

УДК 631.452:631.582:631.8

## ВЛИЯНИЕ БЕССМЕННЫХ КУЛЬТУР, СЕВООБОРОТА И УДОБРЕНИЙ НА ПЛОДОРОДИЕ ЛЕГКОСУГЛИНИСТОЙ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЫ

(по данным 70-летнего стационара ТСХА)

А. М. ЛЫКОВ, А. Ф. САФОНОВ, Д. В. ВАСИЛЬЕВА,  
Н. Н. КЛИМЕНКО, М. А. ЗОЛОТАРЕВ, В. М. СУГРУБОВ  
(Кафедра земледелия и методики опытного дела)

В современном интенсивном земледелии плодородие почвы рассматривается как важнейший фактор, обеспечивающий получение высоких устойчивых урожаев полевых культур. Поддержание плодородия почвы на оптимальном уровне (его воспроизводство) является обязательным условием развития почвы как элемента биосферы, экологического благополучия и устойчивости природной сферы.

Возрастающее значение плодородия в интенсивном земледелии ставит перед экспериментальной агрономией новые задачи. Необходимо точное конкретное определение плодородия почвы как средства производства в земледелии. Существовавшая до недавнего времени весьма общая характеристика плодородия почвы, по существу, не вычленяет роли в урожае собственно почвы. Плодородие почвы еще часто отождествляется с категорией «урожай». Урожай же, как известно, является результатом действия не только почвы, но и растения, климатических факторов, агропроизводственной деятельности человека и длительности производственного процесса. В связи с программированием урожаев в интенсивном земледелии, необходимостью точного разделения и строгой количественной оценки роли отдельных факторов формирования урожаев, нормативного управления этими факторами плодородие почвы как категория экспериментального земледелия должно характеризовать только свойства почвы, ее способность (наряду с другими факторами формирования урожая) обеспечивать заданный урожай.

Плодородие почвы — не абстрактное, а строго материальное, объективное, изменяемое свойство почвы, обладающее конкретной количественной и качественной характеристикой. Оно должно быть легко воспроизводимым экспериментально. Плодородие почвы не обязательно характеризуется уровнем урожая, тем не менее при прочих равных условиях (растение, климат, вмешательство человека, время) последний тем выше, чем выше плодородие почвы.

Такой нормативно-технологический подход к плодородию почвы сегодня абсолютно необходим, он предполагает прямое использование теоретических разработок в практическом земледелии, конкретное управление почвенными условиями формирования урожая, позволяет одновременно дозировать уровни воспроизводства почвенного плодородия.

Плодородие как свойство почвы формируется в результате взаимодействия процессов превращения, аккумуляции и трансформации. Развитие названных процессов в почве определяется биологическими, агрофизическими и агрохимическими показателями плодородия. К биологическим показателям относятся содержание органического вещества в почве и его качественный состав, почвенная биота, фитосанитарное состояние почвы (сорняки, вредители, болезни и токсические вещества),

к агрофизическим — механический состав почвы, ее структура, сложение и мощность пахотного слоя. Агрохимические показатели плодородия — содержание питательных веществ и щелочно-кислотные свойства почвы.

Показатели плодородия почвы тесно взаимосвязаны. Одни из них — фундаментальные, глобально воздействуют на всю почвенную систему (механический и минералогический состав, органическое вещество), другие (биота почвы, агрофизические и агрохимические свойства) — в значительной мере производные от фундаментальных свойств.

Теоретически и экспериментально обоснованное сочетание факторов плодородия представляет собой технологическую модель плодородия почвы. Технологическая модель плодородия включает количественные и качественные параметры факторов плодородия. Модели плодородия строго дифференцированы в зависимости от типа и разновидности почвы, особенностей возделываемых культур, уровня интенсификации земледелия в данных условиях. Модели плодородия почвы конкретного хозяйства оптимальны с агрономической и экономической точек зрения и являются исходными условиями для разработки зональной нормативно-технологической системы земледелия.

В интенсивном земледелии осуществляется научно обоснованное воспроизводство плодородия. Расширенное воспроизводство плодородия — обязательное условие, без которого невозможно расширенное воспроизводство продукции земледелия вообще.

