

АГРОХИМИЧЕСКИЕ И БИОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПЛОДОРОДИЯ ПОЧВЫ И УРОЖАЙНОСТЬ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР ПРИ ДЛИТЕЛЬНОМ ПРИМЕНЕНИИ УДОБРЕНИЙ В БЕССМЕННОМ ПОСЕВЕ И СЕВОБОРОТЕ

**А. М. ЛЫКОВ, А. Ф. САФОНОВ, В. И. ИЗОТОВ, БАШИР АХМЕД АЛИ,
М. А. ЗОЛОТАРЕВ**
(Кафедра земледелия и методики опытного дела)

В 80-летнем полевом опыте на зерновых культурах установлено влияние длительного применения удобрений, известкования, севооборота и бессменных культур на биологические свойства почвы. Важнейшими средствами воспроизводства биологических факторов плодородия дерново-подзолистой почвы являются культура возделывания растений, периодическое известкование, интенсивное применение органических и минеральных удобрений. Разработка экологически сбалансированных и интенсивных агроландшафтных систем земледелия дерново-подзолистых почв должна проводиться с учетом возрастающего значения биотехнологических компонентов их плодородия и количественного нормирования технологических условий производства.

Современные системы земледелия должны обеспечивать не только сохранение, но и повышение плодородия почвы, заботы о котором выражаются в обогащении ее биофильными элементами, щадящей обработке, применении мер, устраняющих деградацию. Среди указанных

мер большое значение имеют внесение органических и минеральных удобрений, известкование, севооборот. Причем, и это особенно важно, необходимо добиваться высокоэффективного их использования, что возможно лишь при установлении нормативов воздействия этих

факторов на урожайность и плодородие почвы [3, 4].

Цель данного исследования — установить количественные и качественные изменения плодородия почвы и урожайности культур при длительном применении минеральных и органических удобрений, известковании, чередовании культур.

Методика

Эксперименты проводили в 1988—1990 гг. в длительном опыте Московской сельскохозяйственной академии, заложенном в 1912 г. А. Г. Дояренко по инициативе Д. Н. Прянишникова.

Почва участка дерново-среднеподзолистая легкосуглинистая. Агрохимические и биологические показатели плодородия пахотного слоя почвы (0—20 см) определяли в бесменных посевах озимой ржи и ярового ячменя, а также в севообороте: пар — озимая рожь — картофель — ячмень с подсевом клевера — лен.

Варианты удобрения следующие: 1 — без удобрений (0); NPK; NPK+навоз; NPK+навоз+известь; навоз и навоз+известь. Нормы минеральных удобрений: N — 100 кг/га; P₂O₅ — 150; K₂O — 120 кг/га; навоза — 20 т/га. Известь вносили по полной гидролитической кислотности.

Активность почвенных ферментов — полифенолоксидазы и пероксидазы — определяли по Л. А. Корягиной, А. И. Михайловской, выделение почвой углекислого газа и поглощение кислорода — на приборе Варбурга, целлюлозоразлагающую способность почвы — методом ватных блоков размером 8×16 см. Засоренность посевов озимой ржи и ярового ячменя учитывали методом стационарных площадок. Семена сорняков в почве выделяли методом

малых проб. Пораженность растений корневыми гнилями определяли на двух смежных рядках по 0,5 пог. м. Значения биологического и агрохимического баллов рассчитывали по формуле [2]

$$\text{Балл} = \frac{X - X_{\min}}{X_{\max} - X} \cdot 100,$$

где X — численное значение свойства.

Поскольку засоренность, гидролитическая кислотность и корневые гнили снижают плодородие почвы, то их вычисляли по формуле

$$\text{Балл} = 100 - \frac{X - X_{\min}}{X_{\max} - X} \cdot 100.$$

Средний балл по варианту получали делением суммы баллов на количество свойств, входящих в данную сумму.

Химический анализ растений на содержание N; P₂O₅ и K₂O проводили по методу ЦИНАО. Гумус определяли по И. В. Тюрину с окончанием на фотоколориметре — (ОСТ 4647—76), рН_{сол} почвы — потенциометрически, гидролитическую кислотность — по С. Каппену, N_{общ} — по методу ЦИНАО, подвижные P₂O₅ и K₂O — по Кирсанову.

Урожайность озимой ржи Восход 2 и ярового ячменя Зазерский учитывали при прямом комбайнировании поделяночно с пересчетом на стандартную влажность. Данные учета обрабатывали дисперсионным методом по Б. А. Доспехову. В табл. 2—8, 12—13 приводятся средние данные за 1988—1990 гг. В вегетационные периоды 1988—1989 гг. температуры воздуха были повышенными, в 1990 г. — умеренными, а количество атмосферных осадков в начальные периоды вегетации — значительно меньше нормы.

