

УДК 631.51 + 635.656

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОСНОВНОЙ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ В РЕГУЛИРОВАНИИ АЗОТФИКСИРУЮЩЕЙ АКТИВНОСТИ И ПРОДУКТИВНОСТИ ГОРОХА В ЛЕСОСТЕПИ ПОВОЛЖЬЯ

А.Х.Куликова, доктор сельскохозяйственных наук, профессор,
И.В.Антонов, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, Ульяновская ГСХА

Развитие земледелия в перспективе немислимо без учета в производстве экологических принципов, которые предусматривают более широкое использование возможностей природы при сохранении ее ресурсного потенциала за счет сокращения техногенных нагрузок и энергетических затрат. С этой точки зрения особую актуальность приобретает проблема вовлечения в агроценозы биологически фиксированного азота атмосферы посредством симбиотической азотфиксации бобовых культур и, в частности, гороха. В современных условиях нарастающего дефицита белка и продовольствия в целом, энергетического кризиса, деградации плодородия почв и загрязнения окружающей среды биологический азот выступает в качестве одного из наиболее значимых факторов биологизации и экологизации земледелия. Однако реализация азотфиксирующего и продукционного потенциалов бобовых растений зачастую ограничивается комплексом неблагоприятных почвенно-климатических факторов. В их оптимизации ведущее значение имеет агротехника возделывания культур, включая основную обработку почвы, которая позволяет направленно регулировать многие почвенные свойства и режимы.

В лесостепи Поволжья комплексное влияние основной обработки почвы на культуру гороха изучено недостаточно, что определяет важность оценки ее эффективности в данных экологических условиях.

Цель и задачи исследований. Целью исследований являлось изучение эффективности основной обработки почвы в регулировании азотфиксирующей активности и продуктивности гороха в условиях лесостепи Поволжья.

Основные задачи исследований:

- установить эффективность систем обработки в регулировании основных агрофизических и агрохимических свойств пахотного слоя почвы, ее биологической активности и фитосанитарного состояния в посевах гороха;
- изучить динамику формирования и функционирования симбиотического аппарата,

определить размер азотфиксации гороха и долевое участие биологического азота в формировании величины и качества урожая культуры в зависимости от систем основной обработки почвы;

- оценить роль обработки почвы в формировании урожайности, основных элементов ее структуры, качества зерна и белковой продуктивности гороха;
- провести агрономическое и экологическое обоснование, экономическую и энергетическую оценку систем основной обработки почвы под горох.

Исследования в 1997-2003 гг. проведены на базе стационарного опыта кафедры почвоведения, агрохимии и агроэкологии УГСХА по изучению систем основной обработки почвы в шестипольном полевом зернопропашном севообороте: пар сидеральный (вико-овсяная смесь) – озимая рожь – кукуруза – яровая пшеница – горох – овес.

Схема опыта включала 4 системы основной обработки почвы: отвальную (послеуборочное лущение стерни БДТ-7 на 8-10 см, и вспашка ПЛН-4-35 под сидеральный пар и горох на глубину 25-27 см, кукурузу на 28-30 см, яровую пшеницу и овес на 20-22 см) – принята за контроль; плоскорезную (послеуборочное поверхностное рыхление комбинированным агрегатом КПШ-5 + БИГ-3 на 8-10 см, плоскорезная основная обработка КПГ-2,2 на ту же глубину, что и в первом варианте); комбинированную в севообороте (послеуборочное поверхностное рыхление КПШ-5 + БИГ-3 на 8-10 см и безотвальная основная обработка плугом со стойкой СибИМЭ под сидеральный пар на 25-27 см; лущение стерни БДТ-7 на 8-10 см и вспашка ПЛН-4-35 под кукурузу и горох соответственно на 28-30 и 25-27 см; поверхностная обработка КПШ-5+БИГ-3 на 8-10 см и плоскорезное рыхление КПГ-2,2 под яровую пшеницу и овес на 20-22 см); поверхностную (двукратная обработка комбинированным агрегатом КПШ-5+БИГ-3 под все культуры севооборота с

интервалом 10-15 дней: первая на глубину 8-10 см, вторая – на 10-12 см).

Измельченная масса сидерата заделывалась двухкратной обработкой почвы БДТ-7 на глубину 10-12 см. Возделывание культур осуществлялось при минимальном использовании минеральных удобрений (30-40 кг в действующем веществе на га), гороха – на неудобренном фоне. В системе основной обработки в почву заделывались пожнивно-корневые остатки растений и солома зерновых культур севооборота. Средства защиты растений не применялись. Остальные элементы агротехники гороха – общепринятые в регионе.

Полевой опыт заложен в трехкратной повторности, севооборот освоен в 1988 году. Посевная площадь делянки 350 м², учетная – 280 м², их расположение систематическое.

В качестве объектов исследований выступали почва и растения гороха (*Pisum sativum L.*) сорта Труженик.

