

УДК 631.51: 631.816: 632.91

ЭФФЕКТИВНОСТЬ РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩЕЙ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ И СТЕПЕНИ ИНТЕНСИФИКАЦИИ АГРОТЕХНОЛОГИЙ ПОЛЕВЫХ КУЛЬТУР В СЕВООБОРОТЕ EFFICIENCY OF SOIL CULTIVATION WITH THE MINIMUM RESOURCE EXPENSES AND INTENSIFICATION DEGREE OF AGROTECHNOLOGIES OF FIELD CULTURES IN A CROP ROTATION

Ю.Д. Сыромятников, А.К. Свиридов, НИИСХ ЦЧП им. В.В. Докучаева, 397463, Воронежская обл., Таловский район, п. Институт им. Докучаева, т. (47352) 45-537
В.А. Федотов, Воронежский ГАУ им. К.Д. Глинки, 394087, г. Воронеж, ул. Мичурина, д. 1, т. (4732) 53-77-52
Yu.D. Syromyatnikov, A.K. Sviridov, NIISKH CChP named after V.V. Dokuchaev, 397463, Russian Federation, Voronezh Region, Talovsky District, Dokuchaev Institute, tel.: (47352) 45-537
V.A. Fedotov, Voronezh State Agricultural University, 394087, Russian Federation, Voronezh, Michurin st., 1, tel.: (4732) 53-77-52

Показано влияние систем основной обработки почвы и удобрений на динамику продуктивной влаги и питательных веществ в почве, а также эффективность различных категорий технологии посева и ухода за посевами на фоне различной обработки и применения удобрений с целью получения планируемой урожайности культур севооборота и качества продукции с учетом достижения определенной экономической эффективности.

Ключевые слова: севооборот, обработка почвы, удобрения, категории технологий, урожайность, энергетическая эффективность.

The influence of basic soil cultivation and fertilizers on dynamics of productive moisture and nutrients in soil, and also efficiency of various categories of crop technologies and care of crops against a background of various processing and application of fertilizers in order to receive planned productivity in a crop rotation and quality of production taking into account achievement of certain economic efficiency is shown.

Key words: crop rotation, soil cultivation, fertilizers, categories of technologies, productivity, power efficiency.

В последнее десятилетие темпы интенсификации агротехнологий во всем мире возрастают, и ряд стран перешел рубеж средней урожайности зерновых 5 т/га. Так, средняя урожайность зерновых за последнее десятилетие прошедшего века составила в Германии 6,3 т/га, Франции 7,0 т/га [1]. Причем рост урожайности осуществлялся при малоизменяющемся или снижающемся уровне применения минеральных удобрений (220 кг д.в. на 1 га посевов). При этом окупаемость минеральных удобрений продукцией возрастала до 15 кг зерна за 1 кг д.в. благодаря повышению наукоемкости агротехнологий, их точности.

В рамках региональных систем земледелия данная проблема требует решения и в нашей стране, ибо опыт освоения интенсивных технологий зерновых (в основном озимых) культур в девяностых годах прошедшего столетия свидетельствует, что окупаемость затрат, направленных на получение запланированного урожая зерна, зачастую была в 2–2,5 раза ниже нормативной [2]. Невысокая окупаемость затрат обусловлена тем, что в Центрально-Черноземном регионе основным лимитирующим фактором ограничения урожайности является недостаточная влагообеспеченность культур в период вегетации.

В более поздних исследованиях, проведенными нами в условиях юго-востока ЦЧР, была сделана попытка выявить эффективность различных категорий технологии возделывания полевых культур в севообороте применительно к конкретным почвенно-климатическим условиям с целью достижения планируемой урожайности и качества продукции с учетом обеспечения экологичности применяемых средств химизации и определенной экономической эффективности.

Почва опытного участка — чернозем типичный тяжело-суглинистый: рН — 6,9; содержание гумуса в слое 0–40 см по Тюрину — 7,1%; азот общий — 0,340%; фосфор общий — 0,165%; калий общий — 1,74%; подвижный фосфор — 95–118 мг/кг почвы; обменный калий — 111–151 мг/кг почвы; гидrolитическая кислотность — 1,4–2,0 мг/100 г почвы; сумма поглощенных оснований — 54–55 мг-экв/100 г почвы; степень насыщенности почв основаниями — 96,5–97,5%.