Результаты

Длительное применение удобрений привело к резкой дифферен-

Таблица 1

Агрохимические показатели плодородия почвы под озимой рожью (числитель) и яровым ячменем (знаменатель)

Вариант	рН _{сол}	Н _г мг-экв	N _{общ} %	P ₂ O ₅	K ₂ O	С. %
				мг на 1 кг		
<i>Бессменные посевоы</i>						
Без удобрений	4,31	3,19	0,115	155	52,6	0,99
	4,30	3,56	0,113	99	56,5	0,82
NPK	4,97	3,46	0,149	491	220	1,27
	4,43	3,13	0,110	391	177	1,12
NPK + навоз	5,14	2,16	0,152	785	333	1,68
	4,43	1,74	0,141	666	333	1,26
NPK + навоз + известь	6,30	0,99	0,154	762	359	1,60
	6,43	0,87	0,140	833	370	1,37
Навоз	5,71	1,53	0,177	229	214	1,45
	6,07	1,20	0,141	251	164	1,24
Навоз + известь	6,32	0,83	0,162	403	206	1,56
	6,48	0,61	0,130	324	201	1,38
<i>Севооборот</i>						
Без удобрений	4,26	2,52	0,098	269	94,7	0,81
	4,24	3,05	0,095	279	96,1	0,83
NPK	4,64	2,21	0,111	291	101	0,90
	4,62	2,52	0,097	248	118	0,91
NPK + навоз	4,69	2,41	0,118	410	108	1,03
	4,57	2,31	0,113	387	103	0,97
NPK + навоз + известь	5,95	1,15	0,125	529	156	1,13
	5,28	1,40	0,128	458	123	1,02

циации вариантов по содержанию органического вещества в почве под бессменными зерновыми культурами (табл. 1). Наибольшее накопление гумуса отмечалось при внесении навоза как в сочетании с минеральными удобрениями, так и раздельно. Это естественно, поскольку навоз является дополнительным источником органического вещества для образования гумуса. Повышение содержания гумуса в почве, удобренной минеральными туками, обусловлено большим поступлением в почву растительных остатков.

Известкование благоприятствует воспроизводству органического вещества почвы, так как создает условия для жизнедеятельности поч-

венной биоты, участвующей в процессах минерализации и гумификации.

Как видно из табл. 1, содержание общего азота в почве находится в положительной связи с накоплением гумуса.

Существенное изменение реакции почвенной среды наблюдалось в вариантах с внесением навоза. В этом случае кислотность почвы уменьшалась, а известкование поддерживало рН на уровне, оптимальном для роста и развития культур.

Длительное применение удобрений способствовало накоплению фосфора и калия в почве, особенно заметно по фону известкования. Озимая рожь в значительно боль-

Таблица 2

Ферментативная активность пахотного слоя почвы (мг бензохинона в 1 г за 30 мин)

Вариант	Полифенолоксидаза		Пероксидаза	
	бессменные посевы	севооборот	бессменные посевы	севооборот
<i>Оз. рожь</i>				
Без удобрений	0,28	0,24	0,91	0,88
НРК	0,22	0,21	0,69	0,68
НРК + навоз	0,25	0,21	0,68	0,67
НРК + навоз + известь	0,31	0,25	0,69	0,65
Навоз	0,28	—	0,71	—
Навоз + известь	0,39	—	0,76	—
НСР ₀₅	0,09	0,06	0,12	0,14
<i>Яр. ячмень</i>				
Без удобрений	0,21	0,19	1,17	0,90
НРК	0,25	0,22	0,77	0,75
НРК + навоз	0,26	0,20	0,61	0,73
НРК + навоз + известь	0,38	0,20	0,62	0,63
Навоз	0,31	—	0,72	—
Навоз + известь	0,35	—	0,74	—
НСР ₀₅	0,10	0,06	0,20	0,19

шей мере влияла на агрохимические показатели плодородия почвы, чем яровой ячмень, что указывает на ее более высокую аллелопатическую активность, обусловленную большим вовлечением минеральных элементов в круговорот.

Воспроизводство плодородия почвы в севообороте происходило медленнее, чем в бессменных посевах. Это объясняется большим выносом элементов минерального питания с урожаем и более интенсивной обработкой почвы в севообороте. Таким образом, чередование культур, относящихся к различным хозяйственно-биологическим группам, устраняет одностороннее влияние растений на почву и поддерживает в ней равновесие процессов минерализации и гумификации.

Применение севооборотов, удобрений, известкования и других средств и факторов интенсификации земледелия непосредственно влияет на экологическую обстановку в поле, и прежде всего на биологическую активность почвенного мик-

робного сообщества, на фитосанитарное состояние посевов. Об изменениях активности биоты и трансформационных процессов в почве можно судить по качественному состоянию и активности ферментов, продуцированию CO₂ и поглощению O₂, целлюлозоразлагающей способности почвы.

Фитосанитарное состояние посевов во многом определяется их засоренностью, наличием и вредоносностью болезней, распространением представителей почвенной мезофауны.

В обмене веществ и энергии в почве существенную роль играют ферменты. Под воздействием микроорганизмов и внеклеточных ферментов в почве создаются биохимические механизмы, обеспечивающие самообновление и самовоспроизведение плодородия.

Установлено [5, 6], что в синтезе гумусовых веществ принимает участие полифенолоксидаза. В нашем опыте активность этого фермента под ячменем во всех вари-

антах, за исключением контрольного, была выше в бессменных посевах (табл. 2). По-видимому, выращивание пропашных культур в севообороте (где рыхление почв более частое) способствует усилению минерализации органического вещества. Напротив, при бессменном возделывании ячменя количество обработок уменьшается (в целом по севообороту), что обеспечивает лучшие условия для гумификации.