Организация полевых опытов, проведение наблюдений, учетов, лабораторных анализов осуществлялись по общепринятым методикам и соответствующим ГОСТам. Экономическую оценку различных систем обработки почвы проводили на основе расчета ряда стоимостных показателей с использованием нормативов и расценок, принятых для производственных условий учхоза УГСХА (2003 г.); энергетическую эффективность рассчитывали по совокупным затратам энергоресурсов на возделывание гороха и накоплению потенциальной энергии в урожае основной продукции. Данные результатов исследований подвергались математической обработке методами дисперсионного и корреляционного анализов.

Почва опытного поля – чернозем выщелоченный среднесуглистый с повышенным и высоким содержанием основных элементов питания.

Анализ агрометеорологических показателей за последние 7 лет показал значительную их вариабельность (особенно по количеству осадков) с обострением засушливости в одни периоды и проявлением избыточного увлажнения в другие. Это приводило к уязвимости посевов и не позволяло возделываемым культурам полностью реализовывать биологический потенциал. Наибольшая годовая сумма осадков наблюдалась в 1997 году – 803 мм, наименьшая в 2002 г. – 418 мм. Более близкие к оптимальным гидротермические условия для роста, развития и созревания гороха складывались в 2001 году, менее благоприятные – в 1997, 2000, 2002 и 2003 гг. Из них 1997 и 2003 гг. отличались избытком влаги, при-

водившим к израстанию растений и затягиванию вегетации культуры. 1999 г. и, особенно, 1998 г. можно охарактеризовать как резко засушливые и неблагоприятные для гороха.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Влияние систем основной обработки почвы на показатели почвенного плодородия и засоренность посевов гороха

Агрофизические свойства. Агрофизическое состояние почвы наиболее полно характеризуют плотность ее сложения, структура и определяемое ими количество почвенных пор различного размера. Результаты исследований показали, что в зависимости от систем обработки почвы основные агрофизические параметры ее плодородия значительно изменялись (табл. 1, рис. 1).

Более близкая к оптимальной для гороха плотность пахотного слоя почвы (1,15-1,16 г/см³) отмечалась по отвальной и комбинированной в севообороте системам обработки со вспашкой под изучаемую культуру. При этом варианты вспашки способствовали увеличению порозности почвы за счет пор аэрации. Плоскорезные (включая поверхностную) обработки снижали некапиллярную пористость до критической (12,5-14,5 %) для растений гороха и, особенно, его симбиотического аппарата. Заметное ухудшение агрофизических свойств почвы в связи с проведением безотвальных рыхлений было особенно характерно для средней и нижней частей пахотного слоя (10-20 и 20-30 см).

С точки зрения оптимизации структурного состояния почвы более предпочтительно комбинирование в севообороте различных обработок, которое в сравнении с систематическим их проведением обеспечивало значительное (до 1,2 раза) повышение содержания агрономически ценных агрегатов во всех слоях обрабатываемого горизонта (0-30 см).

Запасы продуктивной влаги. Исследования показали, что формирование влагозапасов почвы на фоне систем основной обработки складывается различно и неоднозначно, что напрямую связано со значительной вариабельностью погодных условий и, в первую очередь, количества атмосферных осадков – главного источника почвенной влаги.

В среднем за 1998-2003 гг. влагонакопление в почве к началу сева гороха в зависимости от систем ее обработки заметно не различалось, составляя 197-210 мм в метровом слое. Однако, исходя из анализа годовой динамики водообеспеченности почвы, более целесообразной пред-

1. Плотность почвы перед посевом гороха в зависимости от систем основной обработки, г/см³ (2002–2003 гг.)

Система основной обработки почвы		Слой почвы, см			
		0–10	10–20	20–30	0–30
Отвальная (контроль)		1,07	1,19	1,20	1,15
Плоскорезная		1,02	1,23	1,31	1,19
Комбинированная в севообороте		1,05	1,18	1,24	1,16
Поверхностная		1,03	1,27	1,30	1,20
<i>НСР_{гр}</i>	2002 г.	–	–	–	0,04
	2003 г.	–	–	–	0,07

