

433 .
Л88

1051640

А.М. ЛЫКОВ



**ГУМУС
И ПЛОДОРОДИЕ
ПОЧВЫ**

А. М. ЛЫКОВ

ГУМУС И ПЛОДОРОДИЕ ПОЧВЫ

1051640



МОСКОВСКИЙ РАБОЧИЙ
1985

ВОЛОГОДСКАЯ
областная библиотека
им. И. В. Бабушкина

631.4
ББК 40.4
Л88

Лыков А. М.

Л88 Гумус и плодородие почвы. — М.: Моск. рабочий, 1985. — 192 с.

В книге рассказывается о возрастающей роли органического вещества почвы в интенсивном земледелии.

На опыте передовых хозяйств Нечерноземья показано влияние агрономического комплекса (севооборот, удобрения, обработка почвы) как фактора воспроизводства