

ЗЕМЛЕДЕЛИЕ И РАСТЕНИЕВОДСТВО

Известия ТСХА. выпуск 4. 1999 год

УДК 631.459.2:631.613

ВЛИЯНИЕ ПОЧВОЗАЩИТНЫХ РАЗНОГЛУБИННЫХ СИСТЕМ ОБРАБОТКИ НА ПЛОДОРОДИЕ ПОЧВ СКЛОНОВ

С. П. ЧЕБАНЕНКО, А. И. ВЕЛОЛЮБЦЕВ, И. С. КОЧЕТОВ, А. А. ПЧН ОРОВ

(Кафедра земледелия и методики опытного дела)

Установлено, что экономически эффективными и экологически безопасными являются технологии возделывания культур на склонах, включающие вспашку или поверхностную обработку почвы в сочетании со щелеванием на глубину 38—40 см. Уровень продуктивности культур почвозащитного зернотравяного севооборота в большей степени зависит от агрометеорологических условий вегетационных периодов и в меньшей от изучаемых противэрозционных приемов обработки почвы. Продуктивность культур за ротацию 5-польного севооборота составила от 30 до 35 ц зерн. ед. с 1 га.

Создание экологически безопасного сельскохозяйственного производства — общепланетная проблема. Это определяется тем, что антропогенное воздействие на почвы, водные ресурсы, окружающую среду в большинстве стран мира превышает допустимые нормы [1—4].

В Центральном районе Нечерноземной зоны России 66% пашни расположено на склоне круче 1°. Из 19,9 млн га сельскохозяйственных угодий эродировано 3,4 млн га, в том числе 2,5 млн га пашни. Среднегодовой сток талых вод составляет 90—100 мм, а годовой смыв почвы — 21,8 млн т (6 т/га). Недобор сельскохозяйственной продукции в связи с этим достигает 1,8 млн ц корм. ед.

(5,2 ц/га). Наибольший ущерб от эрозии наблюдается в Тульской, Орловской, Рязанской, Московской и Калужской областях, где баланс гумуса, за исключением почв Московской области, — отрицательный [4—6].

В существующих зональных системах земледелия наименее разработанными оказались звенья почвозащитной природоохранной направленности обработки почвы, а также вопросы, связанные со снижением поверхностного стока и смыва почвы, потерями гумуса и элементов питания растений, оптимизацией агрофизических, биологических, алхимических, экологических свойств и фитосанитарного состояния склоновых земель. Вместе с тем

a ₆	a ₅	a ₄	a ₃	a ₂	a ₁	a ₁	a ₂	a ₃	a ₄	a ₅	a ₆	a ₆	a ₅	a ₄	a ₃	a ₂	a ₁
----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------

a ₆	a ₅	a ₄	a ₃	a ₂	a ₁	a ₁	a ₂	a ₃	a ₄	a ₅	a ₆	a ₆	a ₅	a ₄	a ₃	a ₂	a ₁
----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------

Схема размещения вариантов опыта в натуре

a₁ — вспашка (контроль); a₂ — вспашка + щелевище; a₃ — плоскорезная + щелванне; a₄ — плоскорезная + чизелевание; a₅ — поверхностная + щелевание; a₆ — поверхностная;

б₁ — склон крутизной 4° (снизу), б₂ — 8° (сверху).

как с экологической, так и с хозяйственно - экономической точек зрения целесообразнее предупреждение неблагоприятных изменений почвенного покрова, чем выполнение дорогостоящих работ по его восстановлению или воссозданию утраченных свойств, ответственных за плодородие [7—10].

В данной работе сделана попытка выявить роль разноглубинных обработок почвы в соответствии с условиями агроландшафта, биологическими требованиями культур, их отзывчивостью на глубину обработок и противоэрозийную устойчивость создаваемого пахотного слоя. Исследований, посвященных этой проблеме, проводилось недостаточно.

Основное внимание сосредоточено на изменениях свойств среднеэродированной дерново-подзолистой почвы различной крутизны, исследовании поверхностного стока талых вод, смыва почвы, внутрисочечного горизонтального стока, которые произошли в

результате пятилетнего применения разноглубинных (поверхностной, плоскорезной, щелевания, чизелевания) почвозащитных обработок и их сочетаний, периодического известкования и внесения минеральных удобрений.

Методика

Исследования выполнены в стационарном полевом опыте по изучению и разработке научных основ и практических приемов совершенствования защиты почв от эрозии с учетом экологических условий, заложенном в производственных условиях осенью 1980 г. на площади 6 га на Конаковском поле учебно-опытного хозяйства МСХА «Михайловское» в Подольском районе Московской области, а в 1989 г. модернизированной по схеме: А. Система обработок: 1 — вспашка, вспашка + щелевание, плоскорезная + щелевание, плоскорезная + чизелевание, поверхностная + щелевание, поверхностная; Б. Крутизна склона: 4°, 8°.

Для противоэрозионной эффективности вспашки поперек склона, сочетаний: вспашки со щелеванием, плоскорезной со щелеванием, плоскорезной с чизелеванием, поверхностной со щелеванием и поверхностной была разработана система основной обработки почвы, включающая предпосевную обработку почвы под изучаемые культуры, за исключением многолетних гран, тяжелыми дисковыми боронами (БДТ-3), культивацию и обработку РВК-3,6 на глубину заделки семян.

В вариантах вспашка со щелеванием и поверхностная со щелеванием нарезание щелей проводили при устойчивом промерзании почвы на глубину 3—5 см. В вариантах плоскорезная обработка в сочетании со щелеванием и чизелеванием основную обработку почвы проводили агрегатом ПЩН-2,5. Для повышения противоэрозионной эффективности поверхностной обработки почвы после 1-го укоса многолетних трав 2-го г. п. применяли чизелевание на глубину 38—40 см плугом ПЧ-4,5 М. Чтобы повысить почвозащитную способность изучаемых противоэрозионных обработок почвы и для более эффективного использования пожнивных остатков, в 1990 и 1991 гг. дополнительно применяли мульчирование измельченной соломой поверхности почвы.