Исследованиями установлено, что активность полифенолоксидазы существенно повышается при внесении извести в сочетании с органическими или органо-минеральными удобрениями, что обусловлено повышенным содержанием органического вещества в почве.

Усиление активности фермента наблюдалось в посевах обеих культур, но лишь в бессменных.

На активацию полифенолоксидазы в вариантах с известкованием указывали и другие исследователи [1].

В целом культуры не оказывали влияния на активность фермента, однако в севообороте ее уровень был несколько выше под озимой рожью, что объясняется биологиче-

скими особенностями культуры и принятой системой удобрения.

Что касается пероксидазы, то вопрос о ее роли в трансформации органического вещества остается пока нерешенным и нуждается в дальнейшем изучении. Согласно полученным нами данным, и в бессменном посеве, и в севообороте активность пероксидазы была примерно одинаковой под рожью и ячменем, что свидетельствует об отсутствии влияния способа выращивания растений на этот показатель. Внесение различных видов удобрений способствовало значительному снижению активности пероксидазы в почве под посевами обеих культур.

Соотношение активности полифенолоксидазы и пероксидазы называется коэффициентом гумусонакопления (табл. 3). Наиболее высоким его значение было для почвы под озимой рожью при внесении навоза совместно с известью, а для почвы под ячменем — при сочетании извести с органо-минеральным удобрением.

Целлюлозоразлагающая способность почвы в посевах озимой ржи на неудобренных делянках была ниже при бессменном ее возделыва-

Таблица 3

Коэффициент гумусонакопления в почве под зерновыми культурами

Вариант	Оз. рожь		Яр. ячмень	
	бессменные посе-вы	сево-оборот	бессменные посе-вы	сево-оборот
Без удобрений	25	26	18	22
НРК	36	38	34	29
НРК + навоз	38	31	42	27
НРК + на-воз + известь	45	39	61	31
Навоз	40	—	44	—
Навоз + из-весть	51	—	47	—

Таблица 4

Целлюлозоразлагающая способность (%) почвы

Вариант	Оз. рожь		Яр. ячмень	
	бессменные посе-вы	сево-оборот	бессменные посе-вы	сево-оборот
Без удобрений	20,6	29,1	22,0	29,3
НРК	41,1	23,6	25,4	25,0
НРК + навоз	30,0	29,8	36,3	34,2
НРК + на-воз + известь	50,8	53,8	53,6	48,8
Навоз	53,8	—	54,7	—
Навоз + из-весть	75,4	—	77,6	—

нии, чем в севообороте (табл. 4). Однако при внесении полного удобрения (NPK) темпы разложения целлюлозы в первом случае во все годы оказались более высокими, чем в последнем. Видимо, в почве, заправленной только минеральными удобрениями, возросло содержание грибной микрофлоры, являющейся основным агентом на первоначальном этапе разложения целлюлозы. Применение навоза в сочетании с полным удобрением приводило к уменьшению активности целлюлозо-разлагающей микрофлоры при бес-сменном выращивании озимой ржи до уровня, наблюдаемого в сево-обороте. В то же время односто-роннее внесение навоза усиливало разложение органических остатков. В наибольшей степени целлюлозо-разлагающая способность почвы увеличилась на фоне известкования при внесении навоза благодаря более равномерному развитию микро-организмов различных физиологи-ческих групп.

При выращивании ячменя бес-

сменно и в севообороте разложе-ние целлюлозы в почве было при-мерно одинаковым. Внесение орга-нических удобрений способствовало его увеличению. В среднем за ве-гетацую значения этого показателя для почвы под озимой рожью и ячменем мало различались между собой.

Как известно, «дыхание почвы», т. е. продуцирование CO_2 и погло-щение O_2 воздуха, является отра-жением активности почвенной мик-рофлоры и зависит от влажности и температуры среды, а также от других условий.

При длительном применении удоб-рений и периодическом известкова-нии несколько большее количество CO_2 выделялось из почвы под бес-сменными посевами ячменя (табл. 5). Под озимой рожью раз-личий по данному показателю в за-висимости от способа ее возделы-вания не прослеживалось.

Наибольшее продуцирование CO_2 в посевах бессменного ячменя на-блюдалось в варианте NPK+навоз

Таблица 5

Продуцирование почвой CO_2 , поглощение O_2 и $\text{CO}_2:\text{O}_2$

Вариант	Продуцирование CO_2 , мкл/г·ч		Поглощение O_2 , мкл/г·ч		Дыхательный коэффициент ($\text{CO}_2:\text{O}_2$)	
	бес-сменные посевы	сево-оборот	бес-сменные посевы	сево-оборот	бес-сменные посевы	сево-оборот
<i>Яр. ячмень</i>						
Без удобрений	0,96	0,77	1,05	0,89	0,91	0,87
NPK	1,09	1,03	1,20	1,37	0,89	0,75
NPK+навоз	1,29	1,42	1,68	1,67	0,77	0,85
NPK+навоз+известь	1,55	1,29	1,72	1,67	0,90	0,90
Навоз	1,07	—	1,28	—	0,85	—
Навоз+известь	1,06	—	1,22	—	0,87	—
<i>Оз. рожь</i>						
Без удобрений	0,84	0,89	0,93	0,99	0,90	0,90
NPK	0,99	1,02	1,18	1,12	0,84	0,91
NPK+навоз	1,38	1,27	1,59	1,27	0,87	0,80
NPK+навоз+известь	1,44	1,44	1,58	1,69	0,91	0,85
Навоз	1,27	—	1,44	—	0,89	—
Навоз+известь	0,97	—	1,22	—	0,80	—

