

ЗЕМЛЕДЕЛИЕ И РАСТЕНИЕВОДСТВО

Р1звестия ТСХА, выпуск 2, 2002 год

УДК 631.421.1

СОСТОЯНИЕ ПЛОДОРОДИЯ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЫ И ПРОДУКТИВНОСТЬ ПОЛЕВЫХ КУЛЬТУР ПРИ ДЛИТЕЛЬНОМ ПРИМЕНЕНИИ УДОБРЕНИЙ И ИЗВЕСТКОВАНИЯ В БЕССМЕННЫХ ПОСЕВАХ И СЕВОБОРОТЕ

А. Ф. САФОНОВ, А. А. АЛФЕРОВ, М. А. ЗОЛОТАРЕВ

(Кафедра земледелия и методики опытного дела)

Изучение длительного возделывания культур в бессменных посевах и в севообороте позволило установить влияние культуры растений и удобрений на расширенное воспроизводство плодородия дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы. Возделывание клевера и озимой ржи при применении удобрений обеспечивает расширенное, а ячменя — простое воспроизводство плодородия почвы. Продуктивность картофеля по сравнению с зерновыми культурами выше в бессменных посевах. Зерновые культуры лучше реагируют на известкование и севооборот.

Плодородие почвы играет важную и многогранную роль в формировании урожая сельскохозяйственных культур. С содержанием в почве органического вещества и его качественным составом, агрофизическими и агрохимическими свойствами почвы связаны режим питания растений, физико-химические, физико-механические, биологические и биохимические свойства и режимы почв [1, 8, И, 13, 14, 16].

Изменение показателей плодородия почвы — длительный процесс, на который оказывает влияние сельскохозяйственная деятельность человека. Поэтому научно обоснованная оценка действия длительного применения удобрений, известкования и севооборота на плодородие почвы и продуктивность полевых культур приобретает исключительное теоретическое и практическое значение в современных условиях сель-

ского хозяйства. Решение этой проблемы с большей достоверностью возможно в условиях длительных стационарных опытов.

Методика

Исследования проводили в длительном полевом опыте ТСХА, заложенном в 1912 г. А. Г. Дояренко. Схема опыта и почвенные условия изложены в [7]. Образцы почв отбирались из слоя почвы 0—20 см в начале, середине и конце вегетации полевых культур. Содержание в почве общего углерода определяли по И. В. Тюрину (в модификации ЦИНАО) с фотокolorиметрическим окончанием (ГОСТ 26213-84), подвижных форм фосфора и обменного калия — по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26207-84), водопрочность структуры почвы — на приборе И. М. Бакшеева, плотность почвы — объемно-весовым методом с использованием бура объемом 400 см³. Урожайность полевых культур учитывали поделяночно сплошным методом.

Результаты

Количественные и качественные изменения органического вещества определяются в основном двумя взаимно противоположными процессами — синтезом и

разложением. В естественных условиях эти процессы находятся в равновесии, и каждая почва характеризуется определенным и довольно длительно сохраняющимся уровнем содержания органического вещества. Деятельность человека изменяет природное и относительно устойчивое равновесие. Характер и направленность этого изменения определяется интенсивностью и особенностями используемых технологических приемов.

В наших исследованиях общее содержание органического вещества в почве, а также его качественное состояние широко варьировало в зависимости от вариантов опыта (табл. 1). Парование дерново-подзолистой почвы в течение 85 лет обусловило резкое снижение ее гумусированности. Этот вывод вытекает из сравнения наших данных с данными, опубликованными в [6, 10]. В почве пара по сравнению с почвой бессменных посевов и севооборота органического вещества содержится на 48-130% меньше из-за отсутствия поступления растительных остатков и корневых выделений. Темпы снижения гумусированности почвы при длительном паровании, на основе литературных данных [3, 5, 6, 10, 12] и результатов исследований,

Таблица 1

Влияние бесменных культур и севооборота на содержание общего и лабильного органического вещества почвы в слое 0-20 см без применения удобрений (1997)

Вариант опыта	Общий углерод, С%	Содержание углерода в вытяжке			
		щелочной		водной	
		мг/кг	% от С _{общ}	мг/кг	% от С _{общ}
1. Бесменно (пар)	0,48	1120,0	23,4	11,3	0,24
2. Оз. рожь	1,04	2160,0	20,8	47,7	0,46
3. Ячмень	0,98	2076,6	21,2	37,0	0,38
4. Клевер	1,07	2346,7	21,9	59,9	0,56
5. Картофель	0,67	1453,3	21,7	30,1	0,45
6. Севооборот	0,84	2103,3	25,0	39,9	0,48

проведенных нами в 1997 г., значительно замедляются. По мнению М. Korschens [17], уменьшение содержания гумуса происходит до определенного уровня, при котором процессы минерализации в парующей почве затухают, и затем устанавливается динамическое равновесие между синтезом и разложением органического вещества.

В наших исследованиях стабилизация указанных выше процессов отмечается на уровне 0,4~0,5%С. Под бесменными культурами по сравнению с паром содержание общего углерода и лабильного органического вещества значительно выше. Однако культуры не способны предотвратить снижение содержания гумуса в почве при длительном ее сельскохозяйственном использовании. Это прослеживается при сравнении наших

результатов с исходным содержанием органического вещества (1,20%С), рассчитанным В. Е. Егоровым [6] на основе интерполирования данных ряда определений.

Среди полевых культур наименьшие темпы снижения гумусированности почвы обеспечивает клевер. Выращивание его бесменно способствует и наибольшему накоплению лабильного органического вещества. Озимая рожь незначительно уступает многолетним травам по содержанию подвижных форм. Ячмень способствует поддержанию органического вещества в почве на уровне около 1%С. По содержанию подвижных форм органического вещества ячмень уступает озимым зерновым культурам только по водорастворимой фракции. В почве под картофелем содержание об-

Г

щего органического вещества на 35,5—37,0% ниже, чем под культурами сплошного посева. Это объясняется более высокой минерализационной способностью почвы при поддержании ее в рыхлом состоянии.

В почве плодосменного севооборота гумусированность почвы находится на уровне 0,84%С, что ближе всего соответствует варианту бессменного ячменя. Более высокая трансформационная функция органического вещества почвы в севообороте обеспечивается полями пара и картофеля.

Значительный интерес представляет оценка дей-

ствия культуры на баланс органического вещества на фоне проявления других факторов. В табл. 2 приведены данные о среднем содержании органического вещества в почве под культурами по всем изучаемым вариантам удобрений.

Бессменные культуры по действию на содержание общего органического вещества и его лабильной фракции расположились в следующем порядке: клевер > озимая рожь > ячмень > картофель > бессменный пар. Озимая рожь и клевер способны при длительном бессменном выращивании поддерживать гумусированность почвы в сред-

Т а б л и ц а 2

Содержание общего и лабильного органического вещества почвы под бессменными культурами и в пару при применении удобрений в слое 0-20 см (1997 г.)

Культура опыта	Общий углерод, С%	Содержание углерода в вытяжке			
		щелочной		водной	
		мг/кг	% от С _{общ}	мг/кг	% от С _{общ}
1. Пар (бессменно)	<u>0,52</u>	<u>1061,7</u>	<u>20,4</u>	<u>17,9</u>	<u>0,34</u>
2. Оз. рожь	<u>1,22</u>	<u>2051,9</u>	<u>16,8</u>	<u>57,8</u>	<u>0,47</u>
	1,19	965,0	8,1	48,4	0,41
3. Ячмень	<u>1,02</u>	<u>2163,0</u>	<u>21,2</u>	<u>45,3</u>	<u>0,44</u>
	1,06	862,8	8,1	37,0	0,35
4. Клевер	<u>1,16</u>	<u>2395,3</u>	<u>20,6</u>	<u>69,5</u>	<u>0,60</u>
	1,24	1196,6	9,7	54,9	0,44
5. Картофель	<u>0,74</u>	<u>1486,6</u>	<u>20,1</u>	<u>34,6</u>	<u>0,47</u>
	0,80	804,9	10,1	31,7	0,40

П р и м е ч а н и е . В числителе — без извести, в знаменателе — по извести.