Объектами исследования являлись культуры восьмипольного севооборота: черный пар — озимая пшеница — кукуруза на зерно — ячмень — горох — озимая рожь — подсолнечник — просо. В опытах использовались сорта:

озимой пшеницы — Донская безостая, ржи — Таловская 15, ячменя — Одесский 100, гороха — Уран, подсолнечника — Воронежский 436, проса — Саратовское 6, гибрида кукурузы — Воронежский 3 МВ.

Изучались две системы основной обработки почвы в севообороте, три системы применения минеральных удобрений и три технологии посева и ухода за посевами в течение вегетации.

Первая система основной обработки (O_1) включала ресурсосберегающую преимущественно безотвальную (мульчирующую) обработку. Вспашка плугом ПН–4–35 проводилась лишь на одном поле севооборота (12,5% площади) — под пар на глубину 25–27 см. Безотвальная обработка — под подсолнечник и кукурузу на зерно орудиями типа «параллау» на 25–27 см, под горох стойками СИБИМЭ на 20–22 см, под ячмень и просо плоскорезом КПГ — 250 на 20–22 см. Поверхностная — под озимую рожь БДТ–3 на 8–10 см.

Вторая комбинированная система основной обработки в севообороте (O_2) сочетала отвальные, мульчирующие и поверхностные обработки (вспашка на 50% площади севооборота). Вспашка — под пар, кукурузу и подсолнечник плугом ПН–4–35 на 25–27 см и под горох — на 20–22 см. Безотвальная — под просо и ячмень плоскорезом КПГ — 250 на 20–22 см. Поверхностная — под озимую рожь БДТ–3 на 8–10 см.

Изучались различные нормы минеральных удобрений (U_1 ; U_2 ; U_3) под культуры севооборота на фоне органических: навоз, 40 т/га в пару, незерновая часть урожая озимой ржи и пшеницы — под кукурузу и подсолнечник.

U_1 — минимальная — только азотные удобрения в расчете по 15 кг д.в. на 1 т разбрасываемой соломы озимой пшеницы — под кукурузу и ржи — под подсолнечник (N_{20} на 1 га севооборотной площади).

U_2 — нормы удобрений рассчитаны на прибавку урожая зерна: озимой пшеницы, ячменя и проса — по 1,0 т/га; гороха — 0,5 т/га; подсолнечника — 0,3 т/га (в среднем по N_{54} P_{34} K_{32} на 1 га севооборотной площади).

U_3 — нормы минеральных удобрений, рассчитанные на планируемую урожайность культур севооборота с учетом содержания элементов питания в почве: озимой пшеницы 6,5 т/га, кукурузы на зерно 6,0 т/га, ячменя 4,5 т/га, гороха 3,5 т/га, озимой ржи 4,5 т/га, подсолнечника 2,5 т/га, просо 4,0 т/га (в среднем по N_{75} P_{63} K_{47} на 1 га севооборотной площади).

На разноудобренных фонах испытывали технологии возделывания полевых культур с разным уровнем интенсификации (T_1 ; T_2 ; T_3).

T_1 — экстенсивная (с минимальным использованием пестицидов и других химических средств). При данной технологии гербициды применялись только в посевах проса в борьбе с падалицей подсолнечника. В отношении других культур проводилось лишь протравливание семян перед посевом, а при выращивании кукурузы и подсолнечника в борьбе с сорняками применялась технология с нарезкой при посеве направляющих щелей и механическая междурядная прополка по направляющим щелям с минимальной защитной зоной с использованием копиров.

T_2 — нормальная технология, азотная подкормка озимой ржи и пшеницы, гербициды, инсектициды и ретарданты — с учетом порога вредоносности и времени возобновления весенней вегетации; на кукурузе и подсолнечнике применяли почвенные гербициды, в посевах ячменя при необходимости применяли внекорневую азотную подкормку (25—30 кг д.в. на 1 га) и обработку посевов гербицидами; на горохе — обработка семян микроэлементами (Мо и Мп); в посевах проса — гербицид 2,4—Д.