Таблица 6

Численность сорняков (шт/м²) в посевах озимой ржи и ярового ячменя в начале (числитель) и в конце (знаменатель) вегетации

Вариант	Всего		Малолетние		Многолетние	
	рожь	ячмень	рожь	ячмень	рожь	ячмень
<i>Бессменные посевы</i>						
Без удобрений	444	184	434	183	10	1
	419	130	405	125	14	5
NPK	565	279	533	526	32	7
	297	195	288	286	9	3
NPK + навоз	569	214	546	193	23	21
	293	120	287	102	6	8
NPK + навоз + известь	570	211	548	199	22	12
	240	197	240	161	—	36
Навоз	708	495	636	447	72	48
	460	230	348	153	112	77
Навоз + известь	545	400	512	296	33	104
	421	212	355	163	66	96
<i>Севооборот</i>						
Без удобрений	100	85	96	84	4	1
	70	66	63	65	7	1
NPK	161	116	153	116	8	—
	121	60	121	57	—	3
NPK + навоз	158	102	153	101	5	1
	105	65	105	62	—	3
NPK + навоз + известь	171	151	164	148	7	3
	106	72	91	71	15	1

на фоне известкования, как, впрочем, и в севообороте, но в последнем случае отмечалось положительное влияние всех видов удобрений на данный показатель.

Подобная картина наблюдалась и в почве под озимой рожью.

Усиление выделения CO₂ под посевами ячменя и озимой ржи в варианте NPK + навоз по фону известкования объясняется поступлением в почву органического вещества с навозом и улучшением агрофизических свойств почвы при внесении извести. Полученные нами данные согласуются с выводами многих исследователей о повышении выделения CO₂ из почв, характеризующихся большим запасом гумуса [5, 6].

Поглощение O₂ в основном не зависело от способа выращивания ячменя, но в посевах озимой ржи оно было меньше в условиях севооборота.

Внесение извести и удобрений способствовало усилению поглощения O₂ в вариантах раздельного и совместного их применения и под обеими подопытными культурами. Дыхательный коэффициент в целом по всему опыту был меньше единицы и колебался от 0,8 до 0,87, что свидетельствует о преобладании поглощения O₂ над продуцированием CO₂, т. е. о неполном окислении органического вещества.

В среднем при бессменном посеве в почве под ячменем и ози-

мой рожью дыхательный коэффициент составил 0,87, в севообороте — соответственно 0,84 и 0,87, что говорит об одинаковом уровне интенсивности «дыхания» почвы независимо от вида культуры и способа возделывания.

Численность сорняков в бессменных посевах озимой ржи была выше, чем в посевах ярового ячменя (табл. 6).

При внесении удобрений засоренность посевов зерновых культур уве-

личивалась и наибольшей была в варианте с одним навозом.

Самая высокая выживаемость сорняков от начала к концу вегетации прослеживалась в контроле. В вариантах с удобрениями она уменьшалась к концу вегетации примерно в 2 раза.

Малолетние сорные растения в бессменных посевах зерновых культур значительно преобладали над многолетними. Их динамика полностью соответствует изменению об-

Таблица 7

Масса сухих сорняков (г/м²) в бессменных посевах озимой ржи и ярового ячменя (числитель) и в севообороте (знаменатель)

Вариант	Всего		Малолетние		Многолетние	
	начало вегетации	конец вегетации	начало вегетации	конец вегетации	начало вегетации	конец вегетации
<i>Оз. рожь</i>						
Без удобрений	13,2	71,8	11,9	40,4	1,3	31,4
	30,1	61,8	29,6	53,7	0,5	8,1
НРК	55,0	147,1	53,0	126,0	2,0	21,2
	73,0	91,4	71,2	91,4	1,8	—
НРК + навоз	100,0	138,0	95,7	102,2	4,3	35,8
	20,8	85,0	20,8	85,0	—	—
НРК + навоз + известь	76,0	163,1	72,8	163,6	3,2	—
	26,0	108,5	25,7	103,4	0,3	5,1
Навоз	58,2	260,7	49,5	111,4	8,7	149,3
	—	—	—	—	—	—
Навоз + известь	42,3	224,2	37,4	178,2	4,9	4,6
	—	—	—	—	—	—
<i>Яр. ячмень</i>						
Без удобрений	3,5	54,6	3,5	54,1	—	0,50
	3,3	40,4	3,3	37,7	—	2,7
НРК	12,6	52,1	12,6	52,1	—	0,02
	4,6	12,1	4,5	12,1	0,14	—
НРК + навоз	15,5	10,8	14,6	9,8	0,86	1,0
	7,8	14,0	7,8	13,8	—	0,21
НРК + навоз + известь	35,4	32,1	28,4	28,8	7,0	3,3
	10,5	10,1	10,5	10,0	0,03	0,1
Навоз	12,7	31,2	10,0	19,8	2,7	11,4
	—	—	—	—	—	—
Навоз + известь	2,9	43,9	12,6	22,6	16,4	21,3
	—	—	—	—	—	—

