

УДК 631.811:631.445.24:631.459.2

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ УДОБРЕНИЙ НА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЕ РАЗНОЙ СТЕПЕНИ СМЫТОСТИ

Б. В. АНТИПОВ, Г. И. БАЗДЫРЕВ, А. Х. ОНТАЕВ
(Кафедра земледелия и методики опытного дела)

Результаты вегетационно-полевых опытов позволили установить, что с увеличением смытости почв эффективность удобрений, особенно азотных, повышается. Наибольшая урожайность зерновых культур на смытых почвах получена при комплексном применении минеральных и органических удобрений, способствующих быстрому восстановлению и повышению плодородия этих почв.

Одним из признаков современного интенсивного земледелия является научно обоснованное применение удобрений с учетом влияния отдельных их видов и различных сочетаний на урожайность сельскохозяйственных культур, а также с учетом необходимости сохранения и повышения плодородия почвы в конкретных почвенно-климатических условиях. Особенно важно научное обоснование использования удобрений в условиях склонового земледелия, поскольку на эродированных почвах долевое участие их в формировании урожая превышает 50 % [1, 2, 12].

Исследования, проведенные на эродированных дерново-подзолистых почвах, свидетельствуют о высокой эффективности удобрений [9, 13, 15]. Однако в Центральном районе Нечерноземной зоны РСФСР проводилось еще очень мало исследований плодородия эродированных почв, эффективности возрастающих доз азотных удобрений, комплексного применения минеральных и органических удобрений для ускоренного восстановления и повышения плодородия смытых дерново-подзолистых почв, увеличения урожайности зерновых культур. Более детальное изучение с использованием современных научных методов требуют способы заделки удобрений на эродированных почвах. Это и ставилось целью нашей работы.

Методика

Исследования проводили в 1981 — 1985 гг. в серии вегетационно-полевых опытов, заложенных на опытном поле межфакультетской лаборатории ТСХА в учхозе «Михайловское». Для закладки опытов использовали дерново-подзолистую почву разной степени смытости (фактор А): 1 — несмытая (0,87% углерода); 2 — среднесмытая (0,69 %); 3 — сильносмытая (0,60%); 4 —

намытая (2,1%). Диагностика почвы по степени смытости проводилась по содержанию углерода в гумусовом горизонте [7] и степени смытости гумусового горизонта [11].

В 2-факторном (4×6) опыте 1 изучалось влияние на урожайность культур степени смытости почвы и удобрений (фактор В): 1 — без удобрений (контроль); 2 —

120N120P120K. (фон); 3 — фон+навоз, 100 т/га; 4 — фон + солома, 6 т/га; 5 — фон+сидерат (клевер), 50 т/га; 6 — фон+тингбиатор (N-serve), 1 кг/га.

в опыте использовали металлические оцинкованные сосуды без дна диаметром 30 см и высотой 25 см. Повторность 5-кратная культуры — озимая пшеница сортов Мироновская 808 (1982 г.) и Заря (1983 г.), ячмень сорта Надя (1983 г.).

В 2-факторном (4×5) опыте 2 изучали воздействие тех же факторов, что и в опыте 1. Здесь были следующие варианты удобрения: 1 — без удобрений (контроль); 2 — 120P120K (фон); 3 — фон + 60N; 4 — фон+90N; 5 — фон +120N. Использовали сосуды без дна диаметром 20, высотой 22 см. Повторность 4-кратная; культуры — ячмень Надя (1982, 1984 гг.), озимая пшеница Заря (1983 г.).

В 3-факторном (4×2×4) опыте 3 (1982—1983 гг.) наряду со степенью смытости почв и удобрениями: 1 — без удобрений (контроль), 2 — 120N120P120K — изучался фактор С (микроудобрения): 1 — без удобрений (контроль 2); 2 — бор, 1 кг/га; 3 — медь 50 г/га; 4 — молибден, 1 кг/га. Повторность опыта 3-кратная. Использовались сосуды без дна, изготовленные из армированной полиэтиленовой пленки (ТУ 6—19—27—78). Высота сосуда 25 см, площадь 0,5 м². При закладке опыта проводилось известкование по полной гидролитической кислотности. Возделывали культуры — ячмень Надя, яровую пшеницу Эритроспермум 1101, овес Астор.

