агрофитоценоза. Определены закономерности изменения количественных и качественных его параметров под действием многолетнего (20—25 лет) применения разных по интенсивности систем обработки почвы, удобрения, гербицидов. Теоретически обоснованы основные принципы и этапы разработки системы управления сорным компонентом (СУСК). Дана экотоксикологическая оценка многолетнего систематического применения гербицидов в посевах сельскохозяйственных культур. Выявлена агротехническая и энергетическая эффективность минимализации основной и предпосевной обработок почвы в севооборотах различной специализации.

Одним из путей научно-технического прогресса в земледелии является переход на научно обоснованные, экологически сбалансированные, ресурсосберегающие системы защиты сельскохозяйственных культур от сорных растений [5, 12, 14].

Необходимость разработки научных и практических основ регулирования сорного компонента

агрофитоценоза вызвана, с одной стороны, недостаточной эффективностью обычно применяемых защитных мероприятий, не в полной мере учитывающих изменение эколого-ценотических условий развития агрофитоценозов при современных системах земледелия, с другой — определенной положительной ролью сорных растений в формировании и раз-

витии эколого-энергетических взаимоотношений в агроценозах.

Целью наших исследований была разработка научных основ регулирования сорного компонента полевых агрофитоценозов при совершенствовании отдельных элементов системы земледелия в Центральном районе Нечерноземной зоны России. В связи с этим решали следующие задачи:

— изучить агротехнические, экологические и ценотические особенности многолетнего регулирующего воздействия основных элементов системы земледелия и их сочетаний на количественные и качественные параметры сорного компонента агрофитоценоза;

— разработать методологические и методические положения оценки эффективности защитных мероприятий и обосновать новые агроэнергетические критерии для определения вредоносности сорного компонента агрофитоценоза;

— установить экологические последствия многолетнего систематического применения гербицидов в посевах сельскохозяйственных культур и изучить особенности динамики их остаточных количеств в пахотном слое при разных по интенсивности и характеру воздействия на почву системах обработки.

Методика

Исследования проводили с 1982 по 1995 г. на экспериментальной базе Тимирязевской академии — в учхозе «Михайловское» Подольского района Московской области с использованием полевого, вегетационно-полевого, веге-

тационного и лабораторного методов. Почва опытного участка — дерново-подзолистая легкая и среднесуглинистая.

Всего проведено 2 многолетних (от 22 до 25 лет) 3-факторных стационарных полевых опыта, 7 краткосрочных одно- и 2-факторных полевых опытов, 11 вегетационных и вегетационно-полевых опытов.

Один из 3-факторных опытов 7 x 2 x 2 был заложен в 1972 г. А.И. Пупониным на Почвенно-агрономической станции им. В.Р. Вильямса ТСХА (Подольский район, Московская область). В нем изучаются 7 систем обработки почвы, 2 севооборота и 2 фона гербицидов; другой — 9 x 7 x 2 — заложен в 1969 г. Б.А. Доспеховым на той же станции. В этом опыте изучаются 9 систем обработки почвы, 7 вариантов удобрения и 2 варианта гербицидов.

Исследования проводили в строгом соответствии с требованиями методики полевого опыта. Подробно программы исследований и схемы экспериментов описаны в опубликованных работах [7, 13]. Полученные данные обработаны методами дисперсионного, корреляционного и регрессионного анализов с использованием разработанного на кафедре земледелия и методики опытного дела ТСХА пакета прикладных программ «STRAZ» на ПЭВМ РС/AT-386.

Результаты

Одним из существенных факторов, влияющих на количественные и качественные параметры сорного компонента агрофитоце-

ноза, являются разные по интенсивности и характеру воздействия на почву системы ее механической обработки.

Анализ ряда работ [1, 5, 12, 14] и результаты наших исследований свидетельствуют, что системы минимальной (без оборачивания пласта и перемешивания всего пахотного слоя) обработки почвы в севооборотах приводят на 4—5-й год к резкому увеличению засоренности посевов и существенному снижению урожайности полевых культур если одно-

временно не применяются гербициды.

В среднем за ротацию (1987—1992 гг.) зернопропашного севооборота уровень засоренности посевов полевых культур при системах обработки почвы с условными названиями комбинированная, отвальная с фрезерованием, трехъярусная и отвальная с дискованием в сочетании с гербицидами был ниже, чем при традиционной для Нечерноземной зоны России системе отвальной обработки почвы (табл. 1).

Таблица 1

Структура сорного компонента агрофитоценоза в зернопропашном севообороте при разных системах обработки почвы в сочетании с гербицидами (среднее за 1987—1992 гг.)

Система обработки почвы (условное название)	Засоренность посевов, шт/м ²	Видовой состав, % к общей численности				
		пикуль- ник зябра	горцы	трех- реберник непахучий	звезд- чатка средняя	прочие
Отвальная (контроль)	59	49,9	17,6	12,1	1,9	18,5
Комбинированная	33	47,9	21,4	11,3	5,1	14,3
Фрезерная минимальная	60	24,0	36,7	9,1	12,2	18,0
Фрезерная интенсивная	68	27,7	32,4	10,5	14,0	15,4
Отвальная с фрезерованием	42	50,2	23,0	8,8	6,6	11,4
Отвальная с дискованием	46	36,0	27,0	9,2	10,2	17,6
НСР ₀₅	12	—	—	—	—	—

Более высокая засоренность посевов при системах фрезерной интенсивной и фрезерной минимальной обработок обусловлена концентрацией основной массы жизнеспособных семян сорняков в верхней части (0—10 см) пахотного слоя, а также созданием за счет предпосевного фрезерования благоприятных условий для раннего их прорастания. Высокой эффективностью регулирующего воздействия на сорный компонент характеризуется сочетание от-

вальной обработки на глубину 20—22 см под парозанимающую культуру и картофель с фрезерной минимальной под зерновые культуры.