T_3 — интенсивная технология, интегрированная защита с учетом фитосанитарного состояния, порога вредоносности на основе прогноза появления вредных объектов в посевах.

Опыты показали, что в посевах культур сплошного сева существенных отличий в содержании влаги в пахотном и метровом слоях при различных системах основной обработки почвы не наблюдается (табл. 1).

Культуры севооборота	Слой почвы, см	Ресурсосберегающая (мульчирующая) обработка почвы в севообороте (O_1), (вспашка на 12,5% площади)			Комбинированная обработка в севообороте (O_2), (вспашка на 50% площади севооборота)		
		всходы	цветение	уборка	всходы	цветение	уборка
кукуруза	0—20	19,4	33,1	26,5	26,7	40,1	46,7
	0—100	116	216	124	167	229	202
ячмень	0—20	25,4	18,2	19,2	24,7	18,8	18,2
	0—100	169	99,4	95,7	164	91,9	90,3
горох	0—20	22,7	12,5	9,6	21,4	10,4	12,0
	0—100	154	94,2	72,1	150	98,0	91,1
подсолнечник	0—20	14,7	12,0	21,6	22,5	9,0	22,1
	0—100	112	73,0	105	121	63,2	86,5
просо	0—20	26,1	10,3	13,9	22,5	4,2	13,5
	0—100	141	84,3	87,0	131	82,3	92,1
Среднее по культурам	0—20	21,7	17,2	18,2	23,6	16,5	22,5
	0—100	138	113	96,8	147	113	112

В посевах кукурузы и подсолнечника преимущество в накоплении влаги в метровом слое почвы имела вспашка на протяжении всей вегетации культур.

В среднем по всем культурам севооборота не отмечаются существенных различий в содержании доступной влаги в почве при различных системах основной обработки от начала вегетации и до цветения. Лишь к уборке больше недоиспользованной влаги в почве оставалось при применении вспашки.

Содержание питательных веществ при минимальном применении в севообороте удобрений (только азота для разложения незерновой части урожая озимой ржи и пшеницы) почти не зависело от системы основной обработки почвы в севообороте (табл. 2).

Система применения удобрений в севообороте	Фаза развития растений	Система основной обработки почвы					
		O_1			O_2		
		N—NO ₃	P ₂ O ₅	K ₂ O	N—NO ₃	P ₂ O ₅	K ₂ O
N ₂₀ * (Y) ₁	всходы	18,2	11,8	15,1	18,6	11,0	13,2
	цветение	17,8	10,5	12,5	15,8	10,7	12,1
	уборка	18,4	9,5	12,7	19,6	9,3	11,1
N ₅₄ P ₃₄ K ₃₂ * (Y) ₂	всходы	19,6	15,6	16,4	22,3	13,0	13,4
	цветение	17,2	12,3	13,6	17,7	12,3	15,0
	уборка	21,1	9,9	16,5	19,8	11,4	11,5
N ₇₅ P ₆₃ K ₄₇ * (Y) ₃	всходы	17,1	15,2	15,7	19,9	14,5	14,7
	цветение	16,3	12,6	14,8	17,9	12,3	14,1
	уборка	22,0	12,0	15,1	19,8	10,7	12,7

* Средняя доза под каждую культуру севооборота; N—NO₃ — мг/кг; P₂O₅ и K₂O — мг/100 г абс. сухой почвы

При увеличении дозы вносимых удобрений сначала отмечается увеличение содержания нитратного азота в почве на фоне комбинированной обработки почвы, а фосфора и калия — на фоне мульчирующей обработки.

Такая тенденция отмечается как при расчетных нормах на прибавку урожая, так и на планируемую урожайность.

Содержание нитратов на фоне комбинированной основной обработки почвы от начала к концу вегетации имеет тенденцию к уменьшению, а на фоне мульчирующей обработки — к увеличению. Содержание же подвижного фосфора и обменного калия в процессе роста, как правило, уменьшалось к концу вегетации на обоих фонах обработки почвы в севообороте.