В 3-факторном (4×2×3) опыте 4 изучали степень смытости почвы; удобрения:

1 — без удобрений (контроль); 2 — 20N120P120K; способы заделки удобрений (фактор С) в слой почвы: 1 — 0—20 см; 2 — 0—10 см; 3 — 0—5 см. Опыт заложен в 4-кратной повторности в железных оцинкованных сосудах без дна диаметром 20 и высотой 22 см. В 1984 г. выривали озимую пшеницу Заря, в 1985 г. — ячмень Надя.

Минеральные удобрения в виде аммиач-

ной селитры, суперфосфата двойного, 40% калийной соли вносили перед посевом культур в слой почвы 0—12 см. В опыте 4 в качестве азотного удобрения применяли аммиачную селитру, общемеченную по азоту (¹⁵NH₄ ¹⁵NO₃). В опыте 1 часть нормы азотного удобрения (60N) вносили весной в подкормку под озимую пшеницу; в опытах 2 и 4 — доза подкормки 30N.

Определение агрохимических показателей почвы проводили перед закладкой опытов и по окончании исследований по ОСТ 46-40—76 и ОСТ 46-52—76. Содержание азота, фосфора и калия в хозяйственной части урожая опыта 2 определяли после мокрого озоления смесью серной и хлорной кислот (по Гинзбург) с последующим использованием фенолового метода (по Кудеярову), P₂O₅ — молибдатным методом, K₂O — на пламенном фотометре; общий азот в зерне и соломе в опыте 4 — по Кьельдалю, ¹⁵N — на масс-спектрометре МИ-1035 в ВИУА. Содержание азота удобрения в растениях рассчитывали по уравнению изотопного разделения. Урожайность учитывали по каждому сосуду отдельно. Зерно обмолачивали вручную. Зерно и солому доводили до абсолютно сухой массы. Полученные данные обрабатывали методом дисперсионного анализа для многофакторных опытов (по Доспехову), экспериментальные данные опыта 3 — с помощью регрессионного анализа в ЦИНАО на ЭВМ ЕС-1035 по программе ПК ВМДР (СОМИ) и следующей статистической модели:

$$y = v_0 + v_1\Pi + v_2Д + v_3М + v_4\Pi^2 + v_5Д^2 + v_6М^2 + v_7\PiД + v_8\PiМ + v_9ДМ \quad (a),$$

где v₀ — свободный член, v₁₋₉ — коэффициенты частной регрессии; Π — степень смытости почвы; Д — удобрения; М — микроудобрения.

Степень смытости почвы в статистической обработке представлена как качественный показатель. Соответственно степени смытости (фактор А) почве были присвоены количественные веса: 0, 1, 2, 3.

Результаты

Анализ почв разной степени смытости, взятых для закладки опытов, показал, что они существенно различались между собой по биологическим и физико-химическим свойствам. Так, в средне- и сильносмытой почвах содержалось меньше, чем в несмытой, углерода на 0,18 и 0,27 %, общего азота — на 0,030 и 0,034 %, подвижных форм фосфора — в 1,4 и 2,7 раза. По содержанию обменного калия почвы различались мало (табл. 1). Под действием эрозийных процессов изменилась

Таблица 1

Агрохимические свойства почв разной степени смытости, взятых для закладки опытов

Степень смытости почвы	С	N _{общ}	P ₂ O ₅	K ₂ O	N ₁	Сумма обменных оснований	PH _{СОЛ}
	%		мг на 1 кг		мг-экв на 1 00 г		
Несмытая	0,87	0,083	162	119	1,31	19,4	5,86
Среднесмытая	0,69	0,053	112	115	3,13	20,7	4,60
Сильносмытая	0,60	0,049	60	103	3,79	19,6	4,25

реакция почвенного раствора в сторону подкисления: значения $pH_{\text{сол}}$ снизились от 5,86 на несмытой почве до 4,60 и 4,25 на средне- и сильно-смытой почвах. Одновременно возросли значения гидролитической кислотности — соответственно от 1,31 до 3,13 и 3,79 мг·экв на 100 г. Таким образом, с увеличением степени смытости дерново-подзолистой почвы ухудшаются показатели ее плодородия.