Почвенный покров в верхней части склона в основном представлен дерново-слабо- и среднеподзолистыми среднесушными стами слабосмытыми почвами, у которых частично смыт гумусовый горизонт А, средняя часть склона представлена среднеподзолисты-

мм почвами (смыты больше половины гумусовый горизонт А₁ и частично подзолистый А₂). Нижняя часть склона представлена преимущественно намытыми дерново-подзолистыми почвами тяжелого гранулометрического состава (илувато-пылеватые суглинки, подстилаемые морской).

Система удобрений рассчитана с учетом агрохимической характеристики пахотного слоя на положительный баланс питательных элементов. Исходная зоохимическая характеристика пахотного слоя следующая: С — 0,93%, N — 0,08%, запасы гумуса — 93 т/га, рН — 6,0, гидролитическая кислотность — около 2,5 мэкв, сумма поглощенных оснований — 20,4 мэкв, Р₂O₅ — 16,5 мг, К₂O — 10,2 мг на 100 г почвы.

Исследования проводили во второй период стационарного полевого опыта (1990—1995 гг.) третьей ротации изучаемого севооборота. Смыв почвы определяли на стоковых площадках (1200 м²) по мутности талой воды и объему водорослей.

Полевые наблюдения за ростом и развитием культур и лабораторные анализы проводили в соответствии с методиками, принятыми в научно-исследовательских учреждениях. Образцы почвы отбирали в 10 точках каждой делянки 3 полевых повторений в начале и конце вегетации. Количество параллельных, повторений — 2. Почвенные образцы анализировали в агрохимических и микробиологических лабораториях МСХА, ВИУА, ВНИИСХМБ, ВНИПТИОУ.

Т а б л и ц а

Влияние противозерозионных обработок на сток талых вод и смыв почвы, в среднем за 1991—1995 гг.

Вариант обработки	Промерзание почвы к началу стока, см	Высота снежного покрова, см	Запасы воды в снеге и осадки, мм	Сток, мм	Коэффициент стока	Смыв почвы, т/га
<i>Крутизна склона 4°</i>						
Вспашка	34	33	49,7	7,2	0,14	0,40
Вспашка + щелевание	35	34	49,9	9,0	0,18	0,27
Плоскорезная + щелевание	33	34	50,9	10,4	0,20	0,42
Плоскорезная + чизелевание	30	35	51,1	8,3	0,16	0,39
Поверхностная + щелевание	30	34	50,6	7,0	0,14	0,30
Поверхностная	29	35	50,5	10,2	0,20	0,39
<i>Крутизна склона 8°</i>						
Вспашка	40	32	46,1	20,7	0,45	0,64
Вспашка + щелевание	41	32	46,1	17,3	0,38	0,53
Плоскорезная + щелевание	40	33	47,5	20,7	0,44	0,67
Плоскорезная + чизелевание	37	33	47,7	20,6	0,43	0,69
Поверхностная + щелевание	36	33	46,7	18,7	0,40	0,60
Поверхностная	35	32	46,7	20,8	0,45	0,74

Метеорологические условия зимних периодов в годы проведения исследований не соответствовали среднемуголетним показателям и характеризовались как неблагоприятные. Отмечены существенные колебания температуры воздуха на общем фоне ее повышения (на 3—5° С), что обусловило многократное чередование положительных их значений с продолжительными оттепелями и о трицательных. При этом неустойчивые зимы способствовали значительному сокращению запасов снега и дополнительным потерям талой воды, ухудшению почвозащитных и стокорегулирующих свойств почвы и изучаемых противозерозионных приемов.

Результаты и обсуждение

Варианты обработки почвы по-разному влияли на глубину ее промерзания (табл. 1). Наиболее значительное промерзание при отвальной вспашке со щелеванием было связано с большим увлажнением почвы этих вариантов при выпадении осадков осенью. Самое слабое промерзание отмечено на делянках поверхностной обработки и ее сочетания со щелеванием. Различия в показателях между этими обработками сохранялось на склоне как крутизной 4°, так и 8°. Почва на склоне крутизной 8° промерзала на 6—7 см, глубже, чем на склоне крутизной 4°. Закономерности в промерза-

нии почвы, отмеченные в начале зимнего периода, сохранялись до начала снеготаяния.

В условиях опытов 1991—1995 гг. почва наиболее интенсивно оттаивала после полного схода снега. Особенно быстрыми темпами (до 3 см в сутки) оттаивание происходило в вариантах вспашка и вспашка со щелеванием, медленнее (до 1,5 см в сутки) — при плоскорезной обработке со щелеванием и плоскорезной с чизелеванием. Очень медленно опаивала почва между проходящими рабочих органов агрегата под измельченной соломой. Влияла и крутизна склона: оттаивание почвы на склоне крутизной 4° было на 4 дня раньше, чем на склоне крутизной 8°.

В среднем за годы исследований по изучаемым вариантам обработок наиболее интенсивно эрозионные процессы происходили на склоне крутизной 8°, где поверхностный сток талых вод и смыв почвы были соответственно в 2,3 и 1,8 раза выше, чем на склоне 4°. Щелевание зяби, проведенное при устойчивом промерзании почвы на 3—5 см на вспашке и поверхностной обработке, по сравнению с другими обработками было более эффективным: сток талых вод уменьшился в 1,1—1,4 раза, а смыв почвы — в 1,2 раза.