Модели плодородия носят экспериментальный характер, т. е. закономерности их формирования и воспроизводства, эффективность использования, экологическая устойчивость познаются в полевом эксперименте. Полевой опыт позволяет сознательно и целенаправленно нормировать воздействие на почву и возделываемое растение факторов интенсификации земледелия, находить количественные связи между отдельными факторами, вычленять роль природных и антропогенных факторов, устанавливать и затем прогнозировать важнейшие качественные изменения в системе почва — растение — человек. Другими словами, длительный полевой эксперимент, осуществляемый на высоком научно-методическом уровне, имеет своей конечной целью получение нормативов действия важнейших элементов современных агротехнических комплексов. Нормативы касаются в первую очередь воспроизводства плодородия почвы, а затем при учете других слагаемых урожая — в целом всего производственного процесса в земледелии.

Исходя из вышесказанного, проанализируем экспериментальные данные, полученные в 70-летнем полевом стационаре ТСХА.

При воспроизводстве плодородия дерново-подзолистых почв наибольшие трудности, как правило, возникают в отношении регулирования биологических показателей плодородия и прежде всего органического вещества почвы. Основными приемами регулирования «гумусового хозяйства» почвы являются культура растений, система удобрения, приемы механической обработки почвы. Полученные в опыте за последние 10 лет экспериментальные данные в целом подтверждают основные закономерности превращения органического вещества, установленные нами ранее [2, 3]. Следует отметить, что за последнее десятилетие в опыте вдвое увеличены нормы удобрений, осуществлены другие методические изменения [4].

При анализе экспериментальных материалов, характеризующих изменения «гумусового хозяйства» почвы под влиянием бессменных культур, удобрений и обработки почвы, мы руководствовались прежде всего статистическими данными о количественном и качественном изменении гумуса почвы. Приводимые ниже экспериментальные данные представляют собой средние результаты многократных определений содержания органического вещества почвы и его качественного состояния по вариантам длительного опыта. Используя их, можно установить действие того или иного агротехнического приема на фоне других меро-

Влияние выращивания бессеменных культур на «гумусовое хозяйство»  
дерново-подзолистой почвы. Длительный опыт ТСХА,  
средние данные по вариантам удобрения, 1982 г.

Вариант бессеменной культуры	С, %	Содержание С в вытяжках				
		0,1 н. NaOH			водной	
		мг на 1 кг почвы	% к об- щему С	коэффи- циент цветности	мг на 1 кг почвы	% к об- щему С
Оз. рожь	1,13	1197,0	10,6	4,47	74,9	0,66
	0,74	802,1	10,8	4,46	53,9	0,73
Картофель	0,76	1074,7	14,1	4,02	53,1	0,70
	0,44	753,4	17,1	3,74	39,2	0,89
Овес (с 1973 г. — ячмень)	0,99	1215,7	12,3	6,25	66,1	0,67
	0,62	857,4	13,8	5,16	51,1	0,81
Лен	0,96	1385,0	14,4	4,71	59,6	0,62
	0,67	1166,4	17,4	4,38	47,6	0,71

Примечание. Здесь, а также в табл. 2 и 6 в числителе — слой почвы 0—20, в знаменателе — 20—40 см.

приятней, что особенно важно с точки зрения системного анализа агрономического комплекса.

Важнейшим фактором воспроизводства органического вещества интенсивно используемой дерново-подзолистой почвы является культура растений. Растения — единственно реальный источник первичного органического вещества в системе почва — растение — человек. Большая часть органического вещества, созданного растениями, отчуждается с поля. В почву поступают корневые и пожнивные остатки. Кроме того, значительная часть урожая возвращается в поле с органическими удобрениями.

Данные табл. 1 свидетельствуют о неравнозначном прямом влиянии отдельных полевых культур на гумусовый баланс почвы. Это влияние обусловлено биологическими особенностями опытных растений и сопутствующей их возделыванию механической обработкой.

Зерновые культуры (озимая рожь, овес, ячмень) и лен по влиянию на гумусированность почвы можно условно объединить в одну группу растений, однако при возделывании озимой ржи в почву поступает заметно больше фитомассы, что способствует более значительному положительному изменению гумусового баланса. Подвижность органического вещества невысокая, преобладают гумусовые вещества, в молекулах которых велика доля алифатических структур. Под яровыми зерновыми и льном гумусовый баланс менее благоприятный, возрастает подвижность органического вещества почвы. Под картофелем — культурой интенсивного типа — воспроизводство органического вещества почвы идет значительно медленнее, гумусированность почвы заметно ниже не только в слое 0—20 см, но и в слое 20—40 см. Подвижность органического вещества почвы в этом случае возрастает. Коэффициенты цветности свидетельствуют о более сложном типе строения гумусовых веществ, их большей химической зрелости.