При всех системах обработки почвы в сообществе малолетних сорняков наибольшее распространение получили: пикульник зябра (*Galeopsis speciosa* Mill.) — 24—50% общего числа малолетников, трехреберник непахучий (*Tripleurospermum inodorum* (L.) Sch.Bip.) — 8—12%, фиалка по-

левая (*Viola arvensis* Murr.) — 4—9% и звездчатка средняя (*Stelaria media* (L.) Cyr.) — 2—14%. При минимализации обработки почвы путем замены ежегодной вспашки поверхностными или мелкими обработками в сообществе малолетников увеличивается доля участия сорняков, семена которых прорастают при относительно низкой температуре почвы и воздуха (виды горцев — *Polygonum* sp. L., звездчатка средняя). Наличие послеуборочных остатков при этих системах обработки способствует лучшей перезимовке озимых и зимующих сорняков.

В зернопропашном севообороте при многолетнем (18—20 лет) применении систем обработки почвы с использованием орудий с отвальными рабочими органами в сообществе малолетних сорняков отмечается увеличение доли пикульника зябра. Дольевое участие мари белой (*Chenopodium album* L.), трехреберника непахучего и пастушьей сумки (*Capsella bursa pastoris* (L.) Medic.) в сообществе практически не зависело от систем обработки почвы.

Система фрезерной минимальной обработки приводит к увеличению доли корнеотпрысковых сорняков, практически не влияя на долю других многолетников, а системы отвальной с фрезерованием и чизельной с фрезерованием обработок почвы — к заметному уменьшению доли корнеотпрысковых многолетников. При отвальной обработке почвы с дискованием наблюдалось увеличение доли участия в агрофитоценозе как корнеотпрысковых, так и корневищных сорняков. При ми-

нимализации обработки почвы одной из причин увеличения доли корнеотпрысковых сорняков является интенсивное отрастание их побегов в послеуборочный период, что позволяет им сформировать дополнительный запас вегетативных зачатков в пахотном слое.

При минимализации основной и предпосевной обработок почвы в структуре сорного компонента малолетние сорняки занимают доминирующее положение как по численности, так и по вегетативной массе.

На численность и видовой состав сорного компонента в отдельные годы оказывали влияние биологические особенности полевых культур и состояние посевов, технология возделывания и метеорологические условия вегетационного периода.

Известно, что в системе управления сорным компонентом агрофитоценоза важное место принадлежит севообороту, поскольку он повышает эффективность регулирующего воздействия систем обработки почвы и гербицидов.

Нами определены агроэкологические закономерности изменения количественных и качественных параметров сорного компонента в севооборотах различной специализации (зернотравяном, зернопропашном, плодосменном). Так, в плодосменном севообороте засоренность посевов полевых культур в среднем за 4 ротации (1975—1994 гг.) была на 30% ниже, чем в зернотравяном (75% зерновых). Установленные различия обусловлены изменением видового состава сорного компо-

нента под действием разных по биологии и агротехнике возделывания сельскохозяйственных культур. Высокая эффективность регулирующего воздействия плодосмена обусловлена не только заметным сокращением численности сорных растений, но и уменьшением доли участия наиболее вредоносных видов — пырея ползучего (*Agropyrum repens* L.), бодяка полевого (*Cirsium arvense* (L.) Scop.) и хвоща полевого (*Equisetum arvense* L.).

Для теории и практики совершенствования системы управления сорным компонентом агрофитоценоза важное значение имеет также определение эффективности регулирующего воздействия систем обработки почвы в севооборотах различной специализации на потенциальную засоренность почвы семенами и органами вегетативного размножения сорняков. Опыты показали, что неодинаковая потенциальная засоренность почвы при изучаемых в опыте системах обработки почвы обусловлена различиями в заделке и перемещении семян и вегетативных зачатков сорных растений в обрабатываемом слое. При использовании орудий с активными рабочими органами (типа ротационного плуга или фрезерного культиватора) от 30 до 40% семян сорняков, сосредоточенных в верхнем 5-сантиметровом слое почвы, остается в том же слое. При системе отвальной обработки этот слой с осыпавшимися семенами сорняков практически равномерно распределяется по слоям на глубину 10—15, 15—20 и 20—25 см.

Наиболее высокий эффект в снижении потенциальной засоренности верхней части пахотного слоя (0—10 см) в зернотравяном и плодосменном севооборотах достигался на фоне гербицидов при отвальной, сочетанной отвальной с нулевой и чизельной обработках почвы. Так, на 20-й год исследований засоренность слоя почвы 0—10 см при этих системах составила соответственно 25, 29 и 34% к исходному уровню (табл. 2). В зернопропашном севообороте аналогичный эффект отмечен при системах комбинированной и отвальной с фрезерованием обработок почвы.

При минимализации обработки почвы значительная часть семян сорняков накапливается в слое 0—10 см. В зернопропашном севообороте на 22-й год исследований при системах фрезерной минимальной, фрезерной интенсивной и чизельной с фрезерованием обработок засоренность этого слоя составила соответственно 102,8 млн шт/га, 105,4 и 129,7 млн шт/га, или 50—56% их общего запаса в слое почвы 0—30 см. Аналогичная закономерность в характере распределения семян сорняков по профилю почвы отмечена при системах нулевой, поверхностной, плоскорезной, роторной и чизельной обработок в зернотравяном и плодосменном севооборотах.

На основе полученных экспериментальных данных была установлена зависимость между потенциальной засоренностью верхней части пахотного слоя и засоренностью посевов при минимализации основной и предпосевной обработок. Корреляционно-

Потенциальная засоренность почвы при разных системах ее обработки

Система обработки (условное название)	Семена в слое 0—10 см, млн. шт/га			Органы вегетативного размножения в слое 0—40 см, см/м ²		
	1972 г.* (исходная)	1984 г.	1992 г.	1973* (исходная)	1983 г.	1990 г.
Отвальная	253,0	85,4	62,6	1048	66	84
Нулевая	353,0	183,9	155,1	2339	539	365
Поверхностная	336,0	127,6	115,9	1152	358	123
Чизельная	299,0	126,4	101,5	1048	187	104
Роторная	316,0	139,5	123,5	1022	204	156
Плоскорезная	253,0	115,2	106,8	928	338	216
Сочетание отвальной и нулевой	374,0	143,8	108,4	3090	67	75

*Данные Б.А. Смирнова

регрессионный анализ этих данных в среднем за ротацию зернопропашного севооборота (1987—1992 гг.) позволил выявить существенную корреляционную зависимость между числом семян сорняков в слое почвы 0—10 см и засоренностью посевов полевых культур при системах фрезерной минимальной (коэффициент корреляции 0,78), отвальной с фрезерованием (0,84), чизельной с фрезерованием (0,92) системах обработки почвы; при системе отвальной обработки корреляционная связь между этими показателями была значительно слабее (0,43).