Заметный сток талых вод на склоне крутизной 8° отмечен на плоскорезной обработке со щелеванием и чизелеванием. Это объясняется тем, что во время зимних оттепелей мульчированная поверхность почвы при таянии снега увлажнялась сильнее, чем в вариантах с другими обработками.

Следовательно, по степени увеличения почвозащитной эффективности изучаемые противозерозийные обработки почвы в зависимости от величины потерь смытой почвы с поверхностным стоком талых вод располагаются в такой последовательности: поверхностная — плоскорезная с чизелеванием — плоскорезная со щелеванием — вспашка — поверхностная со щелеванием — вспашка со щелеванием.

Один из основных показателей степени развития эрозионных процессов — мутность стоковой вода. На содержание мелкозема в стоке галых вод влияют скорость водного потока, глубина опавания почвы в период стока, наличие растительных остатков и другие факторы. Наибольшая мутность поверхностных вод за время стока была при плоскорезной обработке со щелеванием: после оттаивания почвы она увеличивалась до 0,34 г/л. Близкие по значению показатели мутности имела стекающая вода в варианте плоскорезной обработки с чизелеванием. Таяние снега и льда, а также оттаивание поверхности почвы со стерней, при незначительном слое измельченной соломы, происходили при этих обработках с большей интенсивностью, чем в других вариантах. Почва вокруг стерни находилась в состоянии текучести, а большая энергия стекающей по ледяной поверхности талой воды смывала оттаявшую почву.

В начальный период стока талых вод при мерзлой почве изучаемые противозерозийные обработки существенно не влияли на мутность водного потока.

С увеличением глубины оттаивания до 2—3 см, которое происходило в среднем за 3—4 суток после начала стока, увеличивается и мутность стекающей воды, причем прослеживается некоторая взаимосвязь этого показателя с технологией противозерозионных обработок. Стерневой фон (плоскорезная обработка) и гребнистость влияли на интенсивность оттаивания поверхности почвы и мутность формирующегося поверхностного стока, а следовательно, и на степень развития водной эрозии.

В результате исследований, проведенных методом стационарных водобалансовых площадок в 1990 г., при возделывании озимой пшеницы наибольший внутрипочвенный сток отмечен при поверхностной обработке почвы склона крутизной 8° (3,1 мм).

Изучаемые приемы противозерозионных обработок в зернотравном севообороте неодинаково влияли на содержание общего азота, углерода и запасы органического вещества почвы (табл. 2).

При поверхностной обработке почвы в течение 16 лет при внесении минеральных удобрений на склоне 4° по сравнению со вспашкой запасы гумуса в 40 см слое почвы увеличивались на 0,9 т/га, а по сравнению с исходным его состоянием (1980 г.) этот показатель на 4,0 т/га снизился.

Плоскорезная обработка с чизелеванием, применяемая с 1990 г., способствовала увеличению запасов гумуса на 2,9 т/га по сравнению с уровнем 1980 г. При плоскорезной обработке с чизелеванием и щелеванием на склоне

крутизной 8° запасы гумуса увеличивались соответственно на 3,7 и 0,1 т/га в сравнении с исходным его содержанием (1980 г.). По поверхностной обработке запасы гумуса уменьшились на 0,9 т/га. При увеличении крутизны склона до 8° происходит уменьшение запасов гумуса в связи с ускоренным проявлением водной эрозии.

По содержанию общего азота и углерода в почве варианты почвозащитных приемов обработки мало различались. Содержание азота в почве в 1996 г. по сравнению с уровнем 1980 г. (0,082%) на склоне крутизной 4° при вспашке увеличилось до 0,117%, поверхностной обработке — 0,115 и поверхностной обработке со щелеванием — 0,115; на склоне крутизной 8° при применении плоскорезной обработки с чизелеванием — до 0,108% против 0,074% в 1980. Однако следует сказать, что тенденция к возрастанию содержания общего азота по сравнению с исходным уровнем, как правило, наблюдалась по всем вариантам, особенно на склоне крутизной 4°.

Для углерода характерны те же закономерности. Более заметное снижение содержания углерода при вспашке со щелеванием на изучаемых склонах крутизной 4° и 8° в дерново-подзолистой среднеэродированной почве происходит вследствие ускоренной минерализации гумуса и изъятия фитомассы с урожаем, из-за уничтожения отдельных популяций насекомых и других представителей биоты в связи с применением химических средств защиты растений.

Таблица 2

Содержание общего азота и гумуса (в числителе — 1987 г., в знаменателе — 1996 г.) в слое 0—40 см дерново-подзолистой почвы