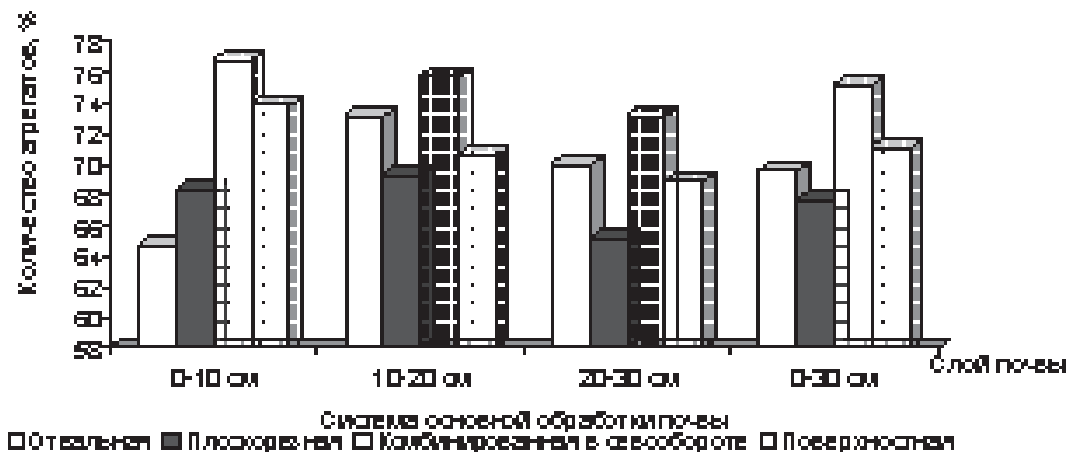


Рис. 1. Содержимое агрономических ценных агрегатов (фрагменты 10–0, 25 мм) в слое 0–30 см черноземы каштанового в зависимости от систем основной обработки почвы в посевах гороха

ставляется дифференцированная в севообороте система обработки, которая в трех из шести лет исследований обеспечивала значительное увеличение запасов продуктивной влаги (на 16–56 мм в слое 1 м) перед посевом гороха, и 2 года не уступала в этом отношении другим вариантам.

Вспашка под горох в условиях как комбинированной в севообороте, так и отвальной систем обработки способствовала более рациональному расходу доступных влагозапасов почвы на формирование его урожая. Это подтверждается расчетом коэффициентов водопотребления культуры, повышение которых с 14,0–14,4 по вариантам со вспашкой до 16,1–17,2 м³/т зерна по безотвальным рыхлениям свидетельствует о значительных непродуктивных потерях влаги из почвы в послед-

нем случае.

Гумусное состояние и питательный режим. Согласно полученным в опыте данным, прослеживалось определенное влияние систем основной обработки на содержание гумуса в почве (рис. 2). Увеличение гумусированности почвы наблюдалось по поверхностной и комбинированной в севообороте системам обработки в отличие от других вариантов. В большей степени это отражает сравнение результатов текущих исследований гумусного режима почвы с данными периода закладки опыта (1987 г.). Анализ их показал, что при переходе к минимализации и дифференциации по культурам севооборота обработки почвы темпы дегумификации снижаются почти в 2 раза в сравнении с проведением постоянной вспашки

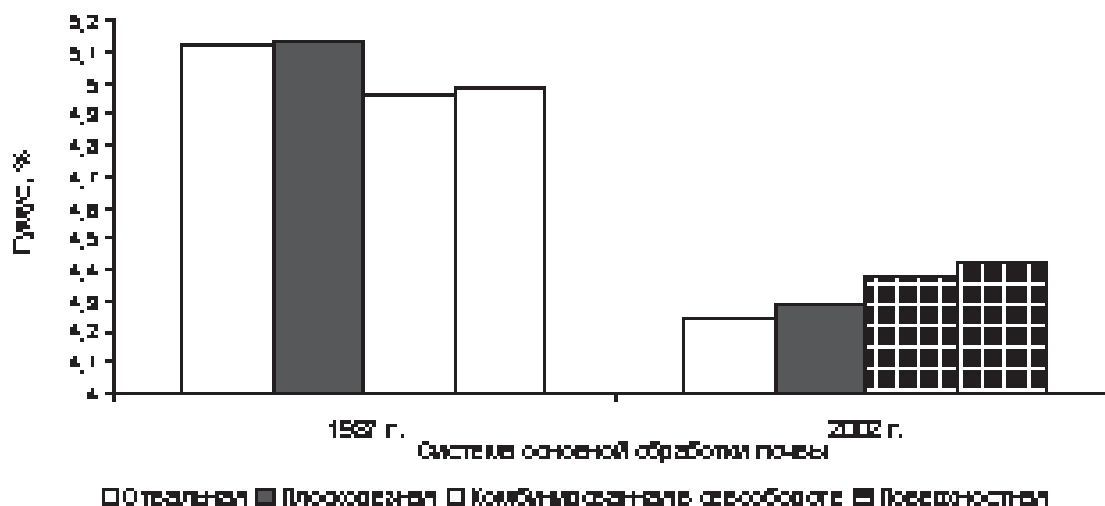


Рис. 2. Изменение содержания гумуса в пахотном слое черноземов каштанового (0–30 см) в зависимости от систем основной обработки почвы