нем на уровне 1,2%С. Под ячменем содержание органического вещества составляет около 1,0%С. В связи с этим следует отметить способность культур сплошного посева при достаточном обеспечении их элементами минерального питания сохранять высокую гумусированность почвы. Под картофелем даже на фоне применения удобрений уровень содержания органического вещества невысок (0,78—0,8%С). В пару происходят незначительные изменения гумусированности почвы по сравнению с контрольным вариантом.

Содержание щелочерастворимой фракции органического вещества под культурами, примерно, одинаково. Без применения извести оно находится в пределах 20-22%, по извести — 8—10% общего углерода.

Влияние культур на водорастворимую часть органического вещества такое же, как на содержание общего углерода.

Дерново-подзолистые почвы, по мнению М. М. Кононовой [8], характеризуются ускоренным циклом процессов синтеза — разрушения гумусовых веществ. В этой связи создание в пахотных дерново-подзолистых почвах благоприятного режима органического вещества — практически весьма трудная задача. Среди агротехнических

мероприятий одно из важных мест в данном случае отводится удобрениям.

О количественных и качественных изменениях органического вещества в зависимости от применения различных элементов питания можно судить по данным табл. 3.

Внесение отдельных элементов минерального питания оказывало несущественное влияние на содержание органического вещества. Это обусловлено тем, что основным источником образования гумуса почвы являются растительные остатки, масса которых из-за низкого урожая была небольшой. Двойное сочетание элементов питания способствовало повышению количества органического вещества, но незначительно, хотя в вариантах НК и РК оно достигало 0,10-0,16%С. Наибольшее увеличение органического вещества отмечается при тройном сочетании элементов питания растений. В вариантах с NPK по сравнению с вариантами без удобрений различия составили 0,23~0,24%С. Однако в сравнении с исходными данными (по В. Е. Егорову, [6]) в почве при применении исключительно минеральных удобрений процессы минерализации гумуса преобладают над синтезом или, в случае с NPK, уравниваются.

Длительное унавоживание дерново-подзолистой почвы

Т а б л и ц а 3

Влияние длительного применения удобрений на содержание общего и лабильного органического вещества почвы, 1997 г.
(средние по всем культурам)

Вариант удобрения	Общий угле- род, C _{общ} %	Содержание углерода в вытяжке			
		щелочной		водной	
		мг/кг	% от C _{общ}	мг/кг	% от C _{общ}
1. Без удобрений	0,92	2028,0	22,0	42,9	0,47
	0,96	946,0	9,9	37,8	0,39
2. N	0,96	2347,0	24,9	44,2	0,46
	0,99	1185,0	12,0	39,5	0,40
3. P	0,90	1923,0	21,4	43,9	0,49
	0,91	1021,0	11,2	37,5	0,41
4. K	0,87	1931,0	22,2	40,6	0,47
	0,96	981,0	10,2	37,8	0,39
5. NP	0,96	2430,0	25,3	52,7	0,55
	1,05	1153,0	11,0	41,1	0,39
6. NK	1,06	2567,0	24,2	50,7	0,48
	1,06	1199,0	11,3	41,9	0,40
7. PK	1,08	1900,0	17,6	51,8	0,48
	1,02	1000,0	9,8	40,4	0,40
8. NPK	1,16	1927,0	16,2	59,7	0,51
	1,19	1132,0	9,5	48,6	0,41
9. NPK + навоз	1,25	1802,0	14,4	67,8	0,54
	1,26	929,0	7,4	57,0	0,45

П р и м е ч а н и е . В числителе — без известки, в знаменателе — по известки.

обеспечивает не только сокращение потерь органического вещества, но и значительное накопление его сверх исходного уровня. Это проявление прямого положительного эффекта от навоза отмечалось и на фоне минеральных удобрений. По сравнению с NPK совместное использование NPK и навоза дало увеличение содержания органического вещества на 0,1%.

Известкование оказывало незначительное влияние на воспроизводство гумуса почвы

Лабильная часть органического вещества, которая может служить ближайшим резервом минерального питания растений, также претерпевает изменение. Одним из ее составляющих является водорастворимая фракция — наиболее подвижная и изменчивая группа соедине-

ний. При длительном применении минеральных удобрений содержание водорастворимого органического вещества зависело от степени гумусированности почвы. Установленный нами коэффициент корреляции ($r = 0,839$) свидетельствует о наличии тесной положительной зависимости между этими показателями.

Применение извести способствовало некоторому снижению содержания водорастворимой фракции органического вещества. Однако в других опытах [2] максимальное накопление водорастворимого органического вещества наблюдалось в почве с нейтральной реакцией среды.

Составной частью лабильного органического вещества является группа соединений, извлекаемая из почвенного раствора 0,1 и раствором щелочи. Количественные ее изменения от применяемых удобрений варьируют значительно. Наибольшее содержание щелочерастворимого органического углерода наблюдалось в почве при применении азота как отдельно, так и при двойном сочетании с P и K. В варианте NPK и NPK + навоз показатель был значительно меньше, чем в других вариантах.

Известкование снижало содержание щелочерастворимой фракции органического вещества почти в 2 раза

по всем вариантам удобрения относительно неизвесткованного фона. Следовательно, на подвижность данной группы соединений органического вещества оказывает влияние кислотность почвы. Это подтверждает тот факт, что количество щелочерастворимого углерода в вариантах NPK и NPK + навоз несколько ниже, чем в контроле. Основное действие здесь проявляет реакция почвенного раствора, поэтому известь и вызывает резкое снижение подвижности углерода. Органические удобрения способны уменьшить кислотность почвы. В нашем случае при использовании навоза происходило увеличение pH с 3,67—4,00 до 4,50-5,63.

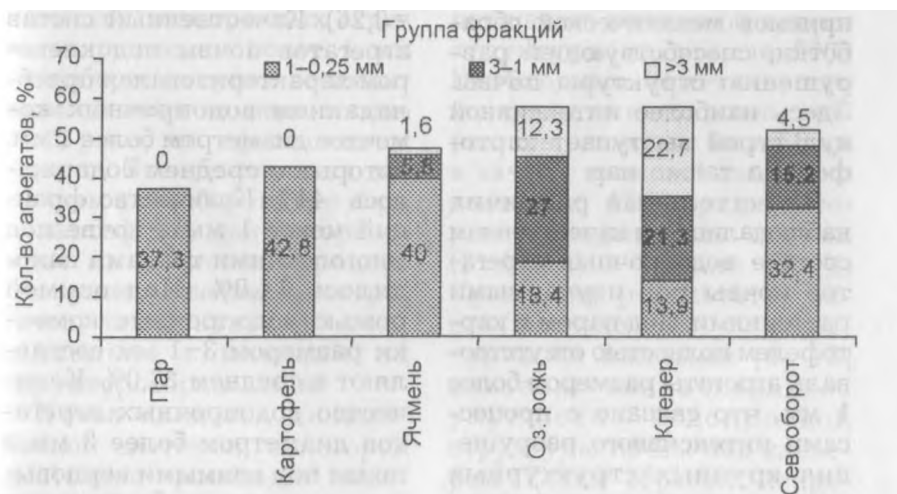
Определение коэффициентов корреляции между кислотностью почвы (pH) и содержанием углерода в щелочной вытяжке позволило установить тесную связь между ними. Так, в бессменных посевах коэффициент корреляции составил -0,85, в севообороте — -0,91. Таким образом, реакция почвенного раствора является одним из решающих факторов, влияющих на содержание лабильного органического вещества в пахотных почвах.

Структура почвы в значительной мере определяет агрофизическое состояние плодородия почвы. В процессе ее структурообразования

принимают участие многие факторы, но первостепенное значение имеют органическое вещество и биологические процессы, протекающие в почве [9]. Кроме того, механическая прочность и водопрочность агрегатов могут зависеть от химических процессов при изменении водно-воздушного и температурного режимов почвы (просушивание и промораживание), которые определяются погодными условиями. Это отражается на динамике структурного состояния почвы.