Вариант обработки	Запасы гумуса, т/га	C, %	N, %	C : N	$\frac{C}{C \text{ ф. к.}}$ $\frac{N}{C \text{ ф. к.}}$	Степень гумификации, %
<i>Крутизна склона 4°</i>						
Исходные данные. 1980 г.	94,6	0,93	0,082	11,9	0,64	19,9
Вспашка	<u>85,1</u>	<u>0,88</u>	<u>0,069</u>	<u>12,7</u>	<u>0,54</u>	<u>20,9</u>
	89,7	1,07	0,117	9,1	0,56	131
Вспашка + щелевание	<u>84,6</u>	<u>0,88</u>	<u>0,071</u>	<u>12,4</u>	<u>0,54</u>	<u>20,5</u>
	87,1	0,86	0,094	9,1	0,58	13,5
Плоскорезная + щелевание	<u>—</u>	<u>—</u>	<u>—</u>	<u>—</u>	<u>—</u>	<u>—</u>
	91,2	0,94	1,011	9,3	0,56	13,8
Плоскорезная + чизелевание	<u>—</u>	<u>—</u>	<u>—</u>	<u>—</u>	<u>—</u>	<u>—</u>
	97,5	0,86	0,78	11,0	0,54	11,1
Поверхностная + щелевание	<u>—</u>	<u>—</u>	<u>—</u>	<u>—</u>	<u>—</u>	<u>—</u>
	86,4	1,05	0,115	9,1	0,56	13,5
Поверхностная	<u>85,2</u>	<u>0,87</u>	<u>0,072</u>	<u>13,0</u>	<u>0,60</u>	<u>23,7</u>
	90,6	0,90	0,115	7,8	0,55	12,9
<i>Крутизна склона 8°</i>						
Исходные данные. 1980 г.	91,4	0,94	0,074	12,7	0,57	18,5
Вспашка	<u>72,3</u>	<u>0,79</u>	<u>0,066</u>	<u>12,0</u>	<u>0,52</u>	<u>20,7</u>
	80,8	0,78	0,094	8,3	0,45	11,6
Вспашка + щелевание	<u>79,5</u>	<u>0,82</u>	<u>0,064</u>	<u>12,0</u>	<u>0,49</u>	<u>19,7</u>
	86,7	0,70	0,088	8,0	0,50	12,1
Плоскорезная + щелевание	<u>—</u>	<u>—</u>	<u>—</u>	<u>—</u>	<u>—</u>	<u>—</u>
	91,5	0,86	0,094	9,1	0,44	9,4
Плоскорезная + чизелевание	<u>—</u>	<u>—</u>	<u>—</u>	<u>—</u>	<u>—</u>	<u>—</u>
	95,1	1,01	0,108	9,3	0,57	13,8
Поверхностная + щелевание	<u>—</u>	<u>—</u>	<u>—</u>	<u>—</u>	<u>—</u>	<u>—</u>
	84,2	0,88	0,078	11,3	0,54	12,7
Поверхностная	<u>71,5</u>	<u>0,73</u>	<u>0,064</u>	<u>11,4</u>	<u>0,48</u>	<u>21,8</u>
	80,5	0,91	0,098	9,3	0,58	12,3

При 16-летнем применении рекомендуемых доз минеральных удобрений не выявлено заметных различий влияния обработок на групповой состав гумуса. В вариантах противозерозионных прие-

мов обработки в составе гумуса почвы при внесении рекомендуемых доз удобрений несколько повышалось содержание фульвокислот при одновременном уменьшении доли гуминовых кислот.

Однако следует отметить, что для выявления более четких изменений в составе гумуса смытых дерново-подзолистых почв, обусловленных влиянием почвозащитных технологий обработки, культур севооборота и минеральных удобрений, необходим более длительный период исследований, поскольку качественный состав гумуса весьма постоянный показатель, стабильность которого зависит от многих условий. И вместе с тем содержание общего азота, гумуса и его качественный состав, безусловно, зависят от культур зернотравяного севооборота, поскольку смена культур в севообороте влияет на состав и биохимическую деятельность микроорганизмов.

Анализ численности микроорганизмов был проведен в течение вегетационных периодов 1980, 1990 и 1996 гг. Затем данные каждого вегетационного периода были суммированы и за каждый год представлены цифры, характеризующие средние показатели численности каждой из анализируемых групп микроорганизмов. Такой метод подсчета дает возможность сравнивать результаты разных лет более объективно, поскольку стираются трудности выявления различий по отдельным срокам в течение года.

Анализ распределения численности микроорганизмов по профилю дерново-подзолистой среднесмытой почвы свидетельствует (табл. 3), что основная их масса сосредоточена в верхнем (0—20 см) слое. С глубиной число их резко снижается.

Направленность и интенсивность биологических процессов в некоторой степени зависели от состава почвенных микроорганизмов. Так, численность микроорганизмов, использующих минеральные соединения на КАА, и грибов, развивающихся на среде Чапека, на фоне вспашки (для первых особенно при плоскорезной со щелеванием) была несколько больше, чем при вспашке и поверхностной обработке почвы на склоне крутизной 4°. В почвах изучаемых склонов крутизной 4° и 8° заметных различий в численности микроорганизмов не отмечено.

По мере окультуривания почвы несколько возростала численность бактерий, использующих минеральные формы азота (микроорганизмы на КАА), хотя доля актиномицетов при этом достаточно четко снижалась (склон 4°) за исключением варианта поверхностной обработки (1996 г.), где количество актиномицетов сохранялось неизменным. На склоне 8° численность актиномицетов находилась в пределах 0,3—0,5 млн клеток в 1 г абсолютно сухой почвы, на склоне 4° к 1996 г. она была почти такой же.

Применение почвозащитных приемов обработки почвы в течение 16 лет способствовало заметному увеличению численности грибов на среде Чапека. Вместе с тем, чтобы иметь больше оснований для суждения о влиянии обработок на грибы, необходимо было исследовать их качественный состав, поскольку возрастные доли грибов в ряде вариантов не всегда можно считать благо-

Т а б л и ц а 3

Численность микроорганизмов в слое 0—40 см дерново-подзолистой почвы
(млн. в 1 г абсолютно сухой почвы:
числитель — 1990 г. знаменатель — 1996 г.)