щей численности сорняков. Многолетних сорняков, наиболее вредоносных, в посевах озимой ржи было значительно больше, чем в посевах ячменя. При внесении удобрений их численность увеличивалась в посевах обеих культур. Самой большой она оказалась в варианте с навозом, где наблюдалось ее повышение к концу вегетации, тогда как в других вариантах численность многолетников снижалась.

Севооборот положительно влиял на фитосанитарное состояние посевов. К концу вегетации озимой ржи в вариантах NPK и NPK+навоз многолетние сорняки исчезли совсем.

Внесение удобрений приводило к значительному повышению массы сухих сорных растений в бессменных посевах озимой ржи и ячменя (табл. 7). Наибольшая масса сорных растений отмечена в конце вегетации в вариантах с навозом. При этом в бессменных посевах озимой ржи масса многолетних сорняков значительно превышала таковую многолетних растений.

При выращивании озимой ржи в севообороте численность сорняков была в 4—6 раз меньше, чем в бессменных посевах, однако больших различий по их массе не установлено. Все это указывает на то, что в севообороте и при внесении удобрений создавались лучшие условия для развития сорных растений.

Численность семян сорняков в неудобреной почве и в вариантах навоз и навоз+известь под озимой рожью была максимальной. В вариантах NPK, NPK+навоз и NPK+навоз+известь она сокращалась в значительной мере, видимо, в результате повышения конкурентоспособности культурных растений благодаря улучшению их питательного режима (табл. 8).

Засоренность почвы под бессмен-

Т а б л и ц а 8

Потенциальная засоренность семенами сорняков (млн шт/га) слоя почвы 0—20 см

Вариант	Бессменные посевы		Севооборот	
	оз. рожь	яч.мень	оз. рожь	яч.мень
Без удобрений	967	1605	510	332
NPK	743	233	142	217
NPK+навоз	442	202	120	157
NPK+навоз+известь	270	360	180	255
Навоз	1012	872	—	—
Навоз+известь	1012	498	—	—

ной озимой рожью была выше, чем под ячменем, что обусловлено изреженностью ее посевов вследствие неблагоприятных условий переживки, а также отсутствием обработки почвы в весенний период.

Чередование культур в севообороте обеспечивало уменьшение потенциальной засоренности почвы в 2—5 раз.

Обобщающим показателем состояния агрохимических свойств интенсивно используемой почвы может служить агрохимический балл плодородия. Расчеты показали (табл. 9), что наибольшие его зна-

Т а б л и ц а 9

Агрохимический балл плодородия почвы

Вариант	Бессменные посевы		Севооборот	
	оз. рожь	яч.мень	оз. рожь	яч.мень
Без удобрений	4,8	8,4	12,0	11,0
NPK	47,7	26,7	22,8	19,2
NPK+навоз	69,2	76,0	26,4	32,2
NPK+навоз+известь	91,8	95,6	59,0	52,2
Навоз	61,0	63,4	—	—
Навоз+известь	74,0	70,6	—	—

Биологический балл плодородия почвы

Вариант	Бессменные посевы		Севооборот	
	оз. рожь	яр. ячмень	оз. рожь	яр. ячмень
Без удобрений	32,5	48,2	54,5	56,0
НРК	42,6	50,4	47,0	64,0
НРК + навоз	47,1	66,0	66,2	73,2
НРК + навоз + известь	57,8	69,4	69,0	70,0
Навоз	30,0	45,4	—	—
Навоз + известь	48,8	41,0	—	—

чения характерны для бессменных посевов культур (исключение — контрольные варианты). Отмечено повышение агрохимического балла от контроля к вариантам НРК, навоз, НРК + навоз, навоз + известь и НРК + навоз + известь. Последнее свидетельствует о существенном положительном влиянии периодического известкования почвы.

Агрохимический балл плодородия дерново-подзолистой почвы под озимой рожью и ячменем при разных способах их возделывания мало различался, что указывает на одинаковую направленность изменения агрохимических свойств почвы под зерновыми культурами.

В условиях длительного эксперимента удобрения, известкование и севооборот по-разному влияли на биологические показатели плодородия почвы. На основании полученных данных мы рассчитали биологический балл плодородия, позволяющий в целом оценить действие факторов интенсификации на биологические процессы в почве.

В условиях бессменного возделывания озимой ржи наименьший биологический балл был в контроле и в варианте с внесением навоза (табл. 10). В вариантах НРК и НРК + навоз значения биологического балла возрастали на 10—15 единиц. Заметное влияние на суммарную биологическую активность

почвы оказывало известкование.