Поскольку биологический фактор (поступление растительных остатков, продуктов выделительной деятельности растений и микробиологического синтеза) играет решающую роль в создании водо-

прочной структуры, необходимо прежде всего определить влияние культуры на структурное состояние почвы. Из рисунка видно, что длительное время в парующей почве содержится наименьшее количество водопрочных макроагрегатов. Без применения удобрения лучшую структуру имеет почва под многолетними травами и озимой рожью. Количество водопрочных агрегатов более 0,25 мм под этими культурами достигает 58%. Под ячменем и картофелем водопрочность почвенных агрегатов составляет 47,4 и 42,8%. Возделывание полевых культур в севообороте в сравнении с бессменным выращиванием показывает, что содержание комочков, устойчивых к раз-



Водопрочность почвенных агрегатов под бессменными культурами и в севообороте (без удобрений)

рушающему действию воды, в нем выше, чем под яровыми зерновыми и пропашными культурами, но ниже, чем под многолетними травами и озимой рожью. Возможно, на такое изменение почвенной структуры оказывают влияние биологические особенности полевых культур и способы их выращивания. Многолетние травы занимают поле весь год, а озимые зерновые хлеба — 11 мес. в году, что способствует снижению разрушающего воздействия физических факторов. Ячмень и картофель подобную защиту обеспечивают только 4—5 мес. в год. Важное место среди биологических особенностей имеет и технология выращивания, сопровождающаяся применением различных по интенсивности и количеству приемов механической обработки, способствующей разрушению структуры почвы. Здесь наиболее интенсивной культурой выступает картофель, а также пар.

Значительные различия наблюдались и в качественном составе водопрочных агрегатов почвы под изучаемыми растениями. Под паром и картофелем полностью отсутствовали агрегаты размером более 1 мм, что связано с процессами интенсивного разрушения крупных структурных комочков и их неустойчивостью противостоять этому воздействию вследствие невысо-

кого содержания органического вещества в почве под этими культурами. Для установления влияния различных фракций органического вещества на водопрочность агрегатов почвы нами рассчитаны коэффициенты корреляции между водопрочностью и содержанием общего углерода, углеродом щелочной вытяжки и углеродом водной вытяжки. Выявлена сильная коррелятивная связь между водопрочностью и содержанием органического вещества, где коэффициент корреляции составил 0,91. Такая же тесная связь была между изучаемым показателем и углеродом водной вытяжки — 0,83. Связь между углеродом щелочной вытяжки и водопрочностью агрегатов почвы была слабой ($r = 0,26$). Качественный состав агрегатов почвы под клевером характеризовался преобладанием водопрочных комочков диаметром более 1 мм, которых в среднем содержалось 44%. Количество фракций менее 1 мм в почве под многолетними травами находилось 14,0%. Под озимой рожью водопрочные комочки размером 3-1 мм составляют в среднем 27,0%. Количество водопрочных агрегатов диаметром более 3 мм в почве под озимыми зерновыми культурами было около 12,3%. По сравнению с клевером озимая рожь способст-

вовала все-таки меньшему образованию агрономически ценных агрегатов. В почве под ячменем водопрочных агрегатов диаметром более 3 мм было меньше, чем под многолетними травами и озимой рожью. Общее их количество не превышало 8,0%. В почве под ячменем основную массу структурных комочков составляли эрозионно неустойчивые агрегаты. Поэтому выращивание однолетних полевых культур сопровождается разрушением структуры и ухудшением физических свойств почвы.

В севообороте представлены культуры, как улучшающие структурное состояние почвы, так и ухудшающие его. При научно обоснованном чередовании культур по количеству водопрочных агрегатов размером более 1 мм севооборот уступал бессменным посевам клевера и озимой ржи, но превосходил ячмень. Это объясняется наличием в севообороте как пара и картофеля, под которыми идет интенсивный процесс разрушения почвенных агрегатов, так и культур, положительно влияющих на структурообразование.

Почва является динамической системой, в которой постоянно происходят изменения. Структура почвы как неотъемлемая часть этой системы также претерпевает

различные изменения. В связи с этим представляет интерес изучение динамики содержания водопрочных агрегатов по различным фракциям в течение вегетационного периода.

Наблюдения за динамикой агрегатного состояния почвы в 1996-1998 гг. показали, что к началу весенней вегетации структура ее под различными полевыми культурами и паром различалась значительно (табл. 4). Водопрочность структуры почвы пара была наименьшей. Водопрочные агрегаты представлены размером 1-0,25 мм, которые являются эрозионно опасными, особенно в пару. Бессменное возделывание многолетних трав в течение 86 лет способствовало поддержанию почвенной макроструктуры на уровне 60%. Необходимо отметить, что содержание водопрочных агрегатов размером более 1 мм к началу весенней вегетации достигало 42%, среди которых агрономически ценных (3-1 мм) — около 25,0%. Сравнение результатов наших исследований с литературными данными [5, 15] показало незначительное ухудшение водопрочной структуры почвы под клевером. Таким образом, непрерывное возделывание многолетних трав даже без применения удобрений способст-

Таблица 4

Водопрочность структуры почвы (%) при длительном применении бесменных культур, севооборота, удобрений и известкования в весенний период (средняя за 1996-1998 гг.)

Вариант удобрения	Фракция, мм	Пар бес-смен-но	Бесменные культуры				Сево-оборот
			оз. рожь	яч-мень	кле-вер	карто-фель	
1. Без удобрений	>3	0	7,4	0	16,6	0	3,8
	3-1	0	29,2	0	25,1	0	9,4
	1-0,25	38,7	20,9	42,9	16,4	40,8	39,6
	Всего	38,7	57,5	42,9	58,1	40,8	52,8
2. Известь	>3	—	6,6	0	17,5	0	0,5
	3-1	—	19,2	1,6	27,5	0	11,4
	1-0,25	—	28,0	43,8	14,8	41,6	42,9
	Всего	—	53,8	45,4	59,8	41,6	54,8
3. NPK	>3	0	15,3	0	15,0	0	0,5
	3-1	0	28,5	2,8	26,9	0	4,1
	1-0,25	36,1	15,9	45,8	19,7	44,9	47,7
	Всего	36,1	59,7	48,6	61,6	44,9	52,9
4. NPK + известь	>3	—	14,9	0	15,8	0	1,5
	3-1	—	29,0	4,1	33,6	0,6	13,0
	1-0,25	—	15,2	42,9	12,6	44,2	43,4
	Всего	—	59,1	47,0	62,0	44,8	57,9
5. NPK + навоз	>3	0	21,2	1,5	19,7	0	1,7
	3-1	0	25,3	15,9	27,2	0	14,9
	1-0,25	37,6	13,6	35,0	16,1	45,5	40,9
	Всего	37,6	60,1	52,4	63,0	45,5	57,5
6. NPK + навоз+ + известь	>3	—	15,2	7,6	23,6	0	1,8
	3-1	—	27,4	27,2	28,7	0	20,3
	1-0,25	—	18,2	20,6	12,3	46,9	37,8
	Всего	—	60,8	55,4	64,6	46,9	59,9

вует поддержанию почвы в хорошем структурном состоянии.

Почва под бесменными озимой рожью и многолетними травами в начале вегетационного периода по водопрочности структуры была одинаковой. При этом агре-

гатов размером от 1 до 3 мм в почве под озимой рожью было около 30,0%. В почве под ячменем и картофелем содержание водопрочных агрегатов поддерживалось всего лишь на уровне 40-43%. Структурные комочки размером более 1 мм, устойчи-

вые к разрушающему действию воды, не обнаружены. Поэтому почва при использовании ее длительное время под яровыми зерновыми и пропашными культурами без применения удобрений теряет часть своей структуры и чаще подвержена воздействию водной эрозии. Чередование полевых культур в севообороте улучшает почвенную структуру относительно вариантов бессменных ячменя и картофеля. Наши данные показали, что количество водопрочных макроагрегатов в почве севооборота было на уровне 53%. Среди них присутствовали агрегаты различных фракций.