Вариант обработки	МПА	КАА	Актино- мицеты. на КАА	Грибы, тыс. шт. на среде Чапека
<i>Крутизна склона 4°</i>				
Исходные данные, 1980 г.	7,3	10,5	0,5	13,2
Вспашка	<u>4,1</u> 4,0	14,3 23,5	<u>0,2</u> 0,3	<u>5,4</u> 5,4
Вспашка + щелевание	<u>3,6</u> 5,8	17,0 28,9	<u>0,3</u> 0,3	<u>17,4</u> 20,4
Плоскорезная + щелевание	<u>5,3</u> 3,8	<u>30,1</u> 27,5	<u>0,2</u> 0,3	<u>5,4</u> 4,2
Плоскорезная + чизелевание	<u>4,9</u> 3,1	<u>11,8</u> 30,2	<u>0,3</u> 0,4	<u>20,4</u> 6,6
Поверхностная + щелевание	<u>3,6</u> 2,9	<u>22,5</u> 18,2	<u>0,3</u> 0,2	<u>5,1</u> 7,2
Поверхностная	<u>3,4</u> 5,4	<u>12,1</u> 12,9	<u>0,3</u> 0,5	<u>12,8</u> 16,8
<i>Крутизна склона 3°</i>				
Исходные данные, 1980 г.	6,5	10,3	0,2	6,6
Вспашка	<u>4,4</u> 2,8	<u>17,5</u> 34,1	<u>0,4</u> 0,3	<u>3,3</u> 3,4
Вспашка + щелевание	<u>4,8</u> 3,8	<u>18,2</u> 13,1	<u>0,4</u> 0,3	<u>18,0</u> 26,4
Плоскорезная + щелевание	<u>5,5</u> 6,1	<u>32,6</u> 30,8	<u>0,3</u> 0,3	<u>5,7</u> 3,9
Плоскорезная + чизелевание	<u>3,2</u> 4,9	<u>11,7</u> 10,0	<u>0,4</u> 0,3	<u>15,0</u> 16,2
Поверхностная + щелевание	<u>2,3</u> 6,1	<u>15,8</u> 13,8	<u>0,3</u> 0,2	<u>4,8</u> 7,2
Поверхностная	<u>6,5</u> 3,4	<u>4,8</u> 7,2	<u>0,3</u> 0,5	<u>19,8</u> 18,0

приятным; важно, чтобы это происходило не за счет фитопатогенов.

К сожалению, весьма затрудняется трактовка результатов, полученных на МПА. На этой среде выявляются микроорганиз-

мы, минерализующие органические соединения азота, в частности аммонификаторы. Их уровень был наивысшим в 1980 г. К 1990 г. в большинстве вариантов он существенно снижался: на склоне 4° особенно (почти

п 2 раза) в вариантах поверхностной обработки, вспашки и поверхностной со щелеванием; на склоне 8° почти в 3 раза — в варианте поверхностной обработки со щелеванием. В 1996 г. в вариантах вспашка обычная и поверхностная со щелеванием на склоне 4° наметилась тенденция к возрастанию численности микроорганизмов и на склоне 8° — в вариантах поверхностной обработки со щелеванием, плоскорезной с чизелеванием. В то же время в других вариантах показатель продолжал снижаться на обоих склонах.

Уровень продуктивности культур зернотравяного севооборота в большей степени зависел от ме-

теорологических условий вегетационных периодов и в меньшей — от изучаемых приемов (табл. 4). Культуры севооборота неадекватно реагировали на обработки почвы и крутизну склона. Если на склоне крутизной 8° в изучаемых вариантах урожайность зерна овса в 1991 г. была примерно одинаковой (различия — 1,6 ц/га, НСР₀₅ = 2,05 ц/га), то с уменьшением крутизны склона эти различия были более заметными. Максимальный урожай зерна овса получен на склоне крутизной 4° при вспашке (27,5 ц/га) и поверхностной обработке со щелеванием (27,2 ц/га), минимальный (24,5 ц/га) — при поверхностной обработке.

Т а б л и ц а 4

Урожайность культур (ц/га)

Вариант обработки	Средн. 1991 г.	Ячмень+ мп. травы 1992 г.	Многолетние травы		Озимая пшеница 1995 г.	В среднем ц корм. ед. с 1 га
			1-й г.п. 1993 г.	2-й г.п. 1994 г.		
<i>Крутизна склона 4°</i>						
Вспашка	27,4	15,7	80,0	23,7	44,6	31,7
Вспашка + щелевание	24,8	15,1	99,4	24,6	46,6	33,5
Плоскорезная + щелевание	26,0	13,8	87,3	25,6	43,3	31,4
Плоскорезная + чизелевание	25,9	14,5	97,7	22,8	42,9	32,3
Поверхностная + щелевание	27,2	16,2	82,8	22,0	41,2	31,0
Поверхностная	24,5	17,2	91,2	23,3	40,9	31,5
<i>Крутизна склона 8°</i>						
Вспашка	27,2	20,3	78,8	18,2	44,6	29,4
Вспашка + щелевание	27,7	18,9	88,6	22,3	50,6	34,8
Плоскорезная + щелевание	27,6	18,2	82,6	21,0	49,0	33,5
Плоскорезная + чизелевание	26,6	19,3	88,5	22,2	48,8	34,0
Поверхностная + щелевание	26,9	19,7	89,6	23,8	45,9	33,8
Поверхностная	28,2	19,7	84,2	23,3	44,7	33,2
НСР ₀₅ ^А	2,05	1,98	9,5	4,5	5,7	
НСР ₀₅ ^Б	1,18	1,14	5,5	2,6	3,3	

Влияние изучаемых склонов на урожайность зерна овса было более существенным при поверхностной обработке и вспашке со щелеванием. На склоне крутизной 8° получена статистически достоверная (соответственно 3,2 и 2,9 ц/га) прибавка урожая зерна овса. Условия засушливого 1992 г. в период вегетации ячменя с подсевом многолетних трав не позволили реализовать биологический потенциал продуктивности этой культуры. Наиболее сильно от засухи пострадали многолетние травы, подсеянные под покров ячменя. В 1992 г. на склоне крутизной 8° не установлено существенных различий по вариантам в урожайности зерна ячменя. На склоне крутизной 4° , напротив, урожайность зерна ячменя колебалась от 13,8 ц/га по плоскорезной обработке со щелеванием до 17,2 ц/га по поверхностной обработке при урожайности по вспашке на 20—22 см — 15,7 ц/га.