Чередувание полевых культур в плодосменном севообороте не является действенным положительным приемом регулирования гумусированности почвы. В севообороте процессы новообразования — разложения органического вещества почвы резко ускоряются, и в результате при общем повышении урожайности культур дефицит гумусового баланса может быть значительно больше, чем при выращивании бессеменных культур.

Сравнение показателей «гумусового хозяйства» почвы в длительном опыте ТСХА за 1972 и 1982 гг. свидетельствует в целом о неизменности во времени направления и скорости изменения содержания

Влияние длительного применения удобрений и известкования на «гумусовое хозяйство» дерново-подзолистой почвы. Длительный опыт ТСХА, 1982 г.

Вариант удобрения	С. %	Содержание С в вытяжках				
		0,1 н. NaOH			водной	
		мг на 1 кг почвы	% к общему С	коэффициент цветности	мг на 1 кг почвы	% к общему С
Средние данные по бессменным культурам						
Контроль	0,71	1813,5	25,5	5,79	44,2	0,62
	0,50	1181,8	23,4	4,23	25,6	0,51
Известь	0,84	682,5	8,1	4,96	42,3	0,53
	0,54	604,0	11,1	4,16	32,1	0,59
НРК	0,95	1903,0	20,1	6,26	70,0	0,74
	0,60	1238,8	20,6	6,36	50,8	0,85
НРК + известь	1,04	830,4	8,0	4,30	59,1	0,57
	0,71	685,6	10,0	4,36	47,7	0,67
Навоз	0,99	1607,1	16,3	4,82	69,7	0,71
	0,66	1184,9	17,9	5,26	59,7	0,90
Навоз + известь	1,16	862,4	7,4	4,28	67,0	0,58
	0,70	640,9	9,2	4,76	52,1	0,75
Средние данные по 131-му и 135-му полям севооборота						
Контроль	0,78	2009,2	25,7	3,60	37,7	0,74
	0,36	1429,9	45,1	3,39	25,7	0,78
Известь	0,73	634,2	8,7	3,25	45,9	0,62
	0,23	653,3	31,0	3,06	27,1	1,22
НРК	0,80	2089,4	26,1	5,46	65,8	0,82
	0,33	856,7	26,0	3,20	28,9	0,87
НРК + известь	0,78	983,0	12,5	3,30	49,2	0,63
	0,34	350,8	10,4	3,30	33,0	0,98
Навоз + НРК	1,01	2114,0	21,0	4,88	76,6	0,76
	0,54	1417,5	26,3	3,72	33,5	0,62
Навоз + НРК + известь	1,06	838,2	7,9	3,37	62,9	0,59
	0,48	659,4	13,7	3,41	40,3	0,84

органического вещества дерново-подзолистой почвы под действием комплекса агротехнических мероприятий. При возделывании однолетних культурных растений запасы гумуса постепенно уменьшаются, и особенно значительно — при выращивании интенсивных пропашных культур.

Таблица 3

Биологическая активность почвы под бессменными культурами и в севообороте. Средние данные по вариантам удобрения, 1982 г.

Вариант культуры	Число микроорганизмов, тыс. в 1 г почвы	Активность ферментов на 1 г почвы				Нитрифицирующая способность, мг N — NO <sub>2</sub> на 1 кг почвы	Интенсивность дыхания, мкл/г·ч	
		инвертаза, мг глюкозы за 24 ч	каталаза, см <sup>3</sup> O <sub>2</sub> за 1 мин	полифенолоксидаза	пероксидаза		CO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>
				мг пурпургаллина				
Бессменно:								
пар	800	2,79	0,44	0,48	2,05	8,1	1,42	0,94
рожь	1640	3,10	0,82	0,65	2,18	17,0	2,59	1,74
ячмень	1520	3,32	0,58	0,58	2,20	14,6	1,75	1,36
Севооборот	1915	3,07	0,62	0,67	2,46	11,8	1,65	1,08

Биологическая активность почвы при внесении удобрений.  
Средние данные по культурам, 1982 г.