В середине вегетационного периода растений по сравнению с весной водопрочность структуры почвы изменилась (табл. 5), особенно под яровым ячменем. Наблюдался рост общего числа водопрочных агрегатов в вариантах без удобрений и по извести (до 9—14%), NPK и NPK + известь (до 8—10%), причем в основном вследствие увеличения количества частиц крупнее 1 мм, в то время как масса агрегатов, относящихся к эрозионно опасной группе, в почве контрольных вариантов оставалась почти неизменной. Однако под озимой рожью и клевером отмечался незначительный рост содержания макроагрегатов (2—5%). Неко-

торые изменения наблюдались под картофелем и паром. В парующей почве незначительно возростал данный показатель в варианте NPK + навоз.

К концу вегетационного периода отмечено уменьшение водопрочности агрегатов почвы под ячменем, клевером и озимой рожью, а также в севообороте в среднем на 2-5% (табл. 6). В пару структурное состояние не изменилось, а под картофелем увеличилось содержание водопрочных комочков в контрольных вариантах. Размер водопрочных агрегатов почти не изменился. В отдельных вариантах наблюдалось некоторое увеличение почвенных комочков более 1 мм, в других, наоборот, — незначительное уменьшение, которое сопровождалось увеличением доли фракции менее 1 мм. В целом же снижение водопрочности агрегатов происходило за счет уменьшения количества комочков, относящихся к фракциям более 3 и 3—1 мм.

Улучшение структурного состояния почв зависит не только от культурных растений, но и от удобрений. Минеральные удобрения незначительно повышали водопрочность агрегатов под всеми культурами. Однако они способствовали укрупнению структурных комочков в почве под озимой рожью и

Таблица 5

Водопрочность структуры почвы (%) при длительном применении бессменных культур, севооборота и удобрений в середине вегетации культур (средняя за 1996-1998 гг.)

Вариант удобрения	Фракция, мм	Пар бессменно	Бессменные культуры				Севооборот
			оз. рожь	ячмень	клевер	картофель	
1. Без удобрений	>3	0	16,9	3,0	27,3	0	6,4
	3-1	0	27,7	8,7	19,8	0	18,7
	1-0,25	36,8	18,7	40,2	13,3	42,1	28,5
	Всего	36,8	59,3	51,9	60,4	42,1	53,6
2. Известь	>3	—	8,2	4,2	33,5	0	4,4
	3-1	—	28,5	13,8	17,9	0	20,4
	1-0,25	—	22,8	38,0	10,8	41,3	31,1
	Всего	—	59,5	56,0	62,2	41,3	55,9
3. NPK	>3	0	23,3	5,0	24,4	0	3,2
	3-1	0	22,1	18,8	23,0	0	5,3
	1-0,25	38,0	15,3	32,7	16,4	47,1	45,4
	Всего	38,0	60,7	56,5	63,8	47,1	53,9
4. NPK + известь	>3	—	22,9	9,2	22,7	0	3,5
	3-1	—	22,6	21,1	28,2	0	16,0
	1-0,25	—	16,0	26,0	12,7	50,3	39,0
	Всего	—	61,5	56,3	63,6	50,3	58,5
5. NPK + навоз	>3	0	21,3	10,6	19,5	0	3,7
	3-1	0	26,4	21,1	28,9	0,4	18,1
	1-0,25	43,4	14,2	26,0	14,9	50,1	36,1
	Всего	43,4	61,9	57,7	63,3	50,5	57,9
6. NPK + навоз+ + известь	>3	—	17,6	16,3	25,6	0	5,7
	3-1	—	26,6	25,2	28,4	0,8	32,5
	1-0,25	—	17,8	17,2	10,8	48,9	22,2
	Всего	—	62,0	58,7	64,8	49,7	60,4

клевером на делянках без применения извести. Следует при этом учесть, что агрегаты, образованные в почве на участках с применением минеральных элементов питания растений, отличались неустойчивостью к внешнему воздействию, что было замечено в варианте с

ячменем. Органические удобрения положительно влияли на структуру почвы, но величина эффекта была связана с дозой навоза. В нашем опыте использование органических удобрений совместно с минеральными приводило к небольшому росту водопрочности агрегатов почвы

Таблица 6

Водопрочность структуры почвы (%) при длительном применении бесменных культур, севооборота, удобрений и известкования в конце вегетации растений (средняя за 1996-1998 гг.)

Вариант удобрения	Фракция, мм	Пар бес-смен-но	Бесменные культуры				Сево-оборот
			оз.рожь	яч-мень	кле-вер	карто-фель	
1. Без удобрений	>3	0	12,5	1,9	24,9	0	3,1
	3-1	0	28,1	8,5	18,9	0	17,5
	1-0,25	36,4	15,8	37,1	12,2	45,4	29,3
	Всего	36,4	56,4	47,5	55,4	45,4	49,9
2. Известь	>3	—	12,4	2,6	26,1	0	3,3
	3-1	—	22,5	11,9	18,9	0	14,9
	1-0,25	—	21,3	36,3	11,9	47,2	33,4
	Всего	—	56,1	50,8	56,9	47,2	51,6
3. NPK	>3	0	15,5	7,3	18,2	0	4,2
	3-1	0	26,2	19,0	22,6	0	11,6
	1-0,25	38,0	17,2	37,1	16,9	48,1	36,2
	Всего	38,0	58,9	53,4	57,7	48,1	52,0
4. NPK + известь	>3	—	12,2	7,9	20,6	0	4,6
	3-1	—	26,8	22,0	20,8	0,5	16,3
	1-0,25	—	19,6	24,0	16,4	48,7	34,0
	Всего	—	58,6	53,9	57,8	49,2	54,9
5. NPK + навоз	>3	0	21,8	10,1	20,1	0	4,5
	3-1	0	25,9	22,5	20,4	1,0	17,9
	1-0,25	40,7	13,0	23,8	17,5	47,6	34,1
	Всего	40,7	60,7	56,4	58,0	48,6	56,5
6. NPK + навоз+ + известь	>3	—	19,6	11,7	24,1	0,3	5,8
	3-1	—	27,5	28,6	23,8	1,7	26,1
	1-0,25	—	12,5	17,4	11,7	48,0	26,6
	Всего	—	59,6	57,7	59,6	50,0	58,5

под всеми культурами и в пару, что, по-видимому, связано с небольшой нормой навоза (20 т/га). Но необходимо отметить, что навоз способствовал укрупнению агрегатов, особенно в почве под ячменем, где доля структурных комочков размером более 1 мм была в начале вегета-

ционного периода на 17,4% выше по сравнению с контролем, а на фоне извести — больше на 34,8%. Применение навоза способствовало не только росту общей водопрочности агрегатов, но и их перераспределению между группами фракций (уменьшению содержания комочков

размером менее 1 мм и увеличению фракций более 1 мм). Это происходило под бесменными посевами клевера и озимой ржи, а также в севообороте. Известкование дерново-подзолистой почвы не оказало существенного влияния на ее структуру. В отдельных вариантах увеличивалось количество агрегатов, в других, наоборот, — снижалось. Подобная ситуация складывалась и при влиянии известки на их размер.

В целом же оценка динамики агрегатного состояния почвы показала, что от весны к осени идет незначительное увеличение содержания водопрочных агрегатов. Поэтому водопрочность почвы, обусловленная содержанием гумуса, наиболее устойчива. Агрегаты, образованные в период вегетации под действием биологических и физических процессов, протекающих в почве, очень динамичны и, в первую очередь, распадаются при неблагоприятных условиях, способствуя тем самым быстрому уплотнению почвы, снижению водопроницаемости, образованию корки. Среди неустойчивых частиц наибольшему распылению подвержены комочки размером более 3 мм, в меньшей — наиболее агрономически ценные агрегаты (3-1 мм).