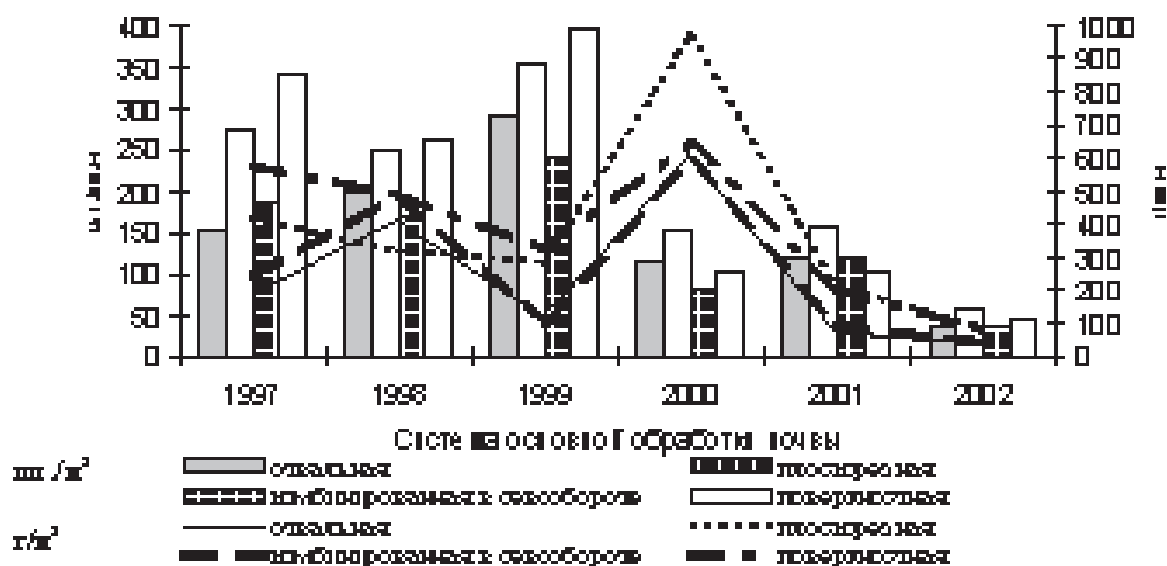


Рис. 3. Численность и масса сорных растений в посевах гороха в зависимости от систем основной обработки почвы

или глубокого плоскорезного рыхления.

Питательный режим почвы на фоне различных ее обработок при возделывании гороха складывался относительно стабильно. Небольшому повышению обеспеченности почвы доступными питательными веществами (N, P₂O₅, K₂O) – в пределах 1 мг/100 г по каждому элементу способствовало поверхностное рыхление.

Биологическая активность. Общеизвестным индикатором биологического состояния почвы в целом является показатель активности почвенной целлюлозолитической микрофлоры,

характеризующийся разложением клетчатки. Как показали исследования, скорость этого процесса, судя по распаду льняной ткани в почве за вегетацию гороха, существенно различалась как по способам обработки, так и, особенно, по годам эксперимента. На фоне самого засушливого 1999 года за 5 последних лет целлюлозоразлагающая активность почвы повышалась в 3,3–6,4 раза в наиболее влажных 2001 и 2003 гг., достигая 25,8–33,7 % по разложению льняного полотна в пахотном слое.

Более равномерному по годам усилению жиз-

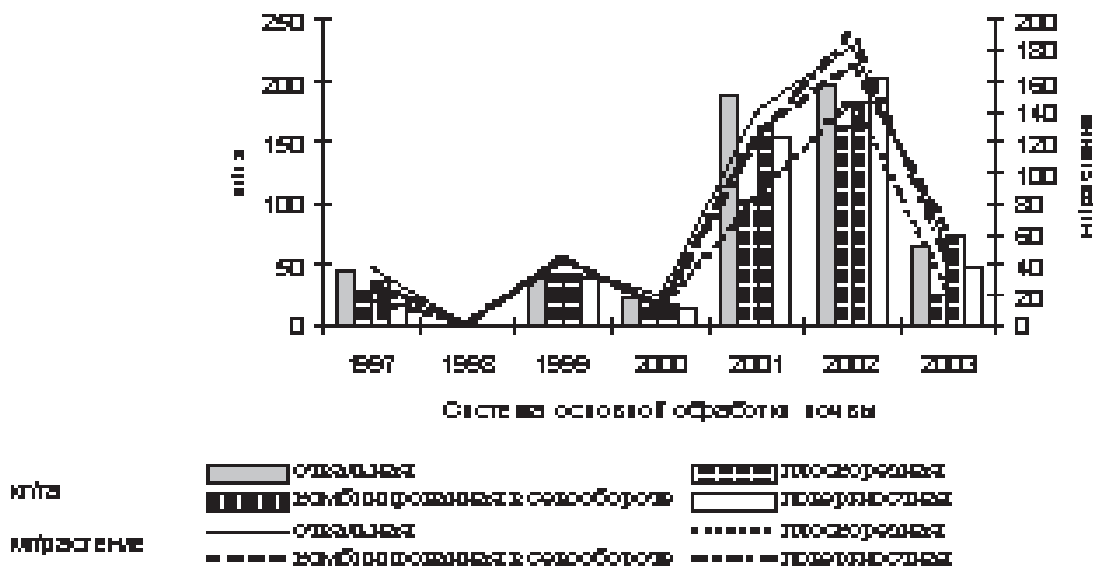


Рис. 4. Накопленная масса активных клубеньков на корнях гороха в зависимости от систем основной обработки почвы в фазе бутонизации – цветения

недеятельности микроорганизмов способствовала систематическая вспашка. В то же время комбинированная в севообороте и поверхностная системы обработки наряду с некоторым снижением интенсивности микробиологических процессов в почве в засушливые периоды вегетации гороха приводили к сильной их активизации во влажные сезоны в сравнении с постоянной вспашкой. Плоскорезная система обработки обеспечивала достоверное уменьшение целлюлозолитической активности почвы. В среднем за 1999-2003 гг. по данному варианту распад льняной ткани составил 15,6 %, что на 2-3 % меньше его значений по другим обработкам почвы.