Вариант удобрения	Число микроорганизмов, тыс. в 1 г почвы	Активность ферментов на 1 г почвы				Нитрифицирующая способность, мг N—NO <sub>3</sub> на 1 кг	Интенсивность дыхания, мкл/г·ч	
		инвертаза, мг глюкозы за 24 ч	каталаза, см <sup>3</sup> O <sub>2</sub> за 1 мин	полифе-	перокси-		CO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>
				нооксидаза	даза			
Контроль	727	3,01	0,60	0,56	2,20	7,20	1,18	0,73
НРК	1194	2,95	0,57	0,58	2,17	13,7	1,31	0,88
НРК + навоз	1680	3,07	0,62	0,61	2,24	15,2	2,35	1,40
НРК + навоз + известь	2375	3,28	0,66	0,70	2,26	15,3	2,40	1,94

Прямое действие удобрений и известкования на количественные и качественные превращения органического вещества в дерново-подзолистой почве иллюстрируют данные табл. 2 и 3.

Как под бессменными культурами, так и в севообороте самое низкое содержание гумуса сохраняется в контрольных вариантах. При систематическом применении полного минерального удобрения в слое 0—40 см оно несколько выше, причем под бессменными культурами это повышение заметнее, чем в севообороте. Систематическое внесение навоза, а также совместное применение навоза и НРК способствуют значительному накоплению гумуса почвы. Следует отметить, что с увеличением продолжительности опыта начинает проявляться положительное влияние известкования (оно начато в 1949 г.) на гумусовый баланс интенсивно используемой дерново-подзолистой почвы. Как правило, содержание гумуса в пахотном и подпахотном слоях известкуемых участков в настоящее время выше, чем на неизвесткуемых.

Резюмируя материалы о количественных изменениях органического вещества в почвах длительного опыта, необходимо подчеркнуть полное соответствие данных, полученных в последние годы и в более ранних исследованиях. Длительное возделывание однолетних полевых культур без внесения удобрений и при систематическом применении минеральных туков согласно принятой в зоне системе обработки почвы не обеспечивает бездефицитного баланса гумуса почвы. Ежегодное внесение навоза 10—20 т/га создает положительный баланс органического вещества почвы в слое 0—40 см.

С улучшением гумусового баланса снижается содержание щелочерастворимого вещества при одновременном возрастании его водорастворимой фракции.

В севообороте общая подвижность гумусовых веществ значительно выше, чем в бессменных посевах. Этот факт подтверждает тезис о значительно большей интенсивности процессов синтеза — разрушения органического вещества почвы в севообороте. Как правило, подвижность гумусовых веществ в слое 20—40 см выше, чем в слое 0—20 см.

Природа гумусовых веществ, о которой в определенной степени можно судить по коэффициенту цветности, более сложная в севообороте, а также в вариантах с известкованием. Роль систематического применения удобрений в этом отношении менее определена.

Щелочные вытяжки гумусовых веществ подпахотного слоя почвы характеризуются большей оптической плотностью, чем слоя 0—20 см.

Установлено, что культурные растения при длительном возделывании в бессменных посевах и в севообороте поддерживают высокий уровень биологической активности почвы за счет непрерывного поступления корневых выделений и растительных остатков (табл. 3). Озимая рожь больше активизирует микробиологические и ферментативные

## Засоренность посевов при длительном применении удобрений, известковании и севообороте.

Средние данные за 1974—1977 гг.

Культура	Контроль	Известь	НРК	НРК+из-весть	Среднее по вариантам удобрения
Бессменно					
Рожь	447	497	157	253	338
	241	432	352	795	455
Ячмень	1027	257	104	92	370
	824	709	297	322	538
Лен	722	857	406	453	609
	697	467	1626	1342	1033
Среднее по культурам	732	537	222	266	
	587	536	758	820	
Севооборот					
Рожь	424	427	302	82	309
	261	32	102	169	141
Ячмень	215	96	166	108	146
	513	59	272	101	236
Лен	156	84	29	28	74
	229	46	92	65	108
Среднее по культурам	265	202	166	73	
	334	46	155	112	

Примечание. В числителе — численность сорняков, шт/м<sup>2</sup>, в знаменателе — их биомасса, г/м<sup>2</sup>.

процессы в почве, чем ячмень. Этот факт свидетельствует о неодинаковом действии культур одной хозяйственно-биологической группы на биологические показатели плодородия почвы [5].