Одним из показателей структурного состояния почв

является коэффициент структурности (K), который определяется как отношение массы агрегатов размером 7—0,25 мм к сумме агрегатов более 7 и менее 0,25 мм. Динамика коэффициента структурности показала значительное его варьирование в течение вегетационного периода и зависела от возделывания культуры и применяемых удобрений (табл. 7). Влияние изучаемых факторов на K наиболее четко проявилось к началу весенней обработки почвы. Максимальный коэффициент структурности наблюдался под клевером, где его значение было 1,25-1,57. Под озимой рожью K находился на уровне 1,17-1,44. Такое изменение коэффициента структурности указывает на преобладание в структуре почвы агрономически ценных агрегатов и оптимизацию агрофизического состояния почвы. Коэффициент структурности почвы под ячменем составил 0,75—1,21, под картофелем — 0,69-0,87, в пару — 0,57-0,63. Под этими культурами формируются почвенные агрегаты, которые характеризуются низкой водопрочностью комочков.

В севообороте K был выше единицы, что свидетельствует о положительной роли чередования полевых культур в структурообразовании почв, сопровождающемся

Таблица 7

**Динамика коэффициента структурности (К) почвы
под полевыми культурами в севообороте и бессменных посевах
при применении удобрений и извести (1996-1998 гг.)**

Вариант удобрения	Пар бес- сменно	Бессменные культуры				Сево- обо- рот
		оз. рожь	яч- мень	кле- вер	карто- фель	
<i>Весней, до обработки почвы</i>						
1. Без удобрений	0,63	1,31	0,75	1,25	0,69	1,06
2. Известь	—	1,17	0,84	1,41	0,71	1,22
3. NPK	0,57	1,37	0,95	1,48	0,82	1,10
4. NPK + известь	—	1,34	0,89	1,55	0,81	1,37
5. NPK + навоз	0,61	1,34	1,10	1,52	0,83	1,33
6. NPK + нав. + изв.	—	1,44	1,21	1,57	0,87	1,48
<i>Середина вегетации</i>						
1. Без удобрений	0,59	1,33	1,06	1,20	0,73	1,15
2. Известь	—	1,44	1,28	1,22	0,71	1,27
3. NPK	0,62	1,25	1,30	1,37	0,89	1,16
4. NPK + известь	—	1,30	1,27	1,51	1,01	1,39
5. NPK + навоз	0,77	1,39	1,30	1,49	1,02	1,35
6. NPK + нав. + изв.	—	1,42	1,32	1,50	0,98	1,49
<i>Конец вегетации</i>						
1. Без удобрений	0,58	1,25	0,91	1,08	0,84	1,00
2. Известь	—	1,22	1,03	1,02	0,90	1,07
3. NPK	0,61	1,32	1,15	1,15	0,93	1,06
4. NPK + известь	—	1,35	1,16	1,20	0,97	1,18
5. NPK + навоз	0,69	1,34	1,25	1,18	0,95	1,29
6. NPK + нав. + изв.	—	1,33	1,32	1,15	1,00	1,38

улучшением качественного состояния водопрочных комочков. К середине вегетационного периода **К** увеличился под ячменем на 0,11 0,44, а под картофелем, в пару и в севообороте его увеличение было незначительным. Почва под клевером имела **К** на уровне весеннего срока определения. Под озимой рожью увеличение **К** наблюдалось только в вари-

анте с применением извести.

В конце вегетации наблюдались значительные изменения структурного состояния почвы и прежде всего отмечалось уменьшение количества агрономически ценных агрегатов. Это способствовало снижению **К** на делянках бессменного ячменя и клевера, а также в севообороте, особенно в неудоб-

ренных вариантах (на 0,11 — 0,35). Почва под озимой рожью сохранила структурное состояние на уровне середины вегетации растений. Снижение К было отмечено только в вариантах без удобрений и извести. На участке, где возделывали бессменно картофель, коэффициент структурности к концу вегетации был на уровне значений середины вегетации.

Минеральные удобрения способствовали повышению коэффициента структурности в среднем на 0,1, а совместное внесение NPK и навоза — на 0,2.

Вопрос о плотности почв как интегральном показателе физических условий плодородия в настоящее время приобретает все более актуальное значение. Параметры плотности почвы необходимы для оценки оптимизации сложения пахотного слоя в различных системах земледелия.

Оптимальное строение пахотного слоя почвы не находится в статическом состоянии. Оно, как и любая динамическая система, стремится к равновесному состоянию. Поэтому агрофизические свойства почвы изменяются как в течение вегетации растений, так и при различном сельскохозяйственном использовании.

Влияние изучаемых факторов на плотность почвы наиболее четко проявилось

к началу весенней обработки (табл. 8). Так, весной наибольшее уплотнение почвы было отмечено под паром. Это связано с уменьшением содержания органического вещества в почве пара, поскольку в течение длительного времени единственным энергетическим источником для микроорганизмов являлся гумус. Плотность почвы в пару за осенний, зимний и весенний периоды достигала значения, близкого к равновесному (1,60-1,70 г/см³).

Без применения удобрений почва под сельскохозяйственными культурами уплотнялась до 1,30—1,51 г/см³. Среди бессменных культур наибольшее уплотняющее действие на почву оказывал картофель, который в период вегетации подвергается междурядным обработкам. Механическая обработка почвы способствует разрушению почвенных агрегатов и активизации биологической деятельности почвы, приводя к снижению содержания гумуса. При этом следует отметить, что любое рыхление почвы хотя и увеличивает общую пористость, водо- и воздухопроницаемость, но не в состоянии восстановить утраченную при уплотнении пористость почвенных агрегатов и поэтому не может полностью устранить негативные последствия переуплотнения.

Таблица 8

Плотность почвы (г/см³) при длительном применении
бесменных культур, севооборота, удобрений и извести
(средняя за 1996-1998 гг.)

Вариант удобрения	Пар бес- сменно	Бесменные культуры				Сево- обо- рот
		оз. рожь	яч- мень	кле- вер	карто- фель	
<i>Весной, до обработки почвы</i>						
1. Без удобрений	1,64	1,30	1,42	1,39	1,51	1,48
2. Известь	—	1,38	1,43	1,35	1,49	1,45
3. NPK	1,62	1,36	1,34	1,37	1,48	1,41
4. NPK + известь	—	1,35	1,35	1,32	1,42	1,38
5. NPK + навоз	1,56	1,30	1,34	1,32	1,42	1,35
6. NPK + нав. + изв.	—	1,33	1,33	1,28	1,38	1,35
<i>Середина вегетации</i>						
НСР ₀₅ 0,08 г/см ³						
1. Без удобрений	1,39	1,49	1,41	1,48	1,53	
2. Известь	—	1,45	1,50	1,39	1,50	1,49
3. NPK	1,55	1,36	1,40	1,38	1,39	1,48
4. NPK + известь	—	1,36	1,38	1,41	1,49	1,45
5. NPK + навоз	1,51	1,34	1,33	1,40	1,39	1,41
6. NPK + нав. + изв.	—	1,36	1,35	1,37	1,37	1,41
<i>Конец вегетации</i>						
НСР ₀₅ 0,12 г/см ³						
1. Без удобрений	1,55	1,45	1,51	1,41	1,37	1,44
2. Известь	—	1,48	1,49	1,37	1,40	1,41
3. NPK	1,55	1,37	1,48	1,40	1,37	1,44
4. NPK + известь	—	1,43	1,46	1,38	1,37	1,41
5. NPK + навоз	1,55	1,35	1,44	1,39	1,32	1,38
6. NPK + нав. + изв.	—	1,37	1,40	1,36	1,32	1,39
НСР ₀₅ 0,08 г/см ³						

Различия в плотности почвы под клевером и ячменем без применения удобрений находились в пределах ошибки опыта. Под клевером плотность почвы достигала своего равновесного значения и мало изменялась. Как указывал П. А. Вершинин [4], «...с одной стороны, корневые системы растений механически разделяют почвенную

массу на макроагрегаты, с другой стороны, поглощая воду с силой, превышающей 2,5 МПа, корневые системы являются мощным энергетическим фактором, способствующим сближению частиц почвы, если не равнозначных по силе барьеров, препятствующих этому процессу». Плотность почвы под ячменем, как культурой, при

возделывании которой ежегодно проводится обработка почвы, к началу вегетации приближается к равновесному значению (1,55 г/см³). Минимальное уплотнение почвы отмечено под озимой рожью. Плотность почвы в севообороте была ближе к варианту бессменного картофеля, что, по-видимому, связано с наличием в нем

2 полей, которые интенсивно обрабатываются сельскохозяйственными орудиями. Плотность почвы под различными культурами в значительной степени зависит от ее структуры. Нами была установлена тесная отрицательная коррелятивная связь между показателями плотности почвы и водопрочностью агрегатов ($r = -0,85$). Это, по-видимому, существенно сказывается на изменении параметров плотности почвы.