Засоренность посевов. Анализ данных по изучению засоренности посевов гороха показал, что замена отвальной обработки на плоскорезную, в том числе поверхностную, сопровождалась увеличением как количества, так и массы сорных растений соответственно на 54-68 шт./м² и на 121-146 г/м² в среднем за 1997-2002 гг. (рис.3). При этом на фоне безотвальных рыхлений наблюдалось усиление размножения и развития более злостных трудноискоренимых видов сорной флоры: бодяка полевого (*Cirsium arvense L.*), осота полевого (*Sonchus arvensis L.*), овсюга обыкновенного (*Avena fatua L.*), просовидных сорняков, в том числе проса сорного (*Panicum miliaceum L.*), ежовника обыкновенного (*Echinochloa crusgalli L.*), щетинников зеленого и сизого (*Setaria viridis L.*, *Setaria glauca L.*).

Азотфиксирующая активность, урожайность и качество зерна гороха

В зависимости от систем основной обработки почвы

Азотфиксирующая активность. Наблюдения показали, что различные системы основной обработки почвы не оказывали влияния на сроки образования азотфиксирующих клубеньков и переход их в активное состояние, но во многом определяли окончание бобово-ризобиального симбиоза гороха. Наиболее продолжительное (на 1-7 дней по годам) функционирование симбиотического аппарата гороха обеспечивала вспашка.

Значение отвальной обработки для активизации симбиоза гороха особенно возрастало по мере роста и проникновения корней растений вглубь почвы, что закономерно в связи с улучшением на ее фоне агрофизических свойств всего пахотного горизонта в отличие от глубокого и мелкого плоскорезных рыхлений. Отмеченное выражалось в заметном увеличении симбиотического аппарата гороха по вариантам со вспашкой, судя по накоплению активных клубеньков с середины периода их жизнедеятельности. При этом эффективность вспашки в оптимизации условий бобово-ризобиального симбиоза более четко проявлялась во влагообеспеченные годы (рис. 4). Так, в отличающихся избытком влаги во время вегетации гороха 1997 и 2003 гг. превышение воздушно-сухой массы активных клубеньков в фазы бутонизации – цветения культуры по отвальной и комбинированной в севообороте системам обработки почвы в сравнении с плоскорезной и поверхностной достигало соответственно по годам 6,3-27,5 и 17,1-49,5 кг/га.

2. Активный симбиотический потенциал, удельная активность симбиоза и количество фиксированного азота в воздухе в зависимости от систем основной обработки почвы

Система основной обработки почвы	Годы исследований			
	2001	2002	2003	среднее
<i>Активный симбиотический потенциал, ед.</i>				
Отвальная (контроль)	4112	3524	1686	3107
Плоскорезная	2143	2681	1124	1983
Комбинированная в севообороте	3316	3176	1699	2730
Поверхностная	3735	3190	1442	2789
<i>Удельная активность симбиоза, г/кг-сут.</i>				
	22,82	15,57	13,00	16,91
<i>Количество симбиотического азота, мг/га</i>				
Отвальная (контроль)	97,9	54,7	21,8	58,1
Плоскорезная	46,5	42,1	15,0	34,5
Комбинированная в севообороте	78,1	49,2	21,8	49,7
Поверхностная	83,0	49,7	18,6	50,4

3. Урожайность гороха в зависимости от систем основной обработки почвы, т/га

Система основной обработки почвы	Годы исследований							Среднее
	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	
Отвальная (контроль)	1,53	1,45	2,05	1,76	2,54	1,87	1,51	1,82
Плоскорезная	1,55	1,25	1,82	1,12	2,13	1,66	1,47	1,57
Комбинированная в севообороте	1,88	1,90	2,27	1,63	2,51	1,69	1,65	1,93
Поверхностная	1,48	1,45	1,63	1,52	2,25	1,55	1,45	1,62
НСР ₀₁	0,16	0,41	0,43	0,29	0,26	0,07	0,22	—

При оптимальном равномерном увлажнении почвы по накоплению активных клубеньков вариантам со вспашкой под горох не уступала, а иногда и несколько превосходила их минимальная обработка. В частности, в 2002 году к началу цветения гороха по поверхностному рыхлению почвы накопилось 202,4 кг/га клубеньков. Эта величина стала наибольшей как по вариантам опыта, так и за все годы исследований. Данный факт объясняется интенсивным ростом и развитием корней гороха в самом биогенном поверхностном почвенном слое на фоне мелкого

рыхления в более оптимальные для растений по агрометеорологическим особенностям года. Исследованиями также установлено, что обработка почвы больше влияет на накопление массы активных клубеньков, чем на их количество, то есть прежде всего определяет рост (величину) симбиотического аппарата гороха.