Зерновые культуры неодинаково реагировали на степень смытости почвы. В среднем за годы исследований в контрольных вариантах (без удобрений) урожайность озимой пшеницы на средне- и сильно-смытой почвах была ниже, чем на несмытой, соответственно на 12,5 и 39,8 %, яровой пшеницы — на 15,3 и 43,8, ячменя — на 3,5 и 21,0, овса — на 4,4 и 34,0 % (табл. 2). Таким образом, наибольшая депрессия урожайности зерновых культур на неудобренном фоне наблюдалась на сильно-смытой почве. По реакции на степень смытости почвы зерновые культуры располагались в следующем порядке: ячмень < овес < озимая пшеница < яровая пшеница.

Не все удобрения оказались одинаково эффективными в проводимых опытах. Одни фосфорно-калийные удобрения мало влияли на продуктивность зерно-

Таблица 2
Относительная урожайность зерновых культур (% к варианту несмытой почвы) на почвах разной степени смытости

Культура	Степень смытости почвы	
	средне-смытая	сильно-смытая
Оз. пшеница (1982—1984)	87,5	60,2
Яр. пшеница (1982—1983)	84,7	53,2
Ячмень (1982—1983)	96,5	79,0
Овес (1981—1983)	95,6	66,0

Таблица 3
Эффективность возрастающих норм азотных удобрений (г/сосуд) на почвах разной степени смытости (опыт 2)

Степень смытости почвы (фактор А)	Урожай зерн. на по фону 1 20P120K	Прибавка от N к фону (фактор В)		
		60N	90N	120N
Ячмень, 1982 г.				
Несмытая	13,4	6,0	8,1	9,3
Среднесмытая	15,2	4,3	5,9	3,8
Сильносмытая	7,8	3,9	4,1	5,6
НСР ₀₅ для А	4,0	—	—	—
НСО ₀₅ для В	3,7	—	—	—
Оз. пшеница, 1983 г.				
Несмытая	12,7	1,7	2,3	2,8
Среднесмытая	12,2	1,1	1,6	2,8
Сильносмытая	10,8	1,0	1,3	2,7
НСР ₀₅ для А	1,8	—	—	—
НСО ₀₅ для В	1,6	—	—	—
Ячмень, 1984 г.				
Несмытая	8,5	8,3	12,4	13,0
Среднесмытая	8,3	5,3	9,5	10,0
Сильносмытая	6,0	6,0	10,3	13,0
НСР ₀₅ для А	5,7	—	—	—
НСР ₀₅ для В	5,1	—	—	—
В среднем за 3 года				
Несмытая	11,5	5,4	7,6	8,4
Среднесмытая	11,9	3,6	5,7	5,5
Сильносмытая	8,2	3,6	5,2	7,7
НСР ₀₅ для А	4,2	—	—	—
НСР ₀₅ для В	3,8	—	—	—

вых культур, по-видимому, из-за дефицита азота. Азотные удобрения значительно увеличивали урожайность зерновых культур, особенно при повышении их доз на фоне фосфорно-калийных удобрений. Наибольшую прибавку урожая на фоне 120P120K получили при внесении 120N. Эффективность азотных удобрений заметнее проявилась на сильно-смытой почве. Так, в среднем за 3 года в вариантах 60N, 90N и 120N урожайность зерновых была на 43,9; 63,4 и 93,9 % больше, чем по фону РК.

Эффективность азотных удобрений зависела также от возделываемой культуры и условий вегетационного периода. В опыте 2 наибольшие прибавки от 120N были получены в посевах ячменя в 1984 г.: на несмытой, средне- и сильно-смытой почвах — соответственно 152,9; 120,5 и 216,7 % к урожаю на фоне РК (табл. 3).