В середине вегетации полевых культур в сравнении с весенним определением почва уплотнилась почти под всеми культурами и в контрольных вариантах, и на фоне удобрений. Почва уплотнялась под озимой рожью и ячменем на 0,09—0,07 г/см³.

В конце вегетационного периода плотность почвы снизилась только в севообороте. Уплотнение почвы на бессменных участках под озимой рожью и ячменем увеличилось.

Влияние периодического известкования на плотность почвы было не однозначным. Различия между неизвесткованным и известкованным фонами незначительны. В зависимости от удобрений и возделываемых культур показатель изменялся. Так, в начале вегетации плотность почвы была меньше на фоне известки под клевером и в отдельных вариантах под озимой рожью, картофелем и в севообороте. В середине вегетации различий между известкованным и неизвесткованным фонами не наблюдалось. Плотность почвы в конце вегетации на фоне известки была несколько меньше под клевером и в севообороте, в остальных вариантах различий не обнаружено. Применение минеральных и органических удобрений положительно повлияло на агрофизическое состояние почвы, что обусловлено увеличением органического вещества. Положительный эффект от удобрений проявлялся в течение вегетационного периода, но зависел от культуры и вида удобрения. Навоз способствовал снижению плотности почвы в начале и конце вегетации растений по сравнению с контролем, хотя это было установлено не во всех вариантах. Органические удобрения не только снижали плот-

ность почвы, но и способствовали более продолжительное время сохранению ее в рыхлом состоянии, особенно под картофелем. Положительный эффект от минеральных удобрений был меньше, чем от органических, и в большинстве случаев находился в границах ошибки опыта.

Таким образом, анализ структурного состояния показал, что в чистом пару перед весенней обработкой почвы водопрочность ее структуры не превышала 40%, а в бессменных культурах и в севообороте достигала 60%. Бессменные культуры по влиянию на водопрочность структуры можно расположить в следующем порядке: клевер > озимая рожь > ячмень > картофель. Водопрочность почвенных агрегатов в севообороте занимала промежуточное положение между бессменными озимой рожью и ячменем.

Водопрочные агрегаты в пару, под ячменем и картофелем имели размер менее 1 мм, а под озимой рожью и клевером более 1 мм составляли около 50%. Удобрения и известкование оказали незначительное влияние на изменение водопрочности структуры почвы. Однако навоз способствовал укрупнению структурных комочков.

Водопрочность макроструктуры почвы к середине вегетации имела тенденцию к увеличению и укрупнению по-

чвенных агрегатов под озимой рожью, клевером, ячменем и в севообороте. Однако агрегаты, образовавшиеся в вегетационный период, менее прочные и при неблагоприятных условиях распадаются в первую очередь.

Плотность дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы при длительном бесменном возделывании полевых культур без применения удобрений и известки ко времени весенней обработки устанавливалась на уровне 1,30—1,45 г/см³, а в бессменном пару — 1,60 г/см³, что способствует величине равновесной плотности. Культуры по влиянию на степень уплотнения почвы в бессменных посевах можно расположить в следующем порядке: картофель > ячмень > клевер > озимая рожь. Известкование и минеральные удобрения оказывали незначительное влияние на изменение плотности почвы. Навоз способствовал не только снижению плотности почвы, но поддерживал ее оптимальный параметр в течение длительного времени. В течение вегетации плотность почвы под зерновыми культурами увеличивалась как в бессменных посевах, так и в севообороте, а под клевером и картофелем изменения были менее выражены и обусловлены в основном снижением влажности почвы.

Длительное применение факторов интенсификации земледелия оказало различное влияние на содержание в почве элементов минерального питания растений. Так, под бессменными культурами без применения удобрений произошла дифференциация почв по содержанию подвижных форм фосфора (табл. 9). Наименьшее его количество было в почве под клевером, под зерновыми культурами — в 2-3 раза, в пару и под картофелем — в 4 раза больше, чем под клевером. В почве севооборота содержалось в 2 раза больше подвижного фосфора относительно варианта с клевером. Такие различия обусловлены выносом фосфора с урожаем и воздействием корневых выделений на труднодоступные соединения фосфора. Применение только азотных удобрений мало сказывалось на содержании подвижных форм фосфора по сравнению с неудобренной почвой.

Внесение фосфорных удобрений увеличивает запасы этого элемента в пахотном слое почвы. Наибольшее содержание подвижных форм фосфора было отмечено в почве варианта NPK + + навоз, и в зависимости от культуры показатель изменялся от 260 до 340 мг/кг почвы. Необходимо отметить, что в течение 85 лет в опыте было внесено с удоб-

рениями 6240 кг P_2O_5 и увеличение содержания подвижного фосфора было на 108,4—193,5 мг/кг почвы по сравнению с неудобренным фоном. Таким образом, на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве применение 62,4 кг фосфора способствовало повышению количества P_2O_5 на 10 мг/кг почвы. Известкование почвы мало отразилось на накоплении подвижного фосфора в почве не зависимо от культуры и варианта удобрения.

Интервал изменения содержания обменного калия в почве под различными культурами без применения удобрений значительно меньше, чем фосфора, и находился в пределах 38-85 мг/кг почвы (табл. 10). Наибольшее количество обменного калия сохранилось в почве пара. Под полевыми культурами его запасы находились в пределах 40—60 мг/кг почвы.

Существенное влияние на содержание калия оказывают удобрения. Варианты без удобрений и удобряемые азотом и фосфором отличались низким содержанием подвижного калия. При этом следует отметить несущественные различия между этими вариантами. Систематическое внесение калийных удобрений оказывало значительное положительное влияние на его запасы в почве. При их длительном примене-

Т а б л и ц а

**Содержание подвижных форм фосфора при длительном
применении севооборота, удобрений и извести, мг/кг почвы**
(среднее за 1996-1997 гг.)

Вариант удобрения	Пар бес- сменно	Бессменные культуры				Сево- обо- рот
		оз. рожь	яч- мень	кле- вер	карто- фель	
1. Без удобрений	<u>133,0</u> —	<u>83,0</u> 76,0	<u>57,8</u> 65,1	<u>30,6</u> 19,6	<u>144,3</u> 105,0	<u>61,2</u> 53,5
2. N	<u>131,0</u> —	<u>92,8</u> 79,0	<u>78,0</u> 73,8	<u>31,8</u> 24,5	<u>127,5</u> 103,8	<u>64,5</u> 41,2
3. P	<u>149,0</u> —	<u>170,5</u> 195,0	<u>222,5</u> 263,0	<u>158,5</u> 165,0	<u>176,3</u> 192,5	<u>133,0</u> 157,5
4. K	<u>78,0</u> —	<u>42,0</u> 69,8	<u>42,5</u> 55,0	<u>16,6</u> 38,2	<u>84,8</u> 96,3	<u>37,6</u> 35,1
5. NP	<u>228,0</u> —	<u>197,5</u> 183,0	<u>229,0</u> 247,8	<u>150,0</u> 154,0	<u>168,5</u> 187,2	<u>133,0</u> 169,0
6. NK	<u>195,0</u> —	<u>147,5</u> 95,0	<u>90,0</u> 92,0	<u>51,0</u> 50,5	<u>121,0</u> 137,0	<u>68,4</u> 57,7
7. PK	<u>284,0</u> —	<u>323,0</u> 287,5	<u>274,3</u> 311,3	<u>244,7</u> 213,3	<u>283,8</u> 277,0	<u>250,5</u> 219,2
8. NPK	<u>225,0</u> —	<u>255,3</u> 276,8	<u>267,3</u> 290,5	<u>266,8</u> 277,6	<u>222,5</u> 258,0	<u>187,0</u> 222,9
9. NPK + навоз	<u>302,0</u> —	<u>340,0</u> 337,5	<u>331,3</u> 363,0	<u>286,9</u> 267,5	<u>267,6</u> 323,0	<u>277,1</u> 293,7

П р и м е ч е н и е. В числителе — без извести, в знаменате-
ле — по извести.