Объединить показатели массы клубеньков с леггемоглобином, участвующих в фиксации воздушного азота, и продолжительности их функционирования позволяет активный симбиотический потенциал (АСП). Его расчет закономерно

указывает на предпочтение проведения под горох вспашки (табл. 2). В благоприятные для этой культуры годы достаточно высокий АСП характерен и для минимализированной обработки почвы.

На основе активного симбиотического потенциала и удельной активности симбиоза (УАС), определяемой по разнице азотоусвоения растениями, приходящейся на единицу АСП, можно рассчитать количество фиксируемого горохом азота воздуха (Посыпанов Г.С., 1991). За 3 последних года оно изменялось по вариантам от 15–22 кг/га до 47–98 кг/га соответственно в 2003 и 2001 гг. Наибольшей азотфиксации гороха способствовала отвальная система обработки почвы. Несколько уступали ей в этом отношении комбинированная в севообороте и поверхностная системы. Глубокое плоскорезное рыхление, почти во все годы исследований ухудшая основные показатели бобово-ризобияльного симбиоза, уменьшало размер фиксации азота воздуха горохом в 2001–2003 гг. в 1,2–2,1 раза в сравнении с другими вариантами.

Урожайность и ее структура. Как свидетельствуют результаты исследований, различные системы основной обработки почвы, оказывая определенное влияние на показатели почвенного плодородия, с одной стороны, а также азотфиксирующую активность и засоренность посевов гороха, с другой, в разной степени благоприятствовали формированию его урожайности (табл. 3). Почти во все годы эксперимента она повышалась по вариантам со вспашкой под горох, что соответствует установленным в опыте закономерностям изменения на их фоне состояния почвы и его посевов. В среднем за 1997–2003 гг. отвальная и комбинированная в севообороте системы обработки почвы обеспечивали рост урожайности гороха на 0,2–0,4 т/га в сравнении с глубоким и поверхностным плоскорезными рыхлениями.

Анализ формирования урожайности гороха в зависимости от отдельных изученных факторов показал, что наиболее значимыми из них являются биологическая активность почвы, засоренность посевов и запасы продуктивной влаги весной. Эта связь описывается уравнением:

$$Y = 8,9 + 0,0135X_1 + 0,453X_2 - 0,0085X_3,$$

где Y – урожайность гороха, ц/га; X_1 – запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы до посева (мм); X_2 – целлюлозоразлагающая активность почвы (%); X_3 – численность сорняков (шт./м²).

Также установлена роль симбиотической активности гороха в реализации потенциала его продуктивности, которую отражает следующее

уравнение регрессии:

$$Y = 8,07 + 0,138X_1 + 0,0359X_2,$$

где Y – урожайность гороха, ц/га, а X_1 и X_2 – масса активных клубеньков (в воздушно-сухом состоянии) в фенофазы соответственно ветвления и бутонизации, кг/га.

Вместе с тем наибольшая, в большинстве случаев, симбиотическая активность и, следовательно, обеспеченность растений биологическим азотом не всегда пропорционально отражалась на продуктивности гороха на фоне систематической вспашки в сравнении с дифференцированной в севообороте обработкой. Следовательно, преобладающее значение для формирования урожайности изучаемой культуры имели внешние факторы среды, в том числе регулируемые агротехникой гороха. А уровень его симбиотической активности, особенно при отклонении комплекса условий от оптимальных для растений, в меньшей степени определял реализацию продукционного потенциала.

Рассматривая влияние систем обработки почвы на урожайность гороха через составляющие элементы ее структуры, следует отметить положительное значение вспашки для оптимизации густоты стеблестоя посева, а именно ее увеличения, прежде всего в засушливые годы, и усиления плодообразования на растениях. Масса 1000 семян гороха под воздействием отвальной обработки почвы повышалась не всегда, а количество зерен в бобе оставалось относительно стабильным элементом структуры урожайности по вариантам опыта в годы исследований.

Качество зерна и вынос основных элементов питания продукцией. В опыте установлено, что влияние различных систем обработки почвы на химический состав зерна гороха по основным элементам питания и белку неоднозначно (табл.4). Повышение содержания в зерне азота и белка, определяющих основную питательную ценность продукции гороха, происходило под влиянием плоскорезной и комбинированной в севообороте систем обработки почвы. Однако увеличению производства белка способствовала только вспашка под горох (отвальная и комбинированная в севообороте системы обработки), исходя из заметного роста его урожайности на этом фоне. Расчет белковой продуктивности гороха за 2001–2003 гг. показал, что вспашка приводит к повышению сбора белка на 0,45–0,5 ц/га в сравнении с безотвальными рыхлениями.