В среднем за 3 года исследований общий вынос азота хозяйственной частью урожая закономерно возрастал на всех изучаемых почвах с увеличением доз азотных удобрений на фоне РК. Так, в вариантах 60N с урожаем зерновых культур на несмытой, средне- и сильносмытой почвах выносились соответственно на 66,1; 51,9 и 58,0 % больше азота, чем по фону РК; в вариантах 90N — на 84,6; 74,2 и 82,2 % в вариантах 120N — на 100,9; 83,9 и 110,1 % (табл. 4). Под влиянием азотных удобрений увеличивался вынос фосфора и калия. Он был максимальным при дозе 120N.

Уровень минерального питания сказался не только на размерах выноса основных элементов питания, но и на их соотношении в хозяй-

Т а б л и ц а 4

Вынос элементов питания хозяйственной частью урожая и их соотношение на почвах разной степени смытости (опыт 2)

Вариант	Хозяйственный вынос, мг/сосуд			Соотношение питательных веществ в общем их выносе		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Несмытая						
Контроль	223,5	53,5	253,0	4,2	1	4,7
120P120K (фон)	230,0	54,0	293,2	4,3	1	5,4
Фон 4- 60N	382,0	71,1	342,6	5,4	1	4,8
» + 90 N	424,7	76,0	384,7	5,6	1	5,1
» — 120N	462,1	77,2	412,4	6,0	1	5,3
Среднесмытая						
Контроль	203,1	52,5	243,6	3,9	1	4,6
120P120K (фон)	230,7	52,6	277,2	4,4	1	5,3
Фон + 60N	350,4	59,7	374,8	5,9	1	6,3
» + 90N	401,8	61,4	382,2	6,5	1	6,2
» 4- 120N	424,2	57,1	367,3	7,4	1	6,4
Сильносмытая						
Контроль	166,3	33,4	189,1	5,0	1	5,7
120P120K (фон)	174,0	30,4	181,9	5,7	1	6,0
Фон + 60N	274,9	40,5	267,3	6,8	1	6,6
» + 90N	318,1	47,4	318,8	6,7	1	6,7
» + 120N	365,5	45,0	329,3	8,0	1	7,3

ственной части урожая. Так, с увеличением доз азотного удобрения на неизменном фосфорно-калийном фоне расширялось соотношение N : P₂O₅: K₂O. Оно было наиболее широким на смытых почвах в варианте 120N. В среднем за 3 года на среднесмытой почве на единицу потребления зерновыми культурами фосфора приходилось 7,4 единицы азота и 6,4 единицы калия, на сильносмытой — соответственно 8,0 и 7,3 единицы (табл. 4). Это свидетельствует о большей потребности зерновых культур, возделываемых на эродированных почвах, в азоте, чем в фосфоре и калии.

Отзывчивость яровых культур на NPK и микроудобрения проверялась в опыте 3. При внесении 120N120P120K по известкованному фону существенно увеличивалась урожайность этих культур. Значительными были прибавки урожайности по сравнению с контролем на сильносмытой почве. В условиях 1982 г. хозяйственная эффективность минеральных удобрений оказалась более высокой и в посевах яровой пшеницы и овса; в благоприятных для роста и развития полевых культур 1983 г. — в посевах ячменя (табл. 5). В среднем за 2 года прибавки урожайности ячменя от NPK на сильносмытой почве были на 36—63 % выше, чем яровой пшеницы и овса.

Таблица 5

Хозяйственная эффективность минеральных удобрений (урожайность, % к контролю) в посевах яровых культур на почвах разной степени смывости (опыт 3)

Степень смывости почвы	1982 г.			1983 г.			В среднем по опыту		
	яр. пше-ница	ячмень	овес	яр. пше-ница	ячмень	овес	яр. пше-ница	ячмень	овес
Несмытая	43,6	37,7	92,3	237,0	292,1	183,6	140,3	164,9	138,0
Среднесмытая	79,2	52,5	87,8	177,4	297,5	192,2	128,3	175,0	140,0
Сильносмытая	156,7	89,1	98,4	203,5	344,5	209,4	180,1	216,8	153,9

Корреляционный анализ данных показал, что микроудобрения не оказывали существенного влияния на урожайность яровых культур.