Таким образом, для прогнозирования засоренности посевов полевых культур (y , шт/м²) в зависимости от числа семян сорных растений в слое почвы 0—10 см (x , млн шт/га) могут быть использованы следующие уравнения линейной регрессии: $y = 0,76x + 15,5$ (система фрезерной минимальной обработки), $y = 1,02x - 21,9$ (система отвальной обработки почвы

с фрезерованием), $y = 1,12x - 9,18$ (система чизельной обработки почвы с фрезерованием).

В зернотравном, плодосменном и зернопропашном севооборотах на 20-й год исследований в слое почвы 0—30 см обнаружены семена 39 видов сорняков, в том числе 26 малолетних и 13 многолетних. Количественно преобладали семена малолетних видов сорных растений (до 90% общего числа семян в слое 0—30 см). При системах минимальной обработки в слое почвы 0—30 см были наиболее распространены семена пикульника зябра (20% общего числа семян), мари белой (10%), трехреберника непахучего (10%), видов горцев (10%).

Без интенсивного механического воздействия на пахотный слой корни многолетних сорняков распределялись поверхностно, а при многооперационной системе отвальной обработки — как правило, в более глубоких слоях. Эти различия являются одной из основных причин более раннего и

интенсивного отрастания побегов многолетних сорных растений при минимализации основной и предпосевной обработок почвы.

Многолетнее применение систем минимальной обработки почвы в сочетании с гербицидами способствует уменьшению засоренности почвы в слое 0—40 см органами вегетативного размножения многолетних сорняков. При высокой исходной засоренности почвы вегетативными зачатками на 18-й год исследований под действием указанных факторов она уменьшилась до 10—15% к исходному уровню.

Наши исследования подтвердили выводы других авторов о том, что применение гербицидов при минимализации обработки почвы позволяет существенно уменьшить засоренность посевов полевых культур. Эффективность действия гербицидов на биологическую группу малолетних сорняков была выше, чем на многолетние сорные растения. Ответной реакцией сорного компонента агрофитоценоза на систематическое применение гербицидов производных 2,4-Д было увеличение доли сорняков, устойчивых к действию гербицидов этой группы, что особенно заметно проявилось при минимализации обработки почвы. В среднем за 3-ю и 4-ю ротации зерноотраважного севооборота (1983—1990 гг.) при системах нулевой, поверхностной и плоскорезной обработок почвы доля сорных растений, устойчивых к действию производных 2,4-Д, составила соответственно 78, 88 и 79% общего их числа.

Результаты оценки влияния ми-

нимализации обработки почвы в сочетании с гербицидами на численность и видовой состав сорного компонента агрофитоценоза свидетельствуют о его устойчивости к регулирующим факторам внешнего воздействия. В связи с задачей повышения эффективности действия гербицидов нами впервые в Нечерноземной зоне России (1983—1986 г.г.) были начаты исследования эффективности гербицидов нового поколения (глина, глифосата) в посевах ячменя и озимой пшеницы при системах минимальной обработки почвы. В результате было установлено, что широко распространенные в агрофитоценозах Нечерноземной зоны России, устойчивые к действию 2,4-Д звездчатка средняя, пикульник ябры и трехреберник запаховый оказались очень чувствительными к глину и подавлялись на 90—100%. Высокую чувствительность к действию гербицида проявили также марь белая, ярутка полевая (*Taraxacum officinale* L.) и редька дикая (*Raphanus raphanistrum* L.). Торица полевая (*Spergula arvensis* L.), сушняк топяной (*Gnaphalium uliginosum* L.), дымянка лекарственная, фиалка полевая и хвощ полевой были более устойчивы к действию глины и подавлялись незначительно.

Применение глины на фоне систем нулевой и поверхностной обработок способствовало существенному увеличению урожайности ячменя преимущественно за счет увеличения числа продуктивных стеблей. Отрицательного влияния гербицида на рост и развитие ячменя не обнаружено.

Под действием глифосата значительно снижалась засоренность посевов полевых культур побегами пырея ползучего. В зернотравяном севообороте при системе нулевой обработки почвы она уменьшилась на 87% по сравнению с контролем. При системе плоскорезной обработки почвы применение глифосата обеспечивало практически полное очищение посевов от этого сорняка.

Результаты проведенных исследований подтвердили, что применение гербицидов в агрофитоценозах необходимо рассматривать не как отдельное мероприятие, а в комплексе с другими регулирующими мероприятиями (севооборотом, обработкой почвы, удобрением) с учетом фитосанитарного мониторинга агроценоза и прогноза возможных негативных последствий применения препаратов для окружающей среды.

При разработке системы управления сорным компонентом агрофитоценоза большое значение имеет выявление количественных и качественных изменений его параметров в системе земледелия. С учетом этого для разных почвенно-климатических зон обоснованы принципы, разработана и совершенствуется интегрированная комплексная система регулирования численности и видового состава сорных растений в посевах сельскохозяйственных культур [1, 2, 5, 9, 11, 14].