Учитывая объемы симбиотической азотфиксации, варианты опыта со вспашкой под горох, а также поверхностная система обработки обеспечивали наибольшее участие биологического

4. Содержание белковых элементов питания в зерне гороха в зависимости от систем основной обработки почвы, % (2001–2003 гг.)

Система основной обработки почвы	Белок	Азот	Фосфор	Калий
Отвальная (контроль)	21,86	3,50	0,80	0,77
Плоскорезная	21,99	3,52	0,82	0,76
Комбинированная в севообороте	22,10	3,54	0,83	0,82
Поверхностная	21,78	3,48	0,84	0,76

азота в формировании урожайности и белковой продуктивности культуры. В частности, его доля в урожае зерна и продукции гороха в целом (основной и побочной) по этим обработкам изменялась в 2001–2003 гг. в пределах соответственно 36–100 и 23–81 %. Таким образом, с учетом использования соломы на удобрение после гороха может складываться не только бездефицитный, но и небольшой положительный баланс азота в почве, что наблюдалось в благоприятном для растений 2001 году.

Результаты анализов зерна гороха на содержание фосфора и калия выявили в целом меньшие его изменения под воздействием различных обработок почвы. В отдельные годы оно достоверно повышалось в условиях комбинированной в севообороте системы обработки.

По выносу основных элементов питания горохом уступала всем вариантам поверхностная система обработки почвы, особенно в отношении азота и калия. При ее проведении он уменьшался на 2–25 % и составил соответственно 4,59 и 1,59 кг/га на 1 ц продукции в среднем за 2001–2003 гг. Исходя из меньшей урожайности, снижение выноса питательных веществ изучаемой культурой было характерно и для глубокого плоскорезного рыхления, хотя в пересчете на 1 ц основной продукции с учетом побочной на ее фоне он существенно не отличался от остальных обработок почвы.

Отсутствие значительных различий по вариантам опыта установлено и в отношении содержания в продукции гороха тяжелых металлов – одного из важнейших критериев ее качества в современных условиях. В целом по всем из этих элементов она отвечала требованиям экологической безопасности, так как их содержание в зерне не превышало установленных предельно-допустимых концентраций (ПДК).

Экономическая и энергетическая оценка систем основной обработки почвы в технологиях возделывания гороха

Экономическая эффективность. Внедрение технологий в производство невозможно без их комплексной экономической и энергетической оценки. Расчет экономической эффективности технологий возделывания гороха, включающих разные системы основной обработки почвы, показал, что, несмотря на самые высокие производственные затраты, вспашка под культуру, особенно в условиях ее чередования в севообороте с безотвальными рыхлениями, способствует увеличению чистого дохода (на 844–1755 руб./га) и рентабельности производства (на 19–52 %) в сравнении с другими вариантами. Отмеченный эффект определяется значительным повышением урожайности и, следовательно, стоимости продукции гороха по отвальной и комбинированной в севообороте системам обработки почвы. При этом производственные затраты по вариантам опыта почти не различались, составляя 3087–3248 руб./га.

Наименее затратной в технологиях гороха являлась поверхностная основная обработка почвы. Расходы на ее проведение были на 118 и 147 руб./га (38 и 43 %) меньше, чем затраты соответственно на глубокое плоскорезное рыхление и вспашку под горох. Однако эта экономия не является оправданной вследствие заметного снижения урожайности гороха на фоне мелкого рыхления, которое приводило к росту себестоимости зерна и уменьшению экономического эффекта его производства.

Энергетическая оценка. Энергетическая оценка агротехнологий позволяет более объективно подходить к их применению. Проведенный расчет и анализ показателей энергетической оценки систем основной обработки почвы указал на боль-

шую целесообразность вспашки под горох. Наряду с увеличением затрат техногенной энергии на производство по отвальной и комбинированной в севообороте системам обработки почвы в сравнении с другими на 1,38-1,45 ГДж/га, за счет роста урожайности гороха эти варианты обеспечили самые высокие коэффициенты энергетической эффективности (1,78 и 1,88). А глубокое и поверхностное плоскорезные рыхления снижали их соответственно до 1,66 и 1,71.

Принимая во внимание расходы энергии плодородия почвы на формирование урожая гороха и учитывая уменьшение потерь гумуса по поверхностной и дифференцированной в севообороте системам обработки, с точки зрения энергетической эффективности производства последняя оказалась более предпочтительной.

Таким образом, экономически и энергетически более выгодной при возделывании гороха являлась комбинированная в севообороте система основной обработки почвы.

Выводы

1. Отвальная и комбинированная в севообороте системы основной обработки почвы по сравнению с плоскорезными (включая поверхностное) рыхлениями обеспечивали более оптимальные для гороха показатели агрофизического состояния почвы. При этом плотность пахотного слоя соответственно составляла 1,15 и 1,16 г/см³, количество агрономически ценных агрегатов увеличивалось на 6-10 %.