Наиболее эффективным средством повышения урожайности зерновых культур на дерново-подзолистой почве разной степени смывости было комплексное применение минеральных и органических удобрений. Их эффективность зависела от вида органического удобрения в общем комплексе, степени смывости почвы, условий вегетационного периода и возделываемой культуры. Наибольшая их эффективность наблюдалась на сильносмытой почве. Так, в среднем по опыту комплексное применение минеральных удобрений и навоза способствовало увеличению урожайности на 210,2 % к контролю; применение минеральных удобре-

Таблица 6

Хозяйственная эффективность комплексного применения минеральных и органических удобрений на почвах разной степени смывости (опыт 1)

Степень смывости почвы	Урожайность в контроле, г/сосуд	Прибавка от удобрений, %			
		NPK (фон)	фон + навоз	фон + солома	фон + сидерат
Оз. пшеница. 1982 г.					
Несмытая	64,4	25,5	57,1	31,1	27,8
Среднесмытая	57,7	41,2	75,7	38,3	17,9
Сильносмытая	43,4	103,7	91,7	72,1	60,0
НСР _{0,5}	8,5				
Ячмень, 1983 г.					
Несмытая	20,5	195,6	196,6	178,0	203,4
Среднесмытая	18,4	180,4	199,5	150,5	262,0
Сильносмытая	13,7	278,8	323,4	268,6	376,6
НСР _{0,5}	9,2				
Оз. пшеница, 1983 г.					
Несмытая	41,0	66,1	82,7	38,0	62,0
Среднесмытая	35,4	54,5	69,5	61,6	63,3
Сильносмытая	17,4	141,4	215,5	113,2	158,0
НСР _{0,5}	23,2				
В среднем по опыту					
Несмытая	42,0	95,7	112,1	82,4	97,7
Среднесмытая	37,2	92,0	114,9	83,5	114,4
Сильносмытая	24,8	174,6	210,2	151,3	198,2
НСР _{0,5}	15,2				

ний с сидератом (клевер) повысило урожайность на 198,2 % (табл. 6). Совместное применение минеральных удобрений с соломой было менее эффективным средством повышения урожайности зерновых культур, что обуславливалось иммобилизацией; минеральных соединений азота почвы в результате усиления микробиологической деятельности.

Ячмень сильнее реагировал на комплексное применение удобрений, чем озимая пшеница. В свою очередь, урожайность озимой пшени-

цы в большей мере увеличивалась при внесении удобрений в более благоприятном 1983 г., чем в 1982 г. Однако в данном случае не исключено влияние технологических особенностей сорта Заря, выращиваемого в 1983 г.

Проведение регрессионного анализа по статистической модели (а) позволило оценить количественное влияние главных факторов и их парных взаимодействий на урожайность культур. В условиях опыта 3 производственные функции урожайности культур были рассчитаны без

Т а б л и ц а 7

Агрохимические показатели сильносмытой дерново-подзолистой почвы при внесении удобрений (опыт 1), 1983 г.

Вариант	Углерод, %	Водопрочные агрегаты (фракции >0,25 мм), %	pH _{СОЛ}	N _г МГ•экв на 100 г	P ₂ O ₅ мг/кг	K ₂ O мг/кг
Несмытая						
Без удобрений*	0,87	43,0	5,86	1,31	1,62	119
Сильносмытая						
Без удобрений (контроль)	0,64	39,4	4,32	3,98	74	165
120N120P120K (фон)	0,67	39,6	2,57	4,18	170	220
Фон + навоз, 100 т/га	1,24	71,2	5,84	1,64	271	455
Фон + солома, 6 т га	0,82	41,8	4,30	6,61	149	315
Фон + сидерат, 50 т/га	0,88	43,5	4,23	4,42	182	470

* Исходная почва, 1981 г.