Высокая температура и отсутствие осадков в начале роста подсеянных под покров ячменя многолетних бобово-злаковых трав, а также крайне сложные условия перезимовки привели к их изреживанию и отсутствию в посевах бобового компонента. Исхода из этого весной 1993 г. нами был проведен подсев многолетних трав (половинная норма).

В первой половине вегетационного периода 1993 г. условия для роста и развития многолетних трав 1-го года пользования были неблагоприятные для формирования надземной зеленой массы. Урожайность первого укоса многолетних трав составила 80—100 ц/га зеленой массы. Метеорологические

условия во второй половине вегетации многолетних трав были благоприятными, что позволило сформировать высокий урожай сена — от 80 до 99 ц/га. Исследованиями установлена общая тенденция к повышению урожайности сена многолетних трав в вариантах вспашка со щелеванием на склоне крутизной 4° и поверхностная обработка со щелеванием на склоне крутизной 8° , что связано с более оптимальной обеспеченностью влагой благодаря большому задержанию стока талых вод.

В вегетационный период 1994 г. изучаемые в опыте варианты обработок почвы и крутизна склона не оказали существа того влияния на урожайность многолетних трав 2-го г.п. Наиболее сильно пострадали от засухи многолетние травы 1-го г.п., что существенно отразилось и на урожайности сена многолетних трав 2-го г.п. В этих условиях в вариантах противозерозионных обработках в сравнении со вспашкой получена несущественная (2,0—5,6 ц/га) прибавка урожая сена при $НСР_{05} = 4,5$ ц/га.

Засушливые условия вегетационного периода 1995 г. заметно не отразились на урожае зерна озимой пшеницы, замыкающей культуры изучаемого зернотравяного севооборота. Установлена общая тенденция к повышению урожайности зерна озимой пшеницы в вариантах, где проводились дополнительно щелевание и чизелевание на фоне вспашки и поверхностной обработки. Наибольшая и статистически достоверная при 5% уровне значимости ($НСР_{05} = 5,7$ ц/га) прибавка (6,0 ц/га) получена при вспашке со щелеванием на склоне крутизной 8° .

В целом продуктивность культуры за ротацию (1991—1995 гг.) зернотравяного севооборота составила от 30 до 35 ц черновых единиц с 1 га севооборотной площади.

В условиях Московской области экономически эффективными являются технологии возделывания культур зернотравяного севооборота на склоновых землях в адаптивно-ландшафтном земледелии, включающие вспашку или поверхностную обработку почвы в сочетании со щелеванием на глубину 38—40 см.

Основные показатели эффективности функционирования агроэкосистем в экологии и агроэкологии определяют и отражают процессы трансформации энергии и вещества.

Нами использован специфический метод, разработанный во ВНИИ земледелия и защиты почв от эрозии [1,2], позволяющий учитывать систему показателей: энергопотенциал почвы и его изменения, количество ФАР, антропогенные затраты, потери энергии под действием противозрозионных приемов.

Из табл. 5 видно, что различные приемы противозрозионной обработки почвы имеют большую эффективность на более крутых склонах. Так, производительность агроэкосистемы озимой пшеницы на единицу совокупного энергетического ресурса на склоне крутизной 4° составила 76—87 МДж • день/ГДж. Те же противозрозионные приемы на склоне крутизной 8° обеспечили более высокую производительность агроэкосистем — 85—

96 МДж • день/ГДж, или на 10,6% выше по сравнению с уровнем на склоне 4°.

Озимая пшеница является культурой, более выгодной для возделывания на крутых склонах, так как ее производительность на единицу ресурса практически в 2 раза выше, чем, допустим, у овса (табл. 5, 6).

Определение показателя направленности воспроизводства плодородия почвы показало, что противозрозионные приемы основной обработки почвы, в том числе и вспашка, обеспечивают расширенное воспроизводство плодородия почвы под обеими культурами ($V > 1,0$). Однако более интенсивно этот процесс протекает на склоне крутизной 8°, а озимая пшеница, в свою очередь, является более эффективной культурой в смысле восстановления плодородия почвы, так как более производительно использует как природный, так и антропогенный ресурс на воспроизводство плодородия почвы (30%). Сами противозрозионные приемы также способствуют более интенсивному восстановлению плодородия почвы ($V = 4,06$ — по вспашке и $V = 4,15—4,66$ — по противозрозионным энергоемким приемам).

Выводы

1. Почва во всех вариантах работок на склоне крутизной 8° промерзала на 6—7 см глубже, чем на склоне 4°. Наиболее быстрыми темпами (до 3 см в сутки) оттаивала почва в вариантах вспашка и вспашка со щелеванием. На склоне крутизной 4°

Таблица 5

Энергетическая эффективность озимой пшеницы (1995 г. — числитель)
и овса (1991 г. — знаменатель)