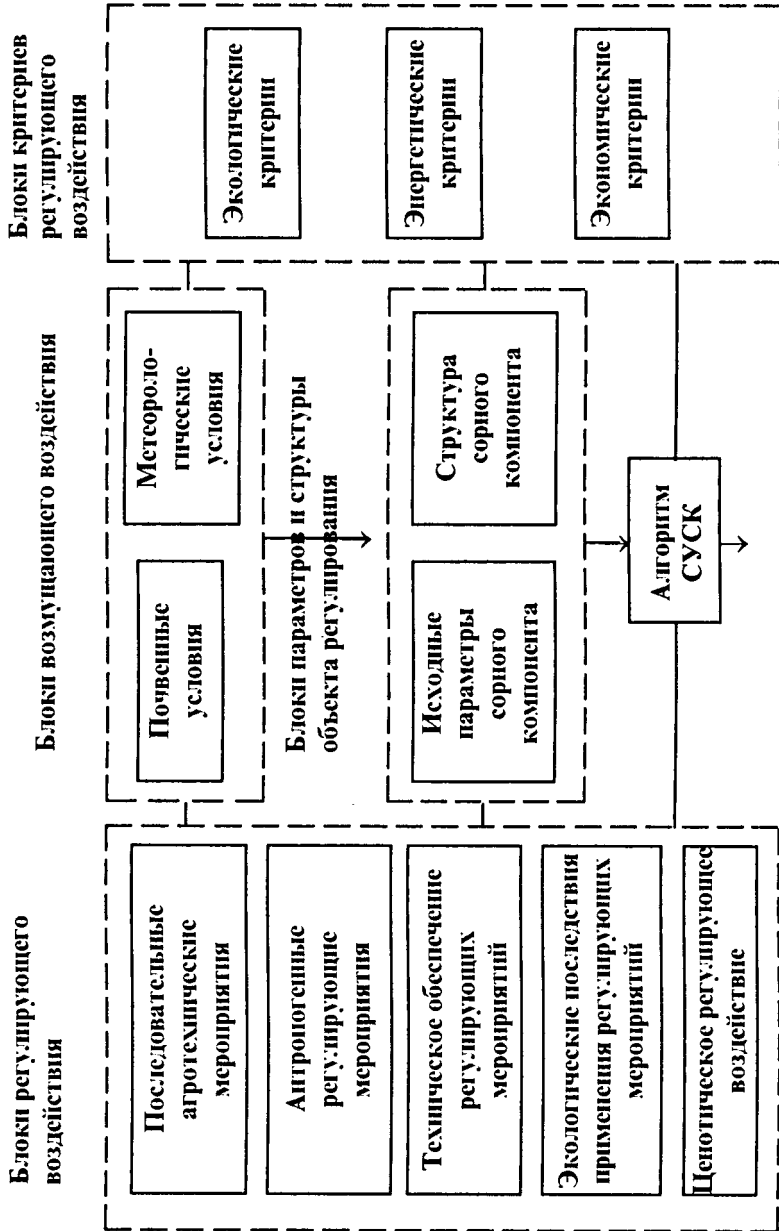
Разработка теоретических основ управления сорным компонентом полевых агрофитоценозов остается актуальной задачей при обосновании рациональных систем интегрированной защиты

растений в земледелии Центрального района Нечерноземной зоны России.

На основании результатов многолетних опытов по изучению характера и направленности изменения количественных и качественных параметров сорного компонента агрофитоценоза под действием отдельных элементов системы земледелия и их сочетаний, с учетом выявленных закономерностей и новых критериев оценки вредоносности сорного компонента нами впервые сформулированы и научно обоснованы основные принципы и этапы разработки системы управления сорным компонентом агрофитоценоза (СУСК) с позиций общей теории регулирования систем.

Главным принципом при разработке СУСК является принцип разделения многообразия влияющих на сорный компонент естественных и антропогенных факторов на отдельные информационные блоки (схема). Рассматриваемые в целом эти информационные блоки определяют характер и объем экспериментальных исследований, необходимых для идентификации контролируемых и неконтролируемых управляющей системой факторов и разработки алгоритма, реализация которого позволит осуществлять адекватное регулирующее воздействие на сорный компонент для достижения соответствия его параметров заданному уровню.

Разработка СУСК начинается с анализа исходных параметров сорного компонента, характеризующих фактическую засоренность посевов в верхней (0—10 см)



Блочная структура модели СУСК

части пахотного слоя, т.е. численности каждого вида вегетирующих сорных растений, их жизнеспособных семян и органов вегетативного размножения. Затем на основе экспериментальных данных проводится качественный анализ структуры сорного компонента агрофитоценоза для выявления видов сорняков, устойчивых к доступному ассортименту гербицидов, определяется уровень аллелопатической активности сорных растений, их реакция на отдельные виды удобрений с учетом норм внесения. На этом этапе уточняется конкурентоспособность культурных растений по отношению к отдельным видам сорняков, а также динамика прорастания их семян и отрастания органов вегетативного размножения в зависимости от почвенных и метеорологических условий.

На втором этапе фактические параметры, характеризующие сорный компонент, сопоставляются с заданными критериями регулирующего воздействия, включающими экологические, энергетические и экономические пороги вредности.

На третьем, заключительном этапе управляющая система отбирает из возможного перечня регулирующих мероприятий те из них, которые соответствуют требованиям и техническому обеспечению, и формирует алгоритм СУСК, на основе которого осуществляется адекватное регулирующее воздействие на сорный компонент агрофитоценоза с целью доведения его до параметров заданного уровня.

Алгоритм СУСК разрабатыва-

ется для каждой культуры севооборота, т.е. с учетом ее биологических особенностей и требований агротехники. Для достижения высокой эффективности алгоритма исходная информация должна быть получена на базе многолетних стационарных многофакторных опытов, заложенных в типичных для данной зоны почвенно-климатических условиях.

Среди информационных материалов, необходимых при разработке системы управления сорным компонентом агрофитоценоза, важными являются данные о закономерностях взаимоотношений культурных и сорных растений. Нами впервые были начаты исследования по определению тесноты и формы количественной взаимосвязи урожайности полевых культур и засоренности посевов при минимализации обработки почвы. В частности, для ячменя был установлен линейный характер взаимосвязи его урожайности и засоренности посевов.