В почве севооборота больше численность микроорганизмов и повышена активность полифенолоксидазы и пероксидазы, но по другим показателям биологической активности почва севооборота приближается или уступает бессменным посевам озимой ржи и ячменя. Это объясняется тем, что в севообороте имеются поля чистого пара и картофеля, в которых минерализационные процессы усиливаются вследствие интенсивной обработки, а почва бессменных зерновых посевов более длительный период бывает уплотнена.

Мощным фактором активизации биологических процессов в почве являются также и удобрения. Длительное их применение способствовало повышению численности микроорганизмов и нитрификационной способности почвы (табл. 4). Более разностороннее влияние на биологическую активность почвы оказывали органические удобрения, которые, кроме указанных выше показателей биологической активности, повышали интенсивность дыхания почвы и активность некоторых ферментов. Самая высокая биологическая активность почвы отмечена в варианте совместного внесения минеральных и органических удобрений на фоне известкования. Известкование не только усиливает микробиологическую и ферментативную деятельность, но и приводит к существенным изменениям трансформационных процессов. Об этом свидетельствует уменьшение соотношения между количеством выделившейся углекислоты и количеством поглощенного кислорода.

Засоренность посевов различных сельскохозяйственных культур при их бессменном возделывании неодинаковая (табл. 5). Так, наиболее конкурентоспособной по отношению к сорнякам является озимая рожь, несколько уступает ей ячмень. Засоренность посевов льна в 2 ра-

Содержание в почве подвижных форм фосфора и калия (мг на 100 г)  
при бессменном возделывании культур и в севообороте.  
Средние данные по вариантам удобрения, 1982 г.

Вариант культуры	Без извести		По извести	
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
Бессменно:				
пар	19,9	18,0	32,2	18,6
	10,2	16,6	14,3	12,8
рожь	16,9	17,2	21,4	16,9
	9,5	13,6	11,8	12,2
ячмень	25,5	17,1	25,3	15,2
	10,0	11,2	12,3	10,9
лен	16,5	15,4	18,7	17,2
	7,5	11,8	9,1	12,0
картофель	15,8	10,8	26,3	12,4
	8,4	7,2	14,9	7,7
Севооборот	22,1	15,4	20,7	15,0
	6,2	9,2	7,5	8,9

за больше, чем зерновых культур. В севообороте этот показатель резко уменьшается. Особенно возрастает конкурентная способность льна. Численность и биомасса сорняков в его посевах меньше, чем в посевах озимой ржи и ячменя.

Удобрения также неодинаково влияют на засоренность бессменных посевов и севооборотов. В бессменных посевах применение минеральных удобрений приводит к снижению численности сорняков, но к возрастанию их биомассы, а в севообороте — к снижению обоих показателей.

Известкование в севообороте способствует повышению конкурентной способности озимой ржи, ячменя и льна по отношению к сорнякам.

При интенсификации земледелия особое внимание следует уделять обоснованию оптимальных параметров содержания в почве элементов минерального питания, учитывая, с одной стороны, необходимость полного обеспечения растений питательными элементами, с другой — возможность загрязнения окружающей среды.

В длительном опыте ТСХА содержание подвижных форм фосфора и калия в пахотном слое под культурами меньше, чем в бессменном пару (табл. 6). Эти различия обусловлены потреблением фосфора и калия на создание урожая. Среди изучаемых вариантов культур наибольшее содержание фосфора отмечено под ячменем и картофелем по фону извести, наименьшее — под картофелем, — калиелюбивой культурой. Значительное влияние на содержание фосфора в почве как в пару, так и под бессменными культурами оказало известкование. Однако содержание калия оставалось без изменения. В посевах севооборота эти показатели были равными в вариантах без известкования и с известкованием.

Изменение содержания изучаемых элементов питания в подпахотном слое почвы в основном обуславливалось выращиваемой культурой. В севообороте подвижных форм фосфора и калия в слое 20—40 см накапливалось меньше, чем в бессменных посевах, за счет более высокой продуктивности сельскохозяйственных культур при их чередовании.

Использование одних фосфорных и калийных удобрений и в сочетании с другими удобрениями ведет к увеличению содержания фосфора и калия в слое 0—40 см почвы (табл. 7). Самое большое количество фосфора накапливается в почве при совместном внесении фосфорных и калийных удобрений, так как потребление его растениями в данном случае незначительное. Содержание калия во всех вариантах с внесением калийных удобрений было почти одинаковым.