2. Формирование запасов продуктивной влаги в почве до посева гороха сильно зависело от агрометеорологических особенностей разных лет. В среднем влагозапасы в метровом слое почвы составляли 197-210 мм. Большому влагонакоплению (на 16-56 мм по отдельным годам), а также более рациональному расходу влаги на формирование урожая, особенно в условиях засух, способствовала комбинированная в севообороте система обработки почвы.

3. Дифференцированная в зависимости от культур севооборота и минимальная системы обработки почти в 2 раза снижали темпы дегумификации почвы по сравнению с постоянной вспашкой и глубоким плоскорезным рыхлением. В то же время системы основной обработки почвы не оказывали существенного влияния на ее питательный режим. Изменения содержания элементов питания на их фоне (N, P₂O₅, K₂O) были небольшими (до 1 мг/100 г почвы).

4. Более равномерной по годам активизации жизнедеятельности целлюлозоразлагающих микроорганизмов благоприятствовала система-

тическая вспашка. В оптимально и избыточно влажные периоды вегетации гороха наибольшему усилению распада целлюлозы в почве (в 1,1-1,4 раза) способствовали комбинированная в севообороте и поверхностная системы обработки, тогда как плоскорезная почти всегда достоверно уступала в этом отношении другим вариантам.

5. В борьбе с сорными растениями эффективны отвальная и комбинированная в севообороте системы обработки почвы. Значительно повышая засоренность посевов гороха в среднем на 54-68 шт./м² и 121-146 г/м² сорняков (или в 1,4-1,6 раза), плоскорезное рыхление, в том числе поверхностное, сопровождалось увеличением доли более злостных и трудноискоренимых видов в их ценозе (осот полевой, бодяк полевой, овсюг обыкновенный, просо куриное и сорное, щетинники сизый и зеленый и др.).

6. Положительное влияние на симбиотическую активность гороха оказывала вспашка. Ее проведение, как систематическое, так и в сочетании с другими способами обработки в севообороте, способствовало увеличению продолжительности активного функционирования клубеньков (на 1-7 дней по годам) и их накопления. По массе активных клубеньков в благоприятно увлажненные годы вспашке под горох не уступало поверхностное рыхление. Максимальное накопление клубеньков достигало 190 и 200 кг/га (в воздушно-сухом состоянии) по отвальной и поверхностной системам обработки. При этом активный симбиотический потенциал (АСП) гороха по указанным вариантам изменялся от 3190 до 4112 ед.

7. Увеличению размеров биологической фиксации азота воздуха горохом, рассчитанных на основе АСП и удельной активности симбиоза (УАС), более благоприятствовала отвальная основная обработка под культуру, в том числе в условиях комбинированной в севообороте системы, а также поверхностное рыхление почвы. Количество симбиотически фиксированного азота по этим вариантам повышалось от 19-22 кг/га в наименее благоприятном для растений 2003 г. до 78-98 кг/га в более оптимальном 2001 году, тогда как по плоскорезной системе обработки изменялось соответственно от 15 до 46 кг/га.

8. Более высокая продуктивность гороха закономерно отмечалась по отвальной и комбинированной в севообороте системам обработки почвы. При этом в последнем случае урожайность повышалась значительно даже при меньшей симбиотической активности гороха, что свидетельствует о преобладающем значении

условий среды в реализации его продукционного потенциала. В среднем урожайность гороха по дифференцированной в севообороте системе обработки увеличивалась на 0,1 т/га по отношению к отвальной (контролю) и на 0,3–0,4 т/га в сравнении с глубоким и мелким плоскорезными рыхлениями. Росту урожайности гороха вспашка способствовала через оптимизацию отдельных элементов ее структуры, в том числе густоты стеблестоя, количества бобов на растении и в отдельные годы массы 1000 семян.

9. Заметному улучшению качества зерна гороха способствовала комбинированная в севообороте система обработки почвы (по содержанию белка, азота и калия). С точки зрения белковой продуктивности гороха более предпочтительна вспашка под культуру, обеспечивающая превышение сбора белка на 0,45–0,5 ц/га. При этом в благоприятных погодных условиях в формировании урожайности зерна гороха и его качества по содержанию белка доля симбиотического азота может достигать 100 %, что позволяло при использовании соломы культуры на удобрение создавать близкий к бездефицитному или небольшой положительный азотный баланс в почве. Контроль качества основной продукции гороха на наличие тяжелых металлов выявил небольшие изменения в их содержании на фоне разных систем обработки почвы, пределы которых лежали заметно ниже значений ПДК.

10. Наибольший вынос основных элементов питания горохом на формирование урожая отмечался по вариантам со вспашкой (отвальная и комбинированная в севообороте системы обработки), особенно в сравнении с поверхностным рыхлением почвы. Последнее наиболее заметно

снижало вынос азота и калия из почвы (на 2–25 %).

11. Наиболее экономически и энергетически эффективной при возделывании гороха являлась комбинированная в севообороте система основной обработки почвы со вспашкой под культуру, повышающая на 19–52 % рентабельность производства и в 1,1 раза энергетический коэффициент по сравнению с другими вариантами.