Вариант обработки	E_{ϕ} , ГДж/га	$E_{A}H_2$, ГДж/га	J, ц/га	Э, ГДж/ц	ЭЭ, $E_{\phi}/E_{A}H_2$
<i>Крутизна склона 4°</i>					
Вспашка	<u>174</u>	<u>19</u>	<u>44,6</u>	<u>0,4</u>	<u>9,29</u>
	101	11	27,4	0,4	9,04
Вспашка + щелевание	<u>182</u>	<u>20</u>	<u>46,6</u>	<u>0,4</u>	<u>9,31</u>
	89	12	24,8	0,5	7,61
Плоскорезная + щелевание	<u>169</u>	<u>19</u>	<u>43,3</u>	<u>0,4</u>	<u>8,94</u>
	94	11	26,0	0,4	8,24
Плоскорезная + чизелевание	<u>167</u>	<u>19</u>	<u>42,9</u>	<u>0,4</u>	<u>8,86</u>
	93	11	25,9	0,4	8,35
Поверхностная + щелевание	<u>161</u>	<u>18</u>	<u>41,2</u>	<u>0,5</u>	<u>8,74</u>
	98	11	27,2	0,4	8,87
Поверхностная	<u>160</u>	<u>18</u>	<u>40,9</u>	<u>0,4</u>	<u>9,04</u>
	88	10	24,5	0,4	8,67
<i>Крутизна склона 8°</i>					
Вспашка	<u>174</u>	<u>19</u>	<u>44,6</u>	<u>0,4</u>	<u>9,29</u>
	98	11	27,2	0,4	8,81
Вспашка + щелевание	<u>198</u>	<u>20</u>	<u>50,6</u>	<u>0,4</u>	<u>9,98</u>
	100	12	27,7	0,4	8,45
Плоскорезная + щелевание	<u>191</u>	<u>19</u>	<u>49,0</u>	<u>0,4</u>	<u>9,92</u>
	99	11	27,6	0,4	8,68
Плоскорезная + чизелевание	<u>2191</u>	<u>19</u>	<u>48,8</u>	<u>0,4</u>	<u>9,89</u>
	96	11	27,7	0,4	8,41
Поверхностная + щелевание	<u>179</u>	<u>19</u>	<u>45,9</u>	<u>0,4</u>	<u>9,58</u>
	97	11	26,9	0,4	8,78
Поверхностная	<u>175</u>	<u>18</u>	<u>44,7</u>	<u>0,4</u>	<u>9,75</u>
	101	10	28,2	0,4	9,79

энергия надземной фитомассы, ГДж/га; $E_{A}H_2$ — затраты невозобновляемой энергии на возделывание культуры, ГДж/га; Э — энергоёмкость полученной основной продукции (затраты на единицу основной продукции), ГДж/ц; ЭЭ — энергетическая эффективность возделывания сельскохозяйственной культуры. ед.

Таблица 6

Результаты биоэнергетического анализа
озимой пшеницы (1995 г. — числитель) и овса (1991 г. — знаменатель)

Вариант обработки	Потери энергии, ГДж/га			Затраты энергии, ГДж/га		КВП, ГДж·день/ГДж	V
	со стоком	со смывом	всего	сово- купной	в т.ч. нево- зобнов- ляемой		

Крутизна склона 4°

Вспашка	<u>40</u>	<u>2</u>	<u>42</u>	<u>23,8</u>	<u>18,7</u>	<u>83</u>	<u>2,88</u>
	40	14	54	15,8	11,1	47	1,34
Вспашка + щелевание	<u>12</u>	<u>1</u>	<u>13</u>	<u>24,6</u>	<u>19,5</u>	<u>87</u>	<u>3,04</u>
	8	4	12	16,4	11,7	43	1,25
Плоскорезная + щелевание	<u>17</u>	<u>2</u>	<u>19</u>	<u>23,9</u>	<u>18,9</u>	<u>80</u>	<u>2,74</u>
	19	9	27	16,1	11,3	44	1,23
Плоскорезная + чизелевание	<u>22</u>	<u>2</u>	<u>24</u>	<u>23,9</u>	<u>18,9</u>	<u>80</u>	<u>2,71</u>
	25	9	34	15,9	11,2	44	1,22
Поверхностная + щелевание	<u>20</u>	<u>1</u>	<u>22</u>	<u>23,5</u>	<u>18,4</u>	<u>77</u>	<u>2,62</u>
	20	4	24	15,8	11,0	46	1,26
Поверхностная	<u>42</u>	<u>2</u>	<u>44</u>	<u>22,7</u>	<u>17,7</u>	<u>76</u>	<u>2,64</u>
	39	11	51	14,9	10,2	43	1,26

Крутизна склона 8°

Вспашка	<u>41</u>	<u>3</u>	<u>43</u>	<u>23,8</u>	<u>18,7</u>	<u>85</u>	<u>4,06</u>
	38	19	58	15,8	11,1	48	1,93
Вспашка + щелевание	<u>13</u>	<u>3</u>	<u>15</u>	<u>24,9</u>	<u>19,8</u>	<u>96</u>	<u>4,54</u>
	14	9	29	16,5	11,8	49	1,97
Плоскорезная + щелевание	<u>15</u>	<u>2</u>	<u>18</u>	<u>24,4</u>	<u>19,3</u>	<u>93</u>	<u>4,35</u>
	16	10	25	16,2	11,4	49	1,93
Плоскорезная + чизелевание	<u>17</u>	<u>3</u>	<u>20</u>	<u>24,3</u>	<u>19,3</u>	<u>94</u>	<u>4,66</u>
	17	14	31	16,1	11,4	47	1,85
Поверхностная + щелевание	<u>14</u>	<u>2</u>	<u>17</u>	<u>23,8</u>	<u>18,7</u>	<u>87</u>	<u>4,15</u>
	11	10	21	15,7	11,0	48	1,92
Поверхностная	<u>43</u>	<u>4</u>	<u>47</u>	<u>22,9</u>	<u>17,9</u>	<u>86</u>	<u>4,54</u>
	28	23	51	15,1	10,6	50	2,23

оттаивание почвы отмечалось на 4 дня раньше, чем на склоне крутизной 8°.

2. Эрозионные процессы наиболее интенсивно происходили на склоне крутизной 8°. В этом случае поверхностный сток талых вод и смыв почвы были соответственно выше в 2,3 и 1,8 раза. Щелевание по вспашке и поверхностной обработке по сравнению с другими обработками было более эффективным: сток талых вод уменьшился в 1,1—2,4 раза, а смыв почвы — в 1,2 раза. По уровню почвозащитной эффективности обработки почвы в зависимости от потерь смытой почвы с поверхностным стоком талых вод располагаются в следующей последовательности: поверхностная — плоскорезная с чизелеванием — плоскорезная со щелеванием — вспашка со щелеванием.