Минеральные удобрения, внесенные в почву, увеличивали содержание доступных растениям форм питательных веществ на 11,2—32,2%. В большей степени увеличиваются запасы фосфора и калия. Разница по сравнению с вариантом минимального внесения удобрений сохраняется до уборки.

При внесении в пару навоза и азотных удобрений при разбрасывании и заделке в почву соломы формируется относительно высокий урожай первых двух культур севооборота озимой пшеницы и кукурузы на зерно: соответственно 4,36 и 5,75 т/га на фоне преимущественно мульчирующей системы основной системы основной обработки почвы в севообороте и 4,32 и 5,62 т/га — на фоне комбинированной системы основной обработки почвы в севообороте (табл. 3).

Культуры	Y ₁		Y ₂		Y ₃				
	план	фактическая	план	фактическая	план	фактическая			
							O ₁	O ₂	O ₁
Озимая пшеница	3,5	4,36	4,32	4,5	4,57	4,74	6,5	4,48	4,58
Кукуруза на зерно	3,5	5,75	5,62	4,5	5,68	5,48	6,0	5,78	6,37
Ячмень	2,5	1,96	1,86	3,0	2,33	2,16	4,5	2,09	2,05
Горох	2,0	1,56	1,54	2,0	1,48	1,61	3,5	1,81	1,78
Озимая рожь	3,0	3,89	4,0	4,0	4,98	5,0	6,0	5,02	5,06
Подсолнечник	1,5	1,17	1,26	1,8	1,08	1,24	2,5	1,18	1,25
Просо	2,5	1,70	1,73	3,0	1,97	1,95	4,0	1,98	1,96

Эти культуры наиболее полно используют питательные вещества почвы и формируют высокий урожай на фоне минимальных доз минеральных (азотных) удобрений. Их продуктивность оказалась на 24,6—64,3% выше ожидаемой.

Повышение уровня удобренности озимой пшеницы не приводило к дальнейшему росту ее урожайности. Так, увеличение дозы минеральных удобрений под озимую пшеницу в расчете на рост урожайности зерна на 1,0 т/га в среднем за три года дало прибавку по сравнению с минимальным фоном удобренности лишь от 0,21 до 0,42 т/га. Дозы минеральных удобрений, рассчитанные на получение урожайности пшеницы 6,5 т/га, обеспечивали увеличение ее продуктивности по сравнению с минимальной нормой на 0,12—0,26 т/га.

Очевидно, в соответствии с законом минимума, озимая пшеница, посеянная по унавоженному чистому пару, в условиях недостаточного увлажнения не способна обеспечить формирование более высокого урожая при возрастающих дозах минеральных удобрений.

При возделывании кукурузы на зерно существенное повышение урожайности достигается при расчетных дозах внесения удобрений на планируемую урожайность 6,0 т/га на фоне комбинированной обработки почвы в севообороте. Она была на 0,37 т/га выше планируемой. Однако, учитывая, что в почву по сравнению с минимальным фоном использования удобрений было внесено дополнительно $N_{64} P_{30} K_{51}$, окупаемость удобрений была очень низкой: 2,6 кг зерна/кг д.в. NPK, при нормативной — 7—8 кг зерна/кг д.в.

Продуктивность ячменя, подсолнечника, гороха и проса была ниже плановой.

В целом баланс продуктивности севооборота между плановой и фактической урожайностью, рассчитанный в кормовых единицах, был положительным при минимальном использовании минеральных удобрений и при расчетных нормах на прибавку урожая соответственно +0,87 и +0,1 т/га к.е., а при расчетных нормах на планируемую урожайность баланс оказался отрицательным (—1,52 т/га к.е.). Полученный результат свидетельствует о том, что в условиях юго-востока ЦЧР на почвах со средними повышенным уровнями содержания доступных для растений элементов питания при условии внесения на 1 га севооборотной площади 5 т/га навоза и около 1 т/га незерновой части урожая озимой ржи и пшеницы в биологически ориентированном земледелии целесообразно ограничиться минимальными нормами применения минеральных удобрений (азотными в расчете по 15 кг д.в./т разбрасываемой соломы).