Расчет взаимосвязи этих показателей для вариантов поверхностной обработки почвы проводился с использованием парного корреляционно-регрессионного анализа экспериментальных данных по 15 типам функциональной зависимости. В исследуемом интервале засоренности (0—100 шт/м²) данная взаимосвязь статистически достоверно отражается линейными уравнениями типа $y = a - bx$, где a — урожайность на участке, свободном от сорняков, ц/га; b — коэффициент, характеризующий вредность сорного компонента агрофитоценоза,

ц/га · (шт/м²)⁻¹; x — фактическая засоренность посевов, шт/м².

Хотя известно, что зависимость урожайности сельскохозяйственных культур от уровня обилия сорного компонента не всегда может быть выражена линейным уравнением, так как увеличение засоренности в достаточно широком интервале не ведет к пропорциональному снижению урожайности [1, 3, 15], тем не менее из-за отсутствия достаточно убедительного агробиологического обоснования всех предполагаемых уравнений и при обеспечении достаточной точности, предпочтительнее следует отдавать менее сложным линейным уравнениям.

Корреляционно-регрессионный анализ экспериментальных данных зависимости урожайности ячменя от времени совместного произрастания с сорными растениями при системе поверхностной обработки почвы позволил выявить сильную обратную линейную корреляционную связь между этими показателями (коэффициент корреляции $-0,9$).

При минимализации обработки почвы (замене вспашки на глубину 20—22 см поверхностным дискованием на 8—10 см) интенсивность конкурентного воздействия сорного компонента на культурные растения возрастает с увеличением как уровней обилия сорняков, так и продолжительности совместного произрастания культурных и сорных растений.

Известно, что экономические пороги вредности сорняков в посевах в настоящее время рассчитываются по результатам полевых опытов. При этом, как пра-

вило, рассматривается влияние различных уровней обилия сорного компонента на урожайность полевых культур при совместном их произрастании в течение всего вегетационного периода. Однако некоторые регулирующие мероприятия (например, обработка гербицидами) устраняют конкурентное воздействие сорняков не с самого начала вегетации, а по крайней мере с момента их применения. Поэтому нами предлагается уравнение для расчета экономических порогов вредности сорного компонента агрофитоценоза (ЭПВ) с учетом срока применения гербицидов:

$$\text{ЭПВ} = \frac{C_r H_r + Z_r}{C_n (X_v - X_r)}, \quad (1)$$

где C_r — цена гербицида, руб/га; H_r — норма внесения гербицида, кг/га; Z_r — затраты на внесение гербицида, руб/га; C_n — цена 1 ц урожая основной продукции, руб.; X_v и X_r — коэффициенты, характеризующие снижение урожайности в расчете на единицу засоренности соответственно за весь вегетационный период и за период с начала вегетации до применения гербицида, ц/га · (шт/м²)⁻¹.

При изменении цен на энергоснабжители, гербициды, сельскохозяйственную технику существующие экономические критерии оценки вредности сорного компонента агрофитоценоза нуждаются в постоянной корректировке и недостаточно адекватны. В этой связи нами обоснован и разработан принципиально новый подход к оценке вредности

ти сорного компонента агрофитоценоза с использованием энергетических критериев. Предложен новый критерий — энергетический порог вредоносности (ПВ_ε), который может быть рассчитан по уравнению

$$\text{ПВ}_\varepsilon = \frac{E_r H_r + E_b}{X_b^\varepsilon - X_r^\varepsilon}, \quad (2)$$

где E_r — энергетический эквивалент 1 кг гербицида, МДж; H_r — норма внесения гербицида, кг/га; E_b — энергозатраты на внесенные гербициды, МДж/га; X_b^ε и X_r^ε — коэффициенты, характеризующие энергетический эквивалент снижения урожайности в расчете на единицу засоренности соответственно за весь вегетационный период и период с начала вегетации до применения гербицида, МДж · (шт/м²)⁻¹.

Значения экономических и энергетических порогов вредоносности зависят от многих факторов (видового состава сорного компонента агрофитоценоза, энергосодержания гербицида, почвенно-метеорологических условий и др.) и рассчитываются для каждого региона по результатам полевых опытов на научно-исследовательских учреждениях.

Во взаимоотношениях между культурным и сорным компонентами важная роль принадлежит аллелопатии [4, 10, 16—18]. Вместе с тем в отечественной и зарубежной научной литературе практически отсутствуют экспериментальные данные об аллелопатической активности ризосферной почвы сорных растений при разных по интенсивности системах механической обработки почвы.

Полученные нами экспериментальные данные показали, что при системах нулевой и поверхностной обработок наиболее высоким уровнем аллелопатической активности отличалась почва ризосферы пырея ползучего. При минимализации обработки увеличивался уровень аллелопатической активности ризосферной почвы многолетних (бодяка полевого, осота полевого) и малолетних (пыкульника зябра, трехреберника непахучего) сорняков, что наиболее четко проявилось в начале вегетационного периода.

Повышенный аллелопатический потенциал ризосферной почвы сорных растений формируется при отсутствии интенсивного механического воздействия на пахотный слой, в котором сосредоточена основная масса семян и корней сорняков, и значительном разнообразии видов последних. При минимализации обработки почвы аллелопатические взаимоотношения культурного и сорного компонентов играют заметную роль в период прорастания сельскохозяйственных культур и на начальных стадиях их роста и развития, уступая в дальнейшем ведущее место конкурентным отношениям за условия жизни.

С современных позиций научное земледелие рассматривается как учение об агроэкосистемах, происходящих в них процессах энерго- и массообмена и приемах их направленного, экологически безопасного регулирования.

На основе анализа результатов наших исследований и литературных данных нами были разработаны методики оценки энергетической эффективности мероприя-

тий, регулирующих сорный компонент агрофитоценоза, при совершенствовании механической обработки почвы [6].