Содержание подвижных форм фосфора и калия в почве (мг на 100 г)  
при длительном применении удобрений и известковании.  
Средние данные по культурам, 1982 г.

Вариант удобрения	Без известки				По известки			
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		K <sub>2</sub> O		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		K <sub>2</sub> O	
	0—20	20—40	0—20	20—40	0—20	20—40	0—20	20—40
Контроль	6,5	3,0	8,1	6,3	7,2	3,7	8,0	6,2
	13,9	4,7	11,1	6,8	10,6	4,5	9,8	9,1
N	7,0	5,0	8,1	6,2	7,2	5,5	7,6	7,5
	14,3	6,5	12,2	8,4	9,7	6,6	11,4	8,1
P	22,8	9,7	9,0	6,6	28,6	12,4	7,6	5,5
	19,3	7,5	13,8	8,6	22,1	9,7	12,0	9,1
K	5,0	3,3	19,9	16,8	8,2	4,7	19,4	13,8
	9,2	3,5	18,0	10,4	13,1	5,3	17,6	9,8
NP	22,6	11,7	8,1	5,7	25,5	15,0	7,3	5,6
	25,8	6,6	11,2	7,4	18,9	7,8	13,3	6,9
NK	9,3	4,9	22,0	16,2	8,8	4,6	20,0	11,4
	21,0	4,0	20,6	7,9	16,3	4,9	17,2	7,6
PK	32,8	14,2	22,6	16,0	39,8	17,3	26,3	14,8
	32,4	7,7	18,9	10,8	30,9	6,4	18,0	6,8
NPK	33,4	11,0	18,8	13,3	44,6	19,5	20,7	11,8
	24,2	6,5	13,1	11,4	25,2	8,9	15,9	14,2
Навоз	15,2	9,7	15,6	13,1	27,5	15,9	17,2	12,5
	—	—	—	—	—	—	—	—
Навоз + NPK	34,6	18,7	24,9	20,3	50,8	25,8	26,2	22,1
	39,2	9,0	20,1	11,1	39,6	10,3	19,8	11,3

Примечание. В числителе — среднее по бессменным посевам, в знаменателе — по севообороту.

Урожайность сельскохозяйственных культур во многом зависит от наличия в почве подвижных форм микроэлементов. В наших исследованиях обеспеченность растений цинком высокая, медью — низкая, марганцем — от средней до высокой, кобальтом — низкая (по [1]).

Влияние культур на подвижность микроэлементов было малозаметным (табл. 8). Наибольшее действие на их содержание оказывало известкование. В этом случае содержание цинка, меди, марганца уменьшалось, а кобальта не изменялось.

Удобрения практически не влияли на содержание подвижных форм цинка, меди и кобальта. Подвижность марганца возрастала при внесении азотных удобрений вследствие их подкисляющего действия.

В почве севооборота содержание цинка, меди, марганца было несколько ниже, чем под бессменными культурами, а кобальта — выше.

В условиях интенсивной химизации земледелия важное значение приобретает совершенствование системы контроля за накоплением в почве и растительной продукции токсичных элементов, попадающих в почву с удобрениями. К таким элементам относятся и стронций, переходящий в фосфорные удобрения из исходного сырья.

В длительном опыте ТСХА установлено, что на соответствующие делянки опыта с суперфосфатом с 1912 по 1984 г. внесено около 236 кг стронция на 1 га. Содержание обменного стронция и кальция определяли по профилю почв на глубину до 100 см атомно-абсорбционным методом. В вариантах без удобрений в пахотном слое оно составило 0,35 % емкости обмена этих почв, или  $1,82 \cdot 10^{-2}$  мг·экв на 100 г (табл. 9). Резкой разницы в содержании стронция по слоям почвы не обнаружено, но отмечена большая его аккумуляция в пахотном слое и на глубине залегания иллювиального горизонта — в слое 60—80 см.