отсева статистически незначимых членов уравнения, последние в уравнениях взяты в скобках.

1982 г. Овес (зерно): $y = 35,3 - 14,43 П + 28,48 Д + 3,89 П^2 + (-4,67 М + 1,71 М^2 - 0,38 ПД + 0,19 ПМ - 0,13 ДМ)$, $R^2 = 0,90$. (б)

Яровая пшеница (зерно): $y = 19,78 - 9,16 П + 10,77 Д + 2,71 П^2 + (3,67 М - 0,92 М^2 + 0,82 ПД - 0,40 ПМ + 0,30 ДМ)$, $R^2 = 0,90$. (в)

1983 г. Овес (зерно): $y = 12,35 - 4,43 П + 23,66 Д + 1,62 П^2 + (0,30 М + 0,16 М^2 - 1,22 ПД - 0,17 ПМ - 0,27 ДМ)$, $R^2 = 0,98$. (г)

Яровая пшеница (зерно): $y = 6,26 - 2,26 П + 10,2 Д + 1,29 П^2 + (-0,57 М + 0,16 М^2 + 0,11 ПД - 1,92 ПМ + 0,72 ДМ)$, $R^2 = 0,98$. (д)

Анализ производственных функций свидетельствует о том, что урожайность культур в условиях эксперимента в большей степени зависела от степени смытости почвы и особенно норм удобрений. Высокие значения коэффициента множественной детерминации свидетельствуют о значительной адекватности производственных функций. Причем следует отметить, что адекватность уравнений определялась и метеорологическими условиями в вегетационные периоды. Так, уравнения (г) и (д), рассчитанные по экспериментальным данным 1983 г., более точно ($R^2 = 0,98$) описывают изменения урожайности зерновых культур, чем в предыдущем году. В условиях опыта 3 влияние взаимодействия степени смытости почвы и удобрений на урожайность было статистически незначимым на 5 % уровне по критерию Фишера.

Несомненно, что в условиях склонового земледелия любая система агрохимических мероприятий должна оцениваться не только по урожайности, но по воздействию их на плодородие почвы.

Результаты наших вегетационно-полевых опытов показали, что возделывание зерновых культур в течение 3 лет без применения удобрений на сильносмытой почве не привело к существенному изменению ее агрохимических свойств, хотя и отмечалось повышение содержания водопрочных почвенных агрегатов (размер фракций >0,25 мм) на

15,6 %, а также содержания подвижных форм фосфора и калия соответственно на 23,3 и 60,2 % (табл. 7). Систематическое применение 120N120P120K способствовало увеличению в сильносмытой почве содержания углерода на 0,07 %, водопрочных почвенных агрегатов — на 17,2 %, подвижных форм фосфора и калия — в 2,1—2,8 раза (до уровня их в несмытой исходной почве). В то же время за этот период произошло увеличение значений рН и Н_г, что явилось следствием применения физиологически кислых азотных и калийных удобрений. Это вообще характерно для дерново-подзолистых почв [6, 5, 8].

В условиях опыта применение минеральных удобрений в сочетании с соломой и сидератом обеспечило повышение плодородия и восстановление сильносмытой почвы. Так, ежегодное внесение соломы и

Т а б л и ц а 8

Использование азота зерновыми культурами в зависимости от глубины заделки удобрений на почвах разной степени смытости, 1984—1985 гг.

Глубина заделки удобрений, см	Общий вынос урожаем мг/сод	Н почвы	Н удобрений	Коэффициент использования N удобрений, %
		% к общему выносу		
Несмытая				
0—05	610,1	60,4	39,6	60,4
0—10	612,2	64,9	35,1	53,7
0—20	583,9	66,6	33,4	48,7
Среднесмытая				
0—5	638,1	58,3	41,7	66,6
0—10	576,7	60,3	39,7	57,2
0—20	575,2	63,3	36,7	52,8
Сильносмытая				
0—5	502,3	58,7	41,3	52,2
0—10	558,7	58,1	41,9	58,6
0—20	526,9	59,3	40,7	53,6