Наиболее высоким уровнем энергозатрат характеризуются системы обработки почвы, включающие применение энергоемкого ротационного плуга ПР-2,7, а также отвальных плугов типа ПН-4-35, ПЛН-4-35 и ПТК-3-40. Ежегодные затраты техногенной

энергии на механическую обработку почвы в среднем за 5 ротаций зерноотравного и плодосменного севооборотов (1975—1994 гг.) составили (тыс. МДж/га): при системе отвальной обработки — 2,74; нулевой — 1,01; поверхностной — 1,80; чизельной — 2,47; роторной — 3,70; плоскорезной — 2,10; сочетании отвальной и нулевой — 2,51 (табл. 3).

Т а б л и ц а 3

Энергетическая эффективность возделывания полевых культур при разных системах обработки почвы (среднее за 1975—1994 гг.)

Система обработки почвы	Энергозатраты на обработку почвы, МДж/га	Расход дизельного топлива на 1 ц корм.ед., кг	Энергоемкость 1 ц корм.ед., МДж	Коэффициент энергетической эффективности
Отвальная	2740	2,51	720	1,52
Нулевая	1010	1,93	696	1,56
Поверхностная	1800	2,16	680	1,61
Чизельная	2470	2,33	689	1,58
Роторная	3700	2,83	725	1,51
Плоскорезная	2100	2,46	715	1,53
Сочетание отвальной и нулевой	2510	2,43	705	1,55

Наиболее высокие коэффициенты энергетической эффективности и наименьшая энергоемкость получения основной продукции полевых культур отмечены при системах поверхностной и чизельной обработок почвы.

Среди изучаемых севооборотов самым высоким агроэнергетическим эффектом характеризовался четырехпольный плодосменный севооборот.

В структуре совокупных энергозатрат на всю технологию возделывания полевых культур доля удобрений составляет 43—47%. При минимализации обработки почвы высокий энергетический

эффект обеспечивает применение НРК или НРК с соломой и навозом.

Доля гербицидов в общей структуре энергозатрат сравнительно невелика, не превышает 5—7%. В среднем за ротацию зернопропашного севооборота энергосодержание дополнительного урожая, полученного за счет применения гербицидов, составило 21,6—24,1 тыс. МДж/га. При минимализации обработки почвы в севооборотах отмечается увеличение энергетической эффективности применения гербицидов.

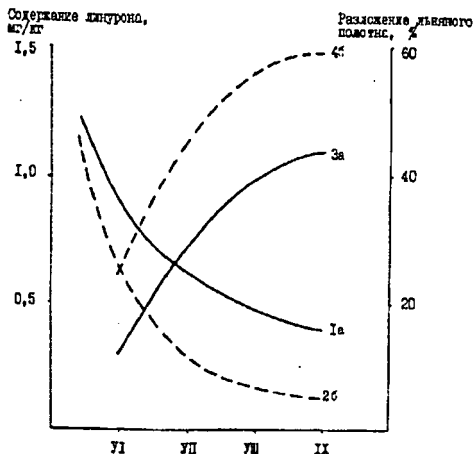
По разработанной нами методике с использованием многолет-

них экспериментальных данных были рассчитаны коэффициенты энергетической эффективности (K_e) регулирующего воздействия гербицидов на сорный компонент при совершенствовании механической обработки почвы. В результате установлено, что наиболее высокой энергетической эффективностью применения гербицидов отличаются системы чизельной ($K_e = 1,76$) и сочетания отвальной и нулевой обработок почвы ($K_e = 1,73$).

Большинство современных направлений совершенствования обработки почвы в Центральном районе Нечерноземной зоны России базируется на полной или частичной замене механических приемов борьбы с сорняками примененным гербицидов.

При минимализации обработки почвы возникает необходимость усиления интенсивности регулирующего воздействия на сорный компонент, что приводит к увеличению гербицидной нагрузки на агроценоз. В среднем за 5 ротаций зерноотравного и плодосменного севооборотов (1975—1994 гг.) наиболее высокий среднегодовой коэффициент экотоксикологической нагрузки гербицидов, рассчитанный по методу Н.Н. Мельникова (1989), отмечен при системах нулевой ($3,6—5,76 \cdot 10^{-2}$) и плоскорезной обработок почвы ($3,6—4,75 \cdot 10^{-2}$).

Нами впервые в Нечерноземной зоне России были начаты исследования динамики остаточных количеств гербицидов при разных



Динамика разложения линурона (1, 2) и микробиологическая активность дерново-подзолистой почвы (3, 4) при отвальной (а) и нулевой (б) системах обработки (среднее за 1983—1986 гг.).

по интенсивности системам обработки дерново-подзолистой среднесуглинистой почвы. Экспериментальные данные свидетельствуют, что процесс детоксикации фенолмочевинных гербицидов в пахотном слое (0—20 см) определяется микробиологической активностью почвы в течение вегетационного периода. В полевых условиях между содержанием остаточных количеств линурона и активностью целлюлозоразлагающей микрофлоры в пахотном слое почвы наблюдается тесная обратная корреляционная зависимость (коэффициент корреляции равен $-0,78$). Более высокая микробиологическая активность пахотного слоя при системе нулевой обработки способствовала более быстрому и полному разложению гербицида, чем при отвальной

(рисунок). При всех системах обработки линурон локализовался преимущественно в поверхностном слое почвы (0—5 см).

Динамика остаточных количеств симазина в пахотном слое дерново-подзолистой почвы в течение 8—11 дней после опрыскивания определяется двумя основными группами процессов: разложением гербицида под действием комплекса факторов и передвижением его остатков из верхней части пахотного слоя (0—10 см) в нижнюю (10—20 см) в основном за счет диффузии в жидкой фазе. При системе поверхностной обработки интенсивность такого передвижения была выше, чем при отвальной, что обусловлено меньшей объемной массой и большей некапиллярной пористостью слоя 0—10 см в этом случае.

На основе полученных нами экспериментальных данных и использования экспоненциальной функции ($C_t = C_0 e^{-kt}$), описывающей кинетику химических реакций первого порядка, рассчитаны константы скорости детоксикации гербицидов в пахотном слое дерново-подзолистой среднесуглинистой почвы и установлена возможность долгосрочного прогнозирования динамики их остаточных количеств при разных по интенсивности системах механической обработки почвы.