Об эффективности различных уровней интенсивности технологий, применяемых в целом по севообороту, можно судить по показателям продуктивности единицы севооборотной площади (табл. 4).

Средняя продуктивность севооборота по разным вариантам применения минеральных удобрений, систем основной обработки и уровня интенсивности технологий посева и ухода колеблется в незначительных пределах: от 3,46 до 4,00 т/га к.е. При минимальном применении минеральных удобрений (Y_1) способ основной обработки почвы и мероприятия по посеву и уходу за посевами не оказывали существенного влияния на их эффективность. Коэффициенты энергетической эффективности по всем видам технологий на фоне различных систем основной


обработки были практически одинаковы. Так, при экстенсивной технологии он был равен 2,01 и 1,97 соответственно на фонах преимущественно мульчирующей и комбинированной систем основной обработки почвы в севообороте. При нормальной технологии — соответственно 1,85 и 1,81 и при интенсивной — 1,80 и 1,82.

Таблица 4. Продуктивность и энергетическая эффективность возделывания культур севооборота в зависимости от элементов агротехнологий (среднее за 1991—1993 гг.)

Технологии посева и ухода	Системы применения удобрений в севообороте					
	Y_1		Y_2		Y_3	
	к.е., т/га	Коэффициент энергетической эффективности	к.е., т/га	Коэффициент энергетической эффективности	к.е., т/га	Коэффициент энергетической эффективности
Преимущественно мульчирующая обработка почвы в севообороте						
T_1	3,48	2,01	3,74	1,77	3,78	1,56
T_2	3,59	1,85	3,86	1,70	3,91	1,49
T_3	3,56	1,80	3,73	1,60	3,80	1,42
В среднем	3,54	1,9	3,78	1,7	3,83	1,5
Комбинированная обработка почвы в севообороте						
T_1	3,46	1,97	3,74	1,76	3,92	1,61
T_2	3,56	1,81	4,00	1,75	3,97	1,51
T_3	3,63	1,82	3,97	1,68	3,98	1,47
В среднем	3,55	1,9	3,90	1,7	3,96	1,5

Увеличение норм вносимых удобрений в севообороте (Y_2) приводит к несколько большему увеличению продуктивности севооборота при нормальной и интенсивной технологиях на фоне комбинированной системы основной обработки почвы по сравнению с преимущественно мульчирующей. При этом, однако, наблюдается тенденция снижения энергетической эффективности на обоих фонах основной обработки почвы.

Таким образом, при минимальных дозах применения минеральных удобрений по сравнению с более высокими фонами удобренности культур интенсивные приемы по уходу за посевами энергетически малоэффективны. При минимальной системе использования удобрений и средств защиты растений с биоэнергетической точки зрения наиболее целесообразна ресурсосберегающая (мульчирующая) система основной обработки почвы в севообороте.

При увеличении норм вносимых удобрений, с целью повышения продуктивности культур, при относительно высоком коэффициенте энергетической эффективности, в севообороте целесообразнее применять комбинированную систему основной обработки почвы и нормальную агротехнологию посева и ухода в течение вегетации, предусматривающую наряду с агротехническими и биологическими мероприятиями умеренное использование химических средств, гарантирующих защиту посевов от вредных объектов и формирование высокого урожая хорошего качества. 

Литература:

1. Агроэкологическая оценка земель, проектирование адаптивно-ландшафтных систем земледелия и агротехнологий: Методическое руководство. /Под ред. акад. РАСХН В.И.Кирюшина, акад. РАСХН А.Л. Иванова. — Москва, ФГНУ «Росинформагротех», 2005. — 783 с.
2. Ванин Д.Е. Эколого-экономическая оценка системы удобрения / Д.Е.Ванин, Ю.Д.Ванин, А.А. Мяснянкин // Инновационно-технологические основы развития земледелия: Сб. докладов Всероссийской научно-практической конференции, ВНИИЗ и ЗПЭ РАСХН, 19—21 сентября 2006 г. — Курск, ВНИИЗ и ЗПЭ, 2006. — 549 с.