сидерата на фоне НРК способствовало увеличению содержания углерода на 0,22—0,28 % . подвижных форм фосфора и калия — в 2,5—3,0 и 3,1—4,6 раза, водопрочных почвенных агрегатов — на 8,0—9,7 % . По значениям этих агрохимических показателей в данных вариантах сильносмытая почва достигла уровня несмытой почвы, взятой для закладки опыта (табл. 7). В то же время было установлено, что такие органические удобрения, как солома и сидерат, не устраняли отрицательного воздействия минеральных удобрений на реакцию почвенного раствора. Следовательно, для более эффективного использования минеральных удобрений и их сочетаний с соломой и сидератом на сильносмытой почве необходимо проводить известкование. Это согласуется с результатами других исследований [10, 14].

Наиболее эффективным средством повышения плодородия дерново-подзолистой сильносмытой почвы было ежегодное совместное

применение 120N120P120K и высокой нормы навоза (100 т/га). За 3 года в этом варианте опыта 1 уровень агрохимических показателей почвы существенно превысил исходный: увеличилось содержание углерода (разность 0,37 %), количество водопрочных агрегатов — на 28,2 %, содержание подвижных форм фосфора и калия — в 1,7—3,8 раза; реакция почвенного раствора стала такой же, как в несмытой почве.

Известно, что эффективность удобрений зависит от глубины их заделки в почву [3, 4]. В вегетационно-полевых опытах мы не наблюдали существенных различий урожайности зерновых культур при разных глубинах заделки минеральных удобрений. Тем не менее на сильносмытой почве урожайность зерновых культур была несколько выше при заделке удобрений в слой почвы 0—20 см в течение всех лет исследований.

Детальный анализ потребления культурными растениями азота с помощью метода меченых атомов показал, что при поверхностной заделке удобрений возрастает их роль в формировании урожая зерновых культур на несмытой и среднесмытой почвах. В этих вариантах доля почвенного азота в общем его выносе была на 5,0—6,2 % ниже, чем при глубокой (0—20 см) заделке удобрений, а доля азота удобрений выше (табл. 8). В среднем за 2 года на сильносмытой почве долевое участие азота удобрений в хозяйственном выносе этого элемента оказалось бо-

лее высоким при заделке удобрений в слой почвы 0—10 см, а коэффициент использования азота удобрений увеличился на 5,0—6,4 %. Кроме того, на сильносмытой почве в отличие от несмытой и среднесмытой почв во всех изучаемых вариантах доля азота почвы в выносе была меньше, а доля азота удобрений выше, что еще раз подтверждает вывод о большом значении применения азотных удобрений на сильносмытой почве. При этом сохраняется потенциальное плодородие последней.

Заключение

С увеличением степени смытости дерново-подзолистой почвы ухудшаются биологические, агрохимические и агрофизические показатели ее плодородия. В условиях проведения вегетационно-полевых опытов при увеличении степени смытости почвы урожайность зерновых культур в контрольных вариантах (без удобрений) была на 20—40 % ниже, чем на несмытой почве. По реакции на степень смытости почвы зерновые культуры располагались в следующем порядке: ячмень < овес < озимая пшеница < яровая пшеница.

Из минеральных удобрений наиболее эффективными на смытых почвах были азотные. Их эффективность зависела от степени смытости почвы, выращиваемой культуры, доз и глубины заделки азота в почву, а также от условий вегетационного периода. Однако, как правило, с увеличением смытости почвы повышалась эффективность азотных удобрений — увеличивались урожайность зерновых культур, вынос хозяйственной частью урожая основных элементов питания; в хозяйственном выносе доленое участие общего азота превышало доленое участие фосфора и калия; доля азота почвы в общем выносе этого элемента снижалась, а доля азота удобрений повышалась.