Результаты многолетних исследований (1983—1995 гг.) свидетельствуют, что в плодосменных, зернотравяных и зернопропашных севооборотах при внесении удобрений на планируемый урожай и систематическом применении гербицидов минимализация

основной и предпосевной обработки почвы путем замены традиционных приемов отвальной обработки безотвальными и путем совмещения предпосевной обработки почвы с посевом зерновых культур и однолетних бобово-злаковых смесей комбинированным агрегатом КА-3,6 обеспечивает урожайность полевых культур на уровне не ниже, получаемого при традиционной системе отвальной обработки, а в отдельные годы — существенно более высоком (табл. 4).

Минимализация обработки почвы в сочетании с гербицидами не оказывает заметного влияния на основные технологические показатели качества зерна озимой пшеницы (массу 1000 зерен, натурную массу, содержание белка, количество и качество клейковины, выход муки), овса (массу 1000 зерен, натурную массу, содержание белка и крахмала, пленчатость), ячменя (массу 1000 зерен, натурную массу, содержание белка) и клубней картофеля (содержание крахмала).

Остаточные количества пестицидов (2,4-ДА, линурона, симазина, 2М-4Х, утала, зенкора, арцеида, дециса, фталофоса) в основной и побочной продукции сельскохозяйственных культур не обнаружены или их содержание было значительно ниже установленных токсикологических норм.

Наибольший экономический эффект в зернотравяном и плодосменном севооборотах обеспечивает система чизельной обработки почвы, в зернопропашном — система отвальной обработки с дискованием. При данных системах

**Урожайность полевых культур (ц/га) в зернотравяном севообороте
при разных системах обработки почвы**

Система обработки почвы	Оз. пше-ница (в среднем за 1983, 1987, 1991 гг.)	Ячень (в среднем за 1985, 1989, 1993 гг.)	Овес (в среднем за 1984, 1988, 1992 гг.)	Бобово-злаковая смесь, зеленая масса (в среднем за 1986, 1990, 1994 гг.)	Основная продукция, в среднем за 1975—1994 гг.	
					ц корм. ед/га	% к контролю
Отвальная (контроль)	55,4	30,0	32,8	232	38,6	100,0
Нулевая	59,3	29,3	22,8	245	38,3	99,2
Поверхностная	61,8	30,5	25,8	230	40,7	105,4
Чизельная	61,5	32,1	27,1	271	41,5	107,5
Роторная	61,7	29,6	25,5	225	39,9	103,4
Плоскорезная	59,2	30,7	27,4	218	39,3	101,8
Сочетание отвальной и нулевой	58,9	31,0	25,5	237	40,0	103,6
НСР ₀₅	4,6	3,2	3,8	33,3	3,1	7,8

обработки себестоимость основной продукции была ниже, чем при системе отвальной обработки, в среднем на 12%, производительность труда выше на 15%, чистый доход с 1 га больше на 14%, уровень рентабельности выше на 17%. Высокий агроэкономический эффект обеспечивает также система поверхностной обработки почвы.

Выводы

1. При решении теоретических и практических вопросов регулирования сорного компонента полевых агрофитоценозов в земледелии Центрального района Нечерноземной зоны России следует учитывать выявленные агроэкологические закономерности изменения его количественных и качественных параметров под влиянием многолетнего (18—25 лет) применения отдельных элементов системы земледелия и их сочетаний:

— эффективность регулирующего воздействия на сорный компонент разных систем механической обработки почвы определяется характером перемещения и заделки семян и органов вегетативного разноможения сорных растений в обрабатываемом слое. При системах безотвальной обработки почвы (нулевой, поверхностной, фрезерной минимальной, плоскорезной, чизельной, фрезерной интенсивной) основная масса жизнеспособных семян сорняков заделывается неглубоко, что способствует более раннему и интенсивному их прорастанию;

— при минимализации основной и предпосевной обработок почвы в сочетании с применением гербицидов в структуре сорного компонента агрофитоценоза малолетние сорные растения (*Galeopsis speciosa* Mill., *Tripleurospermum inodorum* (L.) Sch.Bip., *Polygonum* sp.L., *Stelaria media* (L.) Cур.) преобладают как по числен-

ности (75—80% общего количества побегов сорняков), так и по массе вегетативной части растений (60—80%);

— в плодосменном севообороте засоренность посевов в среднем за 4 ротации снизилась на 30% к уровню засоренности в зернотравяном (75% зерновых). Под действием плодосмена в агрофитоценозе уменьшается доля участка наиболее вредоносных видов сорных растений (*Agropyrum repens* L., *Cirsium arvense* (L.) Scop., *Equisetum arvense* L.);

— на фоне низкого плодородия почвы конкурентоспособность многолетних сорняков заметно возрастает. При полном минеральном удобрении отдельно или в сочетании с органическими удобрениями (навозом, соломой) засоренность посевов многолетними сорняками существенно ниже, чем на неудобренном фоне, а малолетними — такая же, как на этом фоне;

— гербициды глины и глифосат оказывают эффективное регулирующее воздействие (техническая эффективность применения 85—90%) на группу устойчивых к традиционным гербицидам видов сорных растений (*Galeopsis speciosa* Mill., *Tripleurospermum inodorum* (L.) Sch. Bip., *Stelaria media* (L.) Curg.) и обеспечивают существенное увеличение урожайности ячменя и озимой пшеницы.

2. Разработаны научные основы системы управления сорным компонентом агрофитоценоза, что позволяет наметить пути совершенствования отдельных элементов системы земледелия и усиления их экологической направленности.

3. При разработке системы управления сорным компонентом агрофитоценоза (СУСК) для оценки его вредоносности целесообразно использовать новый критерий — энергетический порог вредоносности (ПВ), который рассчитывается по уравнению (2).