нии содержание обменного калия возрастало на 50—260 мг/кг почвы. Наибольшее его количество в почве было отмечено в вариантах PK и NPK + навоз на известкованном и неизвесткованном фонах. Однако при внесении калийных удобрений не везде достигался оптимальный уровень его содержания в почве. Под зерновыми куль-

турами в вариантах PK и NPK + навоз в почве содержалось 200-250 мг K_2O /кг почвы, что соответствует оптимальному уровню. Во всех остальных вариантах, где применяли калийные удобрения, содержание подвижного калия было от среднего уровня до высокого (по Кирсанову). Оценка действия известкования дерново-под-

Т а б л и ц а 10

Влияние длительного возделывания бессменных культур и севооборота и применения удобрений и извести на содержание обменного калия, мг/кг почвы (среднее за 1996-1997 гг.)

Вариант удобрения	Пар бес-сменно	Бессменные культуры				Сево-обо-рот
		оз. рожь	яч-мень	кле-вер	карто-фель	
1. Без удобрений	85,5	52,8	59,8	38,0	48,5	40,5
	—	51,3	53,3	32,0	51,7	43,8
2. N	89,0	41,2	51,0	34,0	49,7	49,7
	—	42,0	49,8	38,5	53,2	45,8
3. P	114,7	147,5	89,2	41,5	79,3	54,5
	—	61,0	81,2	44,0	77,0	44,0
4. K	119,3	182,5	196,0	121,3	107,8	99,5
	—	188,0	200,5	86,3	118,3	86,7
5. NP	114,0	82,0	86,3	36,7	66,5	47,0
	—	45,5	72,3	35,0	50,5	41,5
6. NK	214,4	233,0	221,0	105,0	138,0	98,7
	—	159,8	223,5	81,8	127,0	97,5
7. PK	263,5	311,8	291,5	89,5	122,2	130,7
	—	269,0	285,3	87,3	167,3	110,3
8. NPK	219,0	182,0	192,3	95,0	114,0	86,8
	—	174,0	214,8	72,5	138,5	109,3
9. NPK + навоз	267,0	247,0	295,3	165,0	132,5	154,5
	—	265,0	283,8	147,0	181,0	132,3

П р и м е ч а н и е . В числителе — без извести, в знаменателе — по извести.

золистой почвы показывает незначительное его влияние на запасы обменного калия в почве. Различия между известкованным и неизвесткованным фонами незначительны.

За 86-летний период ведения опыта с калийными удобрениями в почву было внесено 5276 кг K_2O на 1 га. В среднем на повышение содержания обменного калия на 10 мг/кг почвы было израсходовано 64 кг удобрений по д.в.

Данные о средней урожайности полевых культур в бессменных посевах за весь период проведения опыта представлены в табл. 11. Так, урожайность озимой ржи по сравнению с овсом и ячменем была выше по всех вариантах удобрения. Однако наибольшие различия по этому показателю отмечены в вариантах двойного сочетания азота с фосфором и калием. При полном минеральном и минерально-органическом

удобрении урожайность озимой и яровых зерновых культур различалась мало. На неизвесткованном фоне различия в урожайности зерновых культур уменьшаются, однако некоторое преимущество озимой ржи остается.

По сбору кормовых единиц с 1 га картофель в неизвесткованных вариантах опыта превосходит зерновые культуры в 2-3 раза. При внесении извести это преимущество несколько снижается, поскольку урожайность зер-

новых в этом случае увеличивается.

Прибавка урожая озимой ржи от севооборота в варианте без применения удобрений значительно выше, чем овса и ячменя. Это обусловлено в первую очередь влиянием предшественника озимой ржи — чистого пара.

В севообороте продуктивность картофеля на неизвесткованных делянках в среднем по вариантам опыта мало отличалась от уровня в бессеменных посевах и составила соответственно 38,2 и 35,8 ц

Т а б л и ц а 11

Средняя урожайность полевых культур и сбор кормовых единиц в бессеменных посевах (числитель) и в севообороте (знаменатель)

Вариант удобрения	Урожайность, ц/га			Продуктивность товарной продукции, ц к. ед./га		
	оз. рожь	овес (с 1973 г. — ячмень)	картофель	оз. рожь	овес (с 1973 г. — ячмень)	картофель
<i>Без извести (1912–1996 гг.)</i>						
1. Без удобрений	<u>9,0</u>	<u>7,3</u>	<u>79,3</u>	<u>9,9</u>	<u>7,5</u>	<u>24,6</u>
	18,1	10,0	84,7	19,9	10,1	26,3
2. N	<u>9,8</u>	<u>9,3</u>	<u>85,7</u>	<u>10,8</u>	<u>9,7</u>	<u>26,6</u>
	19,9	11,1	84,5	21,9	11,3	26,2
3. P	<u>10,1</u>	<u>8,4</u>	<u>85,1</u>	<u>11,1</u>	<u>8,7</u>	<u>26,4</u>
	22,3	12,2	99,2	24,5	12,4	30,8
4. K	<u>9,0</u>	<u>7,9</u>	<u>97,4</u>	<u>9,9</u>	<u>8,2</u>	<u>30,2</u>
	19,4	11,2	107,6	21,3	11,3	33,4
5. NP	<u>13,2</u>	<u>8,4</u>	<u>101,4</u>	<u>14,5</u>	<u>8,7</u>	<u>31,4</u>
	23,8	11,8	107,8	26,2	11,9	33,4
6. NK	<u>13,1</u>	<u>6,6</u>	<u>125,7</u>	<u>14,4</u>	<u>8,3</u>	<u>39,0</u>
	21,3	11,3	114,4	23,4	11,5	35,5
7. PK	<u>11,0</u>	<u>11,3</u>	<u>134,5</u>	<u>12,1</u>	<u>11,9</u>	<u>41,7</u>
	24,9	16,6	146,7	27,4	17,3	45,5

Продолжение табл. 11

Вариант удобрения	Урожайность, ц/га			Продуктивность товарной продукции, ц к. ед./га		
	оз. рожь	овес (с 1973 г. — ячмень)	картофель	оз. рожь	овес (с 1973 г. — ячмень)	картофель
8. NPK	<u>16,5</u>	<u>15,9</u>	<u>161,1</u>	<u>18,2</u>	<u>17,0</u>	<u>49,9</u>
	24,3	17,0	168,5	26,7	17,6	52,2
9. Навоз	<u>15,7</u>	<u>12,9</u>	<u>150,4</u>	<u>17,3</u>	<u>13,6</u>	<u>46,6</u>
	—	—	—	—	—	—
10. NPK + навоз	<u>18,3</u>	<u>16,9</u>	<u>171,1</u>	<u>20,1</u>	<u>18,0</u>	<u>53,0</u>
	26,7	21,0	194,1	29,4	22,1	60,2
<i>По известки (1949–1996 гг.)</i>						
1. Без удобрений	<u>12,0</u>	<u>10,2</u>	<u>69,4</u>	<u>13,2</u>	<u>10,9</u>	<u>21,5</u>
	22,4	13,2	72,0	24,6	13,8	22,3
2. N	<u>12,9</u>	<u>11,3</u>	<u>75,6</u>	<u>14,2</u>	<u>12,2</u>	<u>23,4</u>
	24,5	16,3	85,3	27,0	17,3	26,4
3. P	<u>11,9</u>	<u>10,6</u>	<u>74,4</u>	<u>13,1</u>	<u>11,5</u>	<u>23,1</u>
	23,7	15,8	91,5	26,1	16,8	28,4
4. K	<u>11,2</u>	<u>10,5</u>	<u>74,5</u>	<u>12,3</u>	<u>11,3</u>	<u>23,1</u>
	26,0	15,8	120,6	28,6	16,8	37,4
5. NP	<u>16,9</u>	<u>14,3</u>	<u>96,5</u>	<u>18,6</u>	<u>15,5</u>	<u>29,9</u>
	24,5	17,0	113,6	27,0	18,1	35,2
6. NK	<u>20,4</u>	<u>17,2</u>	<u>125,6</u>	<u>22,4</u>	<u>18,7</u>	<u>38,9</u>
	29,2	20,4	160,0	32,1	21,8	49,6
7. PK	<u>14,5</u>	<u>14,8</u>	<u>126,3</u>	<u>16,0</u>	<u>16,0</u>	<u>39,2</u>
	28,6	21,7	170,2	31,5	23,2	52,8
8. NPK	<u>23,0</u>	<u>20,5</u>	<u>168,8</u>	<u>25,3</u>	<u>22,2</u>	<u>52,3</u>
	30,1	23,9	196,3	33,1	25,7	60,9
9. Навоз	<u>17,3</u>	<u>15,8</u>	<u>137,8</u>	<u>19,0</u>	<u>17,0</u>	<u>42,7</u>
	—	—	—	—	—	—
10. NPK + навоз	<u>24,4</u>	<u>21,7</u>	<u>194,5</u>	<u>26,8</u>	<u>23,6</u>	<u>60,3</u>
	31,6	26,7	224,1	34,8	28,8	69,5