Высокая биологическая активность и благоприятное фитосанитарное состояние почвы отмечались в севообороте. В этих условиях даже в контроле биологический балл был весьма высоким, что свидетельствует о большой роли чередования культур в активизации почвенной биоты.

В варианте НРК наблюдалось уменьшение значений биологического балла по сравнению с контролем. При совместном применении НРК и навоза они увеличивались. Положительное влияние известкования на биологическую активность почвы сохранялось в севообороте, но эффект его здесь был ниже, чем в бессменных посевах.

Яровой ячмень по биологическому баллу плодородия почвы превосходил озимую рожь, что объясняется лучшим фитосанитарным состоянием его посевов. Влияние минеральных и органических удобрений в севообороте на активизацию биоты почвы под этими культурами было сходным, а известкование оказалось более эффективным в посевах озимой ржи.

Важнейшим критерием оценки производительности почвы является урожайность культур. Нами проведен ее анализ за 2 ротации севооборота. В течение 12-летнего периода наблюдались значительные

колебания урожайности озимой ржи и ярового ячменя, что объясняется прежде всего изменениями погодных условий. На перезимовку озимых неблагоприятное воздействие оказывали вымокание, оттепели, а весной — фузариозные заболевания (снежная плесень) и другие причины. На урожай яровых культур влияли резкие перепады температур и дефицит влаги в начальные периоды вегетации.

Как показали исследования (табл. 11), урожайность озимой ржи в среднем составила 23,4 ц/га, в том числе в бессменном посеве — 19,1, в севообороте — 27,8 ц/га.

Во всех вариантах с удобрениями наблюдался достоверный прирост урожая зерна — 2,9—18,4 ц/га, при этом в бессменном посеве он составлял 2,9—16,5, в севообороте — 3,0—3,3 ц/га. При бессменном возделывании озимой ржи в вариантах NPK урожай зерна повышался в 2 раза по сравнению с контролем. Совместное внесение минеральных удобрений и навоза не приводило к существенному увеличению прибавок урожая. Продуктивность озимой ржи в варианте с одним навозом была низкой — 14,2 ц/га, что, в частности, объясняется увеличением засоренности посевов несбалансированностью этого варианта по содержанию фосфо-

ра. Сочетание извести с органо-минеральным удобрением обеспечивало существенный рост урожайности культуры (до 27,8 ц/га).

Эффективность агроприемов в значительной мере зависела от способа выращивания культуры. Так, в бессменном посеве достоверные прибавки урожая наблюдались по всем вариантам с удобрениями, а в севообороте только в двух — NPK+навоз и NPK+навоз+известь. Уровень прибавок урожаев зерна от удобрений в севообороте значительно ниже, чем в бессменном посеве, что объясняется более высокой урожайностью озимой ржи в контроле (26,4 ц/га) в первом случае.

Севооборот обеспечивал значительный рост урожайности культуры: в контроле — на 6,5 ц/га (45%), а в вариантах с удобрениями, кроме NPK+навоз+известь, — на 3,4—15,1 ц/га.

Известкование в варианте навоз+известь не влияло на урожайность озимой ржи, а в варианте NPK+навоз+известь в бессменном посеве получена достоверная прибавка от извести — 4,0 ц/га (17%).

Удобрения способствовали повышению урожайности культуры на 5,0 ц/га (41%), в том числе в бессменном посеве — на 2,9—12,5 ц/га (26—111%), в севообо-

Таблица 11

Урожайность (ц/га) озимой ржи и ярового ячменя в среднем за 1979—1990 гг.

Вариант	Оз. рожь		Яр. ячмень	
	бессменные посевы	севооборот	бессменные посевы	севооборот
Без удобрений	11,3	26,4	5,8	13,0
NPK	22,3	25,7	26,2	22,1
NPK+навоз	23,8	29,7	29,1	27,3
NPK+навоз+известь	27,8	29,4	30,7	29,6
Навоз	14,2	—	16,4	—
Навоз+известь	15,3	—	19,4	—
НСР ₀₅		2,7		2,9

роте — на 3,3 ц/га (12 %) в варианте NPK+навоз+известь.

Взаимодействие севооборота, известкования и удобрений обеспечивало наибольшую прибавку урожая зерна ржи — 18,1 ц/га (160 % к контролю). Оптимальные условия плодородия почвы складывались при сочетании севооборота с удобрением, а также севооборота с известкованием и удобрением, что соответственно обеспечивало увеличение урожайности озимой ржи на 18,1—18,4 ц/га (160—163 %).

Урожайность ярового ячменя в среднем колебалась от 5,8 до 30,7 ц/га, в том числе в бессменном посеве — от 5,8 до 30,7, в севообороте — от 13,0 до 29,6 ц/га. Внесение удобрений и известкование существенно повышали урожай зерна — на 7,2—24,9 ц/га, в том числе в бессменном посеве — на 10,6—24,9, в севообороте — на 9,1—16,6 ц/га. Наибольшие урожаи культуры — 29,6—30,7 ц/га — получены в варианте NPK+навоз+известь.

Севооборот влиял на продуктивность ячменя только в контроле, где прирост урожая составил 7,2 ц/га (124 %), и в варианте NPK, где урожайность снизилась на 4,1 ц/га (16 %).