3. Близкие показатели мутности имела стекающая вода в варианте плоскорезная обработка с чизелеванием. С увеличением глубины оттаивания почвы до 2—3 см, которое происходило в среднем за 3—4 суток после начала стока, увеличивалась и мутность стекающей воды. Прослежена некоторая взаимосвязь этого показателя с технологией противоэрозионных обработок. Стерневой фон (плоскорезная обработка) и гребнистость влияли на интенсивность оттаивания поверхности почвы и мутность формируемого стока, а следовательно, и на степень развития водной эрозии.

4. Применение поверхностной обработки почвы в течение

16 лет при внесении рекомендуемых доз удобрений на склоне крутизной 4° по сравнению со вспашкой привело к увеличению запасов гумуса на 0,9 т/га, а вспашки со щелеванием, напротив, к их уменьшению на 3,5 т/га в слое почвы 0—40 см; на склоне 8° при плоскорезной обработке с чизелеванием и щелеванием увеличило соответственно на 10,7 и 9,7 т/га. Применение в течение 16 лет вспашки, вспашки со щелеванием, поверхностной со щелеванием и поверхностной обработки на склоне крутизной 4° способствовало уменьшению запасов гумуса в слое 0—40 см соответственно на 4,9, 3,4, 8,2 и 4,6 т/га по сравнению с исходным уровнем (1980 г.). Аналогичная, но более заметная закономерность отмечена в вариантах обработок и на склоне крутизной 8°.

По содержанию азота и углерода в почве варианты почвозащитных обработок мало различались между собой.

Изучаемые обработки в течение 16 лет не оказали заметного влияния на качественный состав гумуса. Выявлена тенденция к повышению содержания фульвокислот при одновременном уменьшении доли гуминовых кислот и возрастании доли гуминовых кислот, связанных с кальцием, в 1,5—2 раза. Эти различия обусловлены, видимо, биологией, химическим составом биомассы и технологией возделывания опытных культур.

5. Щелевание, чизелевание, их сочетание с поверхностной и плоскорезной обработками, а также

применение удобрений в зернотравяном севообороте на склоновых землях положительно влияют на биологическую активность, дыхание, газообмен почвы, биосинтез ферментов.

Изучаемые приемы за 3 ротации 5-польного севооборота оказали заметное влияние на ферментативную активность почвы. Активность фосфатазы, инвертазы и полифенолоксидазы по изучаемым обработкам и вносимым удобрениям заметно возросла в 1996 г. в сравнении с 1980 г., особенно на склоне 8°. При этом в пахотном 20 см слое почвы активность ферментов в 1,5—2,0 раза была выше, чем в нижележащем 20—40 см горизонте.

6. Уровень продуктивности культур зернотравяного севооборота в большей степени зависит от метеорологических условий вегетационных периодов и в меньшей от изучаемых приемов. Продуктивность культур за ротацию (1991—1995 гг.) зернотравяного севооборота составила от 30 до 35 ц зерновых единиц с 1 га севооборотной площади.

Установлено, что экологически и экономически эффективными являются технологии возделывания культур зернотравяного севооборота, включающие вспашку или поверхностную обработку почвы в сочетании со шелеванием на глубину 38—40 см. Они способствуют более интенсивному восстановлению плодородия почвы, где показатель направленности воспроизводства плодородия почвы (V) равен 4,15—4,66 в срав-

нении с уровнем при вспашке 4,06 и позволяют обеспечить окупаемость дополнительных затрат на обработку в размере 1,23 руб. на каждый рубль затрат.

ЛИТЕРАТУРА

1. Володин В. М., Еремина Р. Ф., Шестакова Л. П. Методика оценки эффективности систем земледелия на биоэнергетической основе. М.: ВАСХНИЛ, 1989. —
2. Володин В. М., Еремина Р. Ф. Эколого-экономическая оценка ландшафтных систем земледелия на биоэнергетической основе. — Методика эколого-экономической оценки систем земледелия. М.: РАСХН, 1995, с. 34—47. — 3. Каиштанов А. Н. Концепция развития земледелия в условиях перехода к рыночным отношениям и многоукладному сельскому хозяйству. — Сб.: Земельная реформа и пути развития земледелия СССР. Курск, 1992, с. 387—411. —
4. Каиштанов А. Н., Щербаков А. П. Ландшафтное земледелие, ч. 1 и 2, Курск, 1993. — 5. Каиштанов А. Н., Шишов Л. Л., Кузнецов М. С., Кочетов И. С. Эрозия и охрана почв России. — Сб.: Антропогенная деградация почвенного покрова и меры ее предупреждения, т. 2. М.: РАСХН, 1998, с. 18—22. — 6. Кирюшин В. И. Концепция адаптивно-ландшафтного земледелия. Пушкино, 1993. — 1. Кирюшин В. И. Зональные особенности изменения почвенного покрова и почв при сельскохозяйственном использовании. — Сб.: Проблемы антропогенного почвообразования. М.:

РАСХН, 1997, с. 64-66. — 8. *Кирюшин В. И.* Экологические основы земледелия. М.: Колос, 1996. — 9. *Кочетов И. С.* Агрорландшафтное земледелие и водная эрозия почв в Центральном Нечерноземье. М.: Колос, 1999. — 10. *Маслов Б. С.* Комплексная мелиорация, становление и развитие. М.: РАСХН, 1998.

Статья поступила 25 октября 1999 г.

SUMMARY

It has been found that the level of productivity of crops in soil-protecting grain-grass rotation is more dependent on agrometeorological conditions in vegetation periods and less dependent on investigated antierosion practices of soil management. Productivity of crops during 5-course rotation was from 30 to 35 centners of grain units per 1 hectare. Technologies of cultivating crops on sclones, including plowing or surface soil tillage in combination with slitting to the depth of 38—40 cm, are economically efficient and ecologically safe.