4. Разработаны методики энергетической оценки технологий возделывания сельскохозяйственных культур и мероприятий, регулирующих сорный компонент агрофитоценоза, на основе которых определена агроэнергетическая эффективность многолетнего применения разных систем механической обработки почвы и гербицидов в полевых севооборотах;

— среди изучаемых севооборотов наиболее высоким агроэнергетическим эффектом характеризуется четырехпольный плодосменный севооборот (озимая пшеница — картофель — ячмень — однолетняя бобово-злаковая смесь);

— системы чизельной и поверхностной обработок почвы обеспечивают наиболее высокие коэффициенты энергетической эффективности (соответственно 1,58 и 1,61) и наименьшую энергоёмкость получения основной продукции полевых культур (680 и 689 МДж/ц);

— доля гербицидов в структуре совокупных энергозатрат на всю технологию возделывания полевых культур не превышает 5—7%. Наиболее высокая энергетическая эффективность применения гербицидов отмечается на фоне системы чизельной (коэффициент энергетической эффективности 1,76) и сочетания отвальной и нулевой обработок почвы (1,73).

5. На основе экспериментальных данных и использования экспоненциальной функции ($C_t = C_0 e^{-kt}$) рассчитаны константы скорости детоксикации гербицидов и установлена возможность долгосрочного прогнозирования динамики их остаточных количеств в почве в зависимости от интенсивности и характера воздействия на почву систем механической обработки.

6. В плодосменных, зернопашных и зернотравяных севооборотах при внесении удобрений на планируемый урожай и систематическом применении высокоэффективных гербицидов минимализация основной и предпосевной обработок почвы путем замены традиционных приемов отвальной обработки безотвальными и совмещения предпосевной обработки почвы с посевом зерновых культур комбинированным агрегатом КА-3,6 обеспечивает уровень урожайности полевых культур не ниже ее уровня, получаемого при многооперационной системе отвальной обработки, а в отдельные годы — и более высокий.

Минимализация обработки почвы не приводит к существенному изменению основных технологических показателей качества зерна озимой пшеницы, овса, ячменя и клубней картофеля.

7. При использовании предлагаемых систем защиты растений остаточные количества пестицидов в основной и побочной продукции сельскохозяйственных культур не обнаружены или их содержание было значительно ниже допустимых токсикологических концентраций.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Баздырев Г.И.* Агроэкологические основы интегрированной защиты полевых культур от сорняков в современных системах земледелия Нечерноземной зоны РСФСР. — Докт. дис. в форме науч. докл. М., 1992. — 2. *Веселовский И.В.* Научные основы применения гербицидов в правобережной Лесостепи Украины. — Автореф. докт. дис. Киев, 1974. — 3. *Воробьев Н.Е.* Сорные растения агрофитоценозов причерноморской степи Украины. — Автореф. докт. дис. Казань, 1973. — 4. *Гродзинский А.М.* Основи хімічної взаємодії рослин. Київ: Наукова думка, 1973, с. 201—206. — 5. *Груздев Г.С.* Научные разработки комплексных мер борьбы с сорняками в интенсивных технологиях возделывания свельскохозяйственных культур. — В сб.: Борьба с сорняками при возделывании с.-х. культур. М.: Агропромиздат, 1988, с. 3—8. — 6. *Захаренко А.В.* Оценка энергетической эффективности возделывания сельскохозяйственных культур. — Метод. рекомендации. М.: РАСХН, 1994. — 7. *Захаренко А.В.* Агротехнические, экологические и энергетические основы регулирования сорного компонента агрофитоценоза в земледелии Центрального района Нечерноземной зоны России. — Докт. дис. М., 1996. — 8. *Захаренко А.В.* Агроэнергетическая эффективность управления сорным компонентом полевого агрофитоценоза. — Докл. МСХА, 1997, вып. 268, с. 15—20. — 9. *Ладонин В.Ф.* Роль гербицидов в земледелии. Химия в сельск. хоз-ве, 1976, № 1, с. 58—

64. — 10. *Лазаускас П.М.* Количественные закономерности формирования агрофитоценозов и пути повышения продуктивности полевых культур. — Автореф. докт. дис. Каунас, 1981. — 11. *Либерштейн И.И.* Интегрированная система борьбы с сорными растениями. — *Земледелие*, 1986, № 9, с. 10—11. — 12. *Пупонин А.И.* Обработка почвы в интенсивном земледелии Нечерноземной зоны. М.: Колос, 1984. — 13. *Пупонин А.И., Захаренко А.В., Дебердеев К.Ш.* Влияние разных систем обработки почвы, удобрений и гербицидов на засоренность посевов и урожайность полевых культур. — *Изв. ТСХА*, 1991, вып. 6, с. 12—24. — 14. *Смирнов Б.А.* Научные и практические основы борьбы с сорняками в интенсивном земледелии Нечерноземной зоны. — Докт. дис. в форме науч. докл. М., 1988. — 15. *Туликов А.М.* Закономерности количественной изменчивости и методика учета сорных растений в агрофитоценозах. — *Изв. ТСХА*, 1975, вып. 4, с. 38—50. — 16. *Часовенная А.А.* Основы агрофитоценологии, Л.: Изд-во ЛГУ, 1975, с. 30—39. — 17. *Grümmer G.* — *Arten. Flora*, 1961, Bd 146, N 112, S. 67—70. — 18. *Rasmussen I.* — *Southwest. Natur.*, 1979, N 4, p. 637—644.

Статья поступила 14 июля 1997 г.

SUMMARY

As a result of long-term investigations conducted in field stationary experiments, theoretical and practical foundations of regulating effect of farming system elements on weedy component of agrophytocenosis have been worked out. Regularities of variation in its quantitative and qualitative parameters under the effect of long-term (20—25 years) application of soil management systems of different intensiveness, fertilizer, herbicides are determined. The main principles and stages in developing the system of weedy component control (SWCC) are theoretically substantiated. Ecotoxicological evaluation of regular application of herbicides to farm crops is given. Agrotechnical and energetic efficiency of minimalization of the ground treatment and presowing soil treatment in crop rotations of different specialization has been found.