## Содержание подвижных форм микроэлементов в слое почвы 0—40 см (мг/кг)

Вариант	Zn	Cu	Mn	Co
Средние данные по вариантам удобрения*				
Бессменно:				
пар	1,6/1,6	0,4/0,1	24,5/14,6	0,2/0,2
рожь	3,1/2,3	0,3/0	33,2/15,0	0,1/0,1
ячмень	3,1/1,9	0,3/0,1	25,4/14,3	0,3/0,3
лен	3,1/2,9	0,2/0,1	22,2/17,3	0,2/0,2
картофель	3,3/2,7	0,2/0,2	33,1/16,5	0,1/0,1
Средние данные по культурам в бессменных посевах и в севообороте**				
Контроль	2,3/1,1	0,3/0,1	27,1/20,3	0,2/0
N	2,7/2,6	0,4/0,3	34,4/33,0	3,3/0,9
P	2,5/2,2	0,4/0,3	21,3/25,1	0,3/0,3
K	2,3/1,8	0,2/0,2	24,6/23,9	0,2/0,5
NP	2,5/1,6	0,2/0,2	37,1/18,2	0,2/0,8
NK	2,8/1,4	0,3/0,4	39,4/17,7	0,2/0,8
PK	3,2/2,5	0,2/0,5	23,9/22,4	0,2/0,9
NPК	3,3/2,5	0,4/0,5	33,1/27,8	0,1/0,7
Навоз	3,4/Не опр.	0,2/Не опр.	14,5/Не опр.	0,1/Не опр.
Навоз + NPK	3,4/2,3	0,1/0,3	21,4/25,0	0,2/0,7

\* В числителе — без известкования, в знаменателе — с известкованием.

\*\* В числителе — бессменно, в знаменателе — севооборот.

При внесении NPK этот показатель в пахотном слое почвы увеличился в 1,2 раза, в слоях 20—40 и 40—60 см — соответственно в 1,8 и 2,8 раза. Очевидно, повышение кислотности почвы под действием минеральных удобрений приводит к усилению подвижности стронция и переносу его в нижележащие горизонты.

Совместное применение минеральных и органических удобрений, а также известкование способствуют увеличению содержания обменного стронция в пахотном слое почвы. При внесении NPK на фоне органических удобрений и известкования стронций в значительных количествах накапливается не только в пахотном, но и в подпахотных горизонтах до глубины 60 см. Во всех изучаемых вариантах содержание обменного стронция в корнеобитаемом слое почвы (0—100 см) при длительном применении суперфосфата увеличилось в среднем в 1,6 раза.

Чем больше соотношение кальция и стронция в почве, тем меньше вероятность значительного накопления стронция в растениях. Отношение Ca : Sr в пахотном слое контрольных делянок равнялось 190. При длительном внесении суперфосфата на неизвесткованных и известко-

Т а б л и ц а 9

## Содержание кальция и стронция в вегетативной массе озимой ржи в фазу начала выхода в трубку (мг·экв на 100 г воздушно-сухого вещества)

Вариант удобрения	Ca	Sr	Ca : Sr	КД в системе почва—растение
Контроль	11,96	0,047	254	0,66
	12,68	0,029	437	0,92
NPK	11,96	0,103	111	0,57
	12,07	0,068	178	0,74
NPK + навоз	11,50	0,062	185	0,77
	13,55	0,041	330	1,07

П р и м е ч а н и е. В числителе — без известкования, в знаменателе — с известкованием.

ванных почвах (варианты NPK и NPK+навоз) отношение Ca : Sr в корнеобитаемом слое уменьшилось соответственно в 2 и 1,6 раза. При систематическом внесении NPK по фону извести данное отношение в пахотном слое почвы оставалось примерно на уровне контроля, однако ниже по профилю до глубины 60 см оно было заметно меньше за счет увеличения содержания стронция под влиянием суперфосфата.

Известкование на фоне систематического внесения NPK поддерживает в пахотном слое почвы отношение Ca : Sr примерно на уровне контроля. При совместном использовании навоза и извести на фоне NPK это соотношение несколько увеличивается. Следует отметить, что при внесении суперфосфата в составе NPK в течение 70 лет даже в вариантах без известкования отношение Ca : Sr больше приводимого для почв эндемических районов [6].

При внесении минеральных удобрений по фону извести стронция в растения поступало в 1,5 раза меньше, чем в варианте без извести, при совместном применении NPK и навоза — в 2,5 раза меньше.