к. ед. с 1 га. Следовательно, эффективность севооборота по продуктивности картофеля в этом случае была 2,6 ц к. ед. По известкованному фону

прибавка урожая от севооборота была выше и составила 7,9 ц к. ед. с 1 га.

Продуктивность картофеля в среднем по вариантам

севооборота на известкованном фоне была выше озимой ржи на 13,1-13,7 ц к. ед. или в 1,5 раза, яровых зерновых — на 22,3—24,3 ц к. ед., с 1 га, или в 2,7 раза, по фону извести — соответственно в 1,4 и 2,1 раза.

Однако преимущество картофеля по сбору кормовых единиц с 1 га относительно озимой ржи, с учетом вычета посадочного материала, по вариантам удобрения было неодинаковым. В бессменных посевах по известкованному фону картофель был более продуктивным во всех вариантах удобрения, в то время как при применении извести устойчивое преимущество картофеля прослеживается в вариантах НК, РК, NPK, NPK + навоз, навоз. На севооборотном участке продуктивность картофеля по сравнению с озимой рожью была больше в вариантах НК, РК, NPK, NPK + навоз как по фонам применения извести, так и без извести.

Выводы

1. Длительное возделывание культур в бессменных посевах и в севообороте, применение удобрений и известкования позволило выявить их роль в воспроизводстве плодородия дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы. Культура растений и

удобрения оказывают решающее влияние на расширенное воспроизводство плодородия почвы.

2. Положительное влияние культур на воспроизводство плодородия почвы увеличивается в ряду: картофель — ячмень — озимая рожь — клевер.

3. Содержание органического вещества в неудобренной почве бессменного пара за 86-летний период стабилизировалось на уровне 0,48С%, а под бессменными культурами сплошного посева (клевер, озимая рожь, ячмень) поддерживается около 1,0С%, картофелем — 0,67С%, в севообороте — 0,84С%.

4. Раздельное применение азота, фосфора, калия и их двойного сочетания оказывали незначительное влияние на содержание органического вещества в почве, а применение NPK раздельно и в сочетании с навозом способствовало увеличению его на 0,20—0,30С%. Известкование почвы не влияло на содержание органического вещества, но снижало его подвижность: щелочерастворимой фракции — в среднем в 2 раза, а водорастворимой — в 1,2 раза.

Установлена тесная отрицательная корреляционная связь между содержанием щелочерастворимого углерода

да и величиной $r_{H_{КСИ}}$ ($r = -0,85$).

5. Образование агрономически ценной структуры в большей степени зависит от культуры. Клевер и озимая рожь в основном обеспечивают формирование водопрочных агрегатов размером более 1 мм, а ячмень и картофель — менее 1 мм. Коэффициент корреляции между водопрочностью структуры и плотностью почвы составил $-0,83$.

6. Накопление подвижных форм фосфора в почве при внесении NPK и NPK + навоз происходит в 1,5—2 раза интенсивнее, чем при применении только фосфорных удобрений.

Применение калийных удобрений обеспечивает расширенное воспроизводство содержания подвижных форм калия.

7. В условиях дерново-подзолистых легкосуглинистых почв без применения известкования картофель оказывается более продуктивным (за вычетом семян) в бессменных посевах, чем яровые зерновые и озимая рожь. Зерновые культуры лучше реагируют на известкование и севооборот. В результате у последних уменьшаются различия по продуктивности с картофелем, а озимая рожь сравнивается с ним в вариантах O, N, P, K, NP.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Александрова Л. Н.* Органическое вещество почвы и процессы его трансформации. Л.: Наука, 1980. —

2. *Бакина Л. Г., Плотникова Т. А., Митина О. Ж.* Лабильность гумусовых веществ дерново-подзолистой почвы Северо-Запада России при известковании. — *Агрохимия*, 1997, № 6, с. 27-31. —

3. *Боинчан Б. П.* Процессы трансформации органического вещества в интенсивно используемой дерново-подзолистой почве и продуктивность полевых культур. Автореф. канд. дис. — М., 1982. —

4. *Вершинин П. В.* Почвенная структура и условия ее формирования. М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1958. —

5. *Доспехов Б. А.* Плодородие дерново-подзолистых почв и продуктивность растений в условиях систематического применения удобрений (Итоги 55-летнего полевого опыта ТСХА). Докт. дис. М., 1968. —

6. *Егоров В. Е.* Роль длительного применения удобрений, севооборота и повторных посевов в развитии плодородия почв Нечерноземной полосы. Докт. дис. М., 1955. —

7. *Кирюшин Б. Д., Сафонов А. Ф.* Сравнительная оценка продуктивности озимой ржи и севооборота во времени и 6-польного. — *Изв.*

- ТСХА, 2001, вып. 2, с. 3-20. — 8. *Кононова М. М.* Органическое вещество почвы, его природа, свойства и методы изучения. М.: Изд-во АН СССР, 1963. — 9. *Кузнецова И. В.* Роль органического вещества в образовании водопрочной структуры дерново-подзолистых почв. — Почвоведение, 1994, № 11, с. 34-41. — 10. *Лыков А. М.* Органическое вещество и плодородие дерново-подзолистых почв в условиях интенсивного земледелия. Докт. дис. М., 1976. — 11. *Орлов Д. С.* Гумусовые кислоты почв и общая теория гумификации. М.: Изд-во МГУ, 1990. — 12. *Полин В. Д.* Влияние длительного применения бессеменных культур, севооборота, удобрений и известкования на количественные и качественные изменения органического вещества дерново-подзолистой почвы и урожай полевых культур. Канд. дис. М., 1995. — 13. *Пономарева В. В.* Теория подзолообразовательного процесса. М.-Л.: Наука, 1964. — 14. *Пономарева В. В., Плотникова Т. А.* Гумус и почвообразование. Л.: Наука, 1980. — 15. *Саввинов Н. И.* Влияние многолетних трав на прочность структуры почв — Сб. науч. тр. Физика почв СССР. М.: Сельхозгиз, 1936, т. 5, с. 51-60. — 16. *Тюрин И. В.* Органическое вещество почвы и его роль в плодородии. М.: Наука, 1965. — 17. *Korschens M.* Arch. Asker-Pflanzenbau Bodenk., 1981, vol. 25, № 9, p. 519-523.

*Статья поступила
20 февраля 2002 г.*

SUMMARY

Results of studying long-term crop cultivation in continuous plantings and in crop rotation are presented. Effect of crop plants and fertilizers on enlarged reproduction of fertility of soddy-podzolic light loam soil has been determined. Cultivation of clover and winter rye with application of fertilizers provides enlarged reproduction of soil fertility, while barley cultivation in the same conditions results in common reproduction. Productivity of potato in comparison with grain crops is higher in continuous plantings. Grain crops better respond to liming and crop rotation.