При поверхностной (0—5 см) заделке минеральных удобрений в почву возрастала их роль в формировании урожая зерновых культур, при этом доля азота почвы в общем выносе снижалась, что способствовало сохранению потенциального плодородия почвы. Наиболее эффективным средством повышения урожайности зерновых культур на смытых почвах являлось ежегодное комплексное применение минеральных и органических удобрений. В среднем за 3 года применение на сильносмытой почве 120N120P120K и 100 т навоза на 1 га увеличило урожайность зерновых культур более чем в 2 раза по сравнению с контролем. Из зерновых культур ячмень сильнее других реагировал на применение удобрений. Комплексное использование минеральных удобрений и навоза способствовало быстрому восстановлению и повышению плодородия сильносмытой дерново-подзолистой почвы: за 3 года содержание углерода, подвижных форм фосфора и калия, водопрочных агрегатов достигало уровня, характерного для несмытой почвы, и даже начинало его превышать. Значительно снижалась кислотность почвенного раствора.

Минеральные удобрения в сочетании с соломой и сидератом повышали плодородие сильносмытой почвы до уровня несмытой, но проведение известкования являлось при этом необходимым условием.

ЛИТЕРАТУРА

1. Баздырев Г. И., Антипов Б. В. Комплексное применение средств интенсификации на склоновых землях. — Изв. ТСХА, 1986, вып. 5, с. 10—20.
2. Бирюкович А. В. Влияние удобрений на почвозащитную эффективность культур, их урожай и физические свойства дерново-подзолистых почв. — Агрохимия, 1981, № 7, с. 103.
3. Бука А. Я., Кисель В. И. Эффективность удобрений на эродированных почвах в зависимости от обработки почвы. — Защита почв от эрозии. Киев, 1981, с. 78—79.
4. Гарифуллин Ф. Ш., Миндляр Д. Д., Рамазанов Р. Я. Почвозащитную систему земледелия — на поля Башкирии. — Уфа, 1980.
5. Гомонова Н. В. Влияние 25-летнего применения минеральных удобрений и известки на агрохимические свойства дерново-подзолистой почвы в метровом профиле. — Агрохимия, 1980, № 10, с. 38—46.
6. Доспехов Б. А., Братер-

ся А. Н., Кирюшин Б. Д. Действие 60-летних бесменных культур на агрохимические свойства дерново-подзолистой почвы. — Изв. ТСХА, 1975, вып. 2, с. 49—53. — 7. З а с л а в с к и й М. Н. Эрозия почв. — М.: Мысль, 1979. — 8. Лебедева Л. А. Сравнительное действие минеральных удобрений при длительном и однократном применении на свойства дерново-подзолистой почвы и урожай культур. — Агрохимия, 1981, № 5, с. 107—114. — 9. Ляхов А. И., Цуриков Л. Н., Гордеев А. М. Применение минеральных удобрений под зерновые культуры на эродированных дерново-подзолистых почвах. — Применение удобрений на эродированных почвах. М.: Колос, 1974, с. 63—

83. — 10. Л я х о в А. И. Удобрения на эродированных землях. — М.: Россельхозиздат, 1975. — 11. Общесоюзная инструкция по почвенным обследованиям и составлению крупномасштабных карт землепользования. — М.: Колос, 1973. — 12. Соболев С. С. Развитие эрозионных процессов на территории европейской части СССР и борьба с ними. Т. 1. М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1960. — 13. Соболев С. С. Защита почв от эрозии. — М.: Сельхозиздат, 1961. — 14. Трегубов П. С., Зверхановский Н. В. Борьба с эрозией почв в Нечерноземье. Л.: Колос, 1981. — 15. Черемисинов Г. А. Применение удобрений на эродированных почвах. — Химия на полях. М.: Колос, 1965, с. 143—158.

Статья поступила 15 апреля 1987 г.

SUMMARY

The results of greenhouse-field experiments conducted in 1981—1985 are discussed. It is found that with increased soil outwash the efficiency of fertilizers, especially nitrogenous fertilizers, becomes higher. Yield removal of the main nutrient elements increases too. The highest yield of grain crops on washed out soils is obtained under combined application of mineral and organic fertilizers, as it leads to rapid restoration and increasing the fertility of these soils.