Для оценки перемещения стронция в системе почва — растение используется коэффициент дискриминации (КД), который рассчитывается из соотношений Ca : Sr в звене-акцепторе (растение) и в звене-доноре (почва). Если  $KD < 1$ , то происходит дискриминация кальция по отношению к стронцию, если  $KD > 1$ , стронций поглощается растением в меньшей степени, чем кальций. При  $KD = 1$  наступает равновесие в звеньях биологической цепи. По данным наших исследований, из кислых малобufferных дерново-подзолистых почв стронций поглощается растениями более интенсивно, чем кальций ( $KD = 0,66$ ). Даже в вариантах без удобрений примерное равновесие наступает только при их известковании ( $KD = 0,92$ ).

При обогащении почв стронцием в результате систематического внесения суперфосфата дискриминация кальция не наблюдалась только в случае, когда NPK применяли совместно с навозом при периодическом (один раз в 6 лет) известковании ( $KD = 1,07$ ).

Длительное систематическое применение органических и минеральных удобрений и периодическое известкование способствуют повышению плодородия почв и тем самым, очевидно, — усилению прочности сорбции обменного стронция почвенным поглощающим комплексом, что приводит к менее интенсивному поступлению его в растения.

## Выводы

1. Длительное возделывание однолетних полевых культур без удобрений и при систематическом применении минеральных туков не обеспечивает бездефицитного баланса гумуса дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы. Систематическое длительное внесение навоза (16,4 т/га) создает условия для положительного баланса органического вещества почвы в слое 0—40 см.

2. По мере повышения гумусированности почвы увеличиваются ее биогенность и подвижность органического вещества. При периодическом известковании уменьшается содержание органического вещества в щелочной вытяжке и увеличивается доля его водорастворимой фракции.

3. Длительное систематическое применение удобрений в бессменных культурах сплошного сева приводит к уменьшению численности сорняков, но увеличивает их массу. Конкурентоспособность по отношению к сорнякам у озимой ржи выше, чем у ячменя и льна. По сравнению с бессменными культурами в севообороте засоренность посевов сельскохозяйственных культур значительно меньше.

4. Содержание подвижных форм фосфора и калия увеличивается при систематическом применении удобрений. Темпы накопления этих веществ в известкованной почве выше, чем в неизвесткованной.

5. Обеспеченность почв микроэлементами отмечена следующая: цинком — высокая, медью — низкая, марганцем — от средней до высокой, кобальтом — низкая.

6. Длительное применение минеральных удобрений способствовало повышению содержания в почве обменного стронция. При систематическом применении органических удобрений и периодическом известковании усиливается сорбция стронция, что обеспечивает снижение его поступления в растения.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Артюшин А. М., Державин Л. М. Краткий справочник по удобрениям. — М.: Колос, 1984. — 2. Егоров В. Е. Из результатов полувекowego полевого опыта ТСХА с удобрениями, севооборотом и монокультурами. — Изв. ТСХА, вып. 6, 1963, с. 30—56. — 3. Лыков А. М. Роль длительного применения удобрений, севооборота и монокультур в изменении органического вещества в почве подзолистого типа. — Изв. ТСХА, вып. 6, 1963, с. 57—63. — 4. 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, вып. 4, 1985, с. 33—41. — 5. Лыков А. М., Сафонов А. Ф. Биологические показатели дерново-подзолистой почвы и урожайность зерновых культур при длительном применении удобрений и севооборота. — Изв. ТСХА, вып. 5, 1985, с. 3—11. — 6. Шаймухаметова А. А., Соколова Н. В., Васильева Д. В. Накопление и распределение обменных кальция и стронция по профилю дерново-подзолистой почвы при длительном применении удобрений. — Изв. ТСХА, вып. 1, 1982, с. 64—69.

*Статья поступила 20 ноября 1985 г.*

#### SUMMARY

The Timiryazev Academy long-term experiment has shown that growing annual crops without fertilization and under systematic mineral fertilization does not provide undeficient balance of soil humus. Systematic application of farm manure (16.4 tons/ha) makes up conditions for positive balance of soil organic matter in the layer of 0—40 cm.

Biologic activity and mobility of organic matter increases with higher humus content in the soil. Under long-term fertilization of monoculture the population of weeds decreases, but their mass increases. Crop rotation is an important factor in reducing crop weediness. Fertilization raises the content of mobile forms of phosphorus and potassium in the soil. Rates of their accumulation in limed soil are higher than those in non-limed soil. Soil is highly provided with mobile copper and cobalt, and to a less extent, with zinc and manganese.

Application of superphosphate results in higher content of exchange strontium in root-populated layer.