Известкование не влияло на урожай зерна, лишь в бессменном посеве наблюдался небольшой его эффект — 3,0 ц/га (18 %) — в варианте навоз+известь.

Удобрения обеспечивали существенное увеличение урожайности культуры как в целом — на 15,5 ц/га (223 %), так и по способам выращивания: в бессменном посеве — на 18,1 ц/га (312 %), в севообороте — на 11,7 ц/га (90 %).

Взаимодействие севооборота, известкования и удобрения способствовало увеличению урожайности ячменя на 23,8 ц/га (410 %). По всем

вариантам наблюдалось существенное увеличение урожая зерна — на 7,2—24,9 ц/га, в том числе в бессменном посеве — на 10,6—24,9, в севообороте — на 7,2—23,8 ц/га. Оптимальные условия плодородия почвы формировались при сочетании комплекса факторов NPK+навоз+известь как в бессменном посеве, так и в севообороте, что обеспечивало рост урожайности ячменя на 23,8—24,9 ц/га (410—429 %).

Корреляционный анализ показал, что между урожайностью озимой ржи и агрохимическим баллом плодородия почвы корреляционная связь отсутствует (коэффициент корреляции 0,09). Вместе с тем выявлена тесная прямолинейная зависимость между урожайностью и биологическим баллом плодородия (коэффициент корреляции 0,88, детерминации — 0,78).

Урожайность ячменя всего на 32 % зависела от агрохимических свойств почвы (коэффициент корреляции 0,56, детерминации — 0,32). Несколько выше была ее зависимость от биологического балла плодородия почвы (коэффициент корреляции 0,69, детерминации — 0,48).

Исследования химического состава зерна колосовых показали (табл. 12), что содержание азота в зерне озимой ржи в среднем составляло 1,83 %, в том числе в бессменном посеве — 1,77 (1,69—1,83 %), в севообороте — 1,92 % (1,86—1,98 %), что свидетельствует об отсутствии значительных изменений этого показателя по вариантам удобрения.

Содержание фосфора в зерне озимой ржи варьировало от 0,37 до 0,45 %, в том числе в бессменном посеве — от 0,39 до 0,45, в севообороте — 0,37—0,40 %. Следовательно, отмечалось некоторое его снижение в условиях севооборота.

Содержание калия в зерне озимой

Таблица 12

Химический состав (%) зерна озимой ржи и ярового ячменя

Вариант	Оз. рожь			Яр. ячмень		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
<i>Бессменные посевы</i>						
Без удобрений	1,73	0,40	0,59	2,24	0,45	0,70
NPK	1,81	0,40	0,62	2,13	0,40	0,64
NPK+навоз	1,76	0,45	0,63	2,05	0,45	0,69
NPK+навоз+известь	1,83	0,41	0,64	2,08	0,41	0,65
Навоз	1,81	0,44	0,66	1,86	0,42	0,67
Навоз+известь	1,69	0,39	0,60	1,87	0,46	0,69
<i>Севооборот</i>						
Без удобрений	1,88	0,37	0,63	2,05	0,36	0,59
NPK	1,86	0,38	0,59	2,08	0,42	0,67
NPK+навоз	1,98	0,38	0,57	2,10	0,42	0,69
NPK+навоз+известь	1,96	0,40	0,57	2,02	0,47	0,74

ржи по вариантам опыта изменялось незначительно.

В зерне ярового ячменя содержание азота составляло в среднем 2,05 %, в том числе в бессменном посеве — 2,04, в севообороте — 2,06 %, содержание фосфора — в среднем 0,43 %, в бессменном посеве — 0,40—0,45, в севообороте — 0,36—0,47 %. В бессменных посевах концентрация фосфора в зерне ячменя изменялась незначительно, тогда как в севообороте — существенно (разность 0,06—0,11 %). При

этом между вариантами с удобрениями различий не было.

Содержание калия в зерне составляло 0,67 %, в бессменном посеве — 0,67 (0,64—0,70 %), в севообороте — 0,67 % (0,59—0,74 %). Значение данного показателя мало изменялось по вариантам при бессменном возделывании и несколько увеличивалось (разность 0,10—0,15 %) в вариантах NPK+навоз и NPK+навоз+известь в севообороте.

Вынос основных питательных ве-

Таблица 13

Вынос питательных веществ (кг/га) урожаем зерна озимой ржи и ярового ячменя

Вариант	Оз. рожь			Яр. ячмень		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
<i>Бессменные посевы</i>						
Без удобрений	14,1	3,3	4,8	7,2	1,4	2,2
NPK	29,1	6,4	10,0	38,1	7,1	11,4
NPK+навоз	33,6	8,6	12,0	40,9	9,0	13,8
NPK+навоз+известь	34,1	7,6	11,9	41,6	8,2	13,0
Навоз	11,0	2,7	4,0	19,3	4,4	7,0
Навоз+известь	12,4	2,9	4,4	24,9	6,1	9,2
<i>Севооборот</i>						
Без удобрений	36,7	7,2	12,3	16,6	2,9	4,8
NPK	30,1	6,1	9,5	35,3	7,1	11,4
NPK+навоз	42,0	8,0	12,1	47,9	9,6	15,7
NPK+навоз+известь	40,6	8,3	11,8	47,1	10,9	17,2

ществ с зерном по вариантам опыта существенно изменялся в зависимости от уровня урожая (табл. 13). При этом следует отметить, что в большинстве вариантов в севообороте он был выше, чем в бессменных посевах, что свидетельствует о повышении использования удобрений растениями при чередовании культур.

Выводы

1. Необходимость экологической сбалансированности и обеспечения высокой продуктивности современных агроландшафтных систем земледелия обуславливает резко возрастающее значение биотехнологических компонентов плодородия почв и, следовательно, их количественной технологической оценки. Это особенно важно для регионов с дерново-подзолистыми почвами, имеющими низкое естественное плодородие. Высокоэффективное земледелие в таких условиях базируется исключительно на расширенном воспроизводстве плодородия, и в первую очередь на воспроизводстве его биотехнологических компонентов.

2. Надежность оценки технологических компонентов плодородия почвы повышается в длительных многофакторных опытах при точном количественном учете их воздействий во времени, определении взаимодействия и побочных эффектов, при системном количественном изучении условий производства.

3. Исследованиями, проведенными в 80-летнем полевом опыте на зерновых культурах, установлены эффекты длительного применения удобрений, известкования, севооборота и бессменных посевов культур в изменении биологических свойств почвы. Важнейшими средствами воспроизводства биологиче-

ских факторов плодородия дерново-подзолистой почвы являются культура возделывания растений, интенсивное применение органических и минеральных удобрений и периодическое известкование.

4. При определении зависимости отдельных биотехнологических компонентов плодородия почвы от изучаемых факторов было установлено:

— ферментативная активность (полифенолоксидазы и пероксидазы) существенно увеличивалась при обогащении дерново-подзолистой почвы органическим веществом и мало изменялась при внесении минеральных туков. Известкование почвы и севооборот несколько повышали активность полифенолоксидазы;

— «дыхание» почвы определялось гумусированностью почвы и возрастало от контроля к вариантам NPK и NPK+навоз;

— засоренность посевов под бессменными культурами повышалась в 2—3 раза, при этом увеличивалась засоренность многолетними зловитыми сорняками. Численность сорняков была выше в начале вегетации, но масса, наоборот, значительно больше в ее конце. Потенциальная засоренность в 2—3 раза выше в бессменных посевах, особенно при длительном унавоживании почвы.

5. Для оценки биологических свойств почвы рекомендуется обобщенный биологический балл ее плодородия, используя который можно количественно нормировать биологические факторы плодородия при разработке технологических моделей плодородия.

6. Благоприятным биологическим свойством интенсивно используемой дерново-подзолистой почвы не всегда соответствуют лучшие агрохимические ее свойства. Важнейшими средствами оптимизации агрохими-

ческих факторов плодородия этой почвы в длительном опыте Тимирязевской академии являются систематическое применение минеральных туков и известкование.

7. Первостепенное значение биологических факторов плодородия интенсивно используемой дерново-подзолистой почвы выявлено на основе регрессивного анализа данных факторов, агрохимических свойств почвы и урожаев полевых культур за последнее 10-летие опыта. Коэффициенты корреляции биологического балла плодородия почвы и урожаев полевых культур равны 0,69—0,88, коэффициенты корреляции агрохимического балла плодородия почвы и урожаев полевых культур — 0,09—0,56.

Литература

1. Алиев С. А. Экология и энергетика биохимических процессов превращения органического вещества почв.— Баку, Э. А. М., 1978.— 2. Доспехов Б. А., Кирюшин Б. Д., Братерская А. Н. Дейст-

вие 60-летнего применения удобрений, периодического известкования и севооборота на агрохимические свойства дерново-подзолистой почвы.— *Агрохимия*, 1976, № 4, с. 3—14.— 3. Лыков А. М., Васильева Д. В., Сафонов А. Ф., Сугробов В. М. Влияние длительного интенсивного применения удобрений, известкования и севооборота на урожайность полевых культур (по данным 70-летнего полевого стационара ТСХА).— *Изв. ТСХА*, 1985, вып. 4, с. 33—41.— 4. Лыков А. М., Сафонов А. Ф., Васильева Д. В. и др. Влияние бессменных культур, севооборота и удобрений на плодородие легкосуглинистой дерново-подзолистой почвы (по данным 70-летнего стационара ТСХА).— *Изв. ТСХА*, 1986, вып. 2, с. 3—13.—

5. Стефанькина Л. А., Корягина Н. А. Использование комплекса биологических показателей для оценки плодородия дерново-подзолистых почв.— *Почвоведение и агрохимия*, 1982, вып. 18, с. 49—55.— 6. Чундерова А. И. Активность полифенолоксидазы в дерново-подзолистых почвах.— *Почвоведение*, 1970, № 7, с. 22—26.

Статья поступила 5 февраля 1992 г.

SUMMARY

The development of ecologically balanced and intensive agrolandscape farming systems on soddy-podzolic soils is carried out with consideration of the increasing value of biotechnological components of fertility of these soils and accurate quantitative allowance for technological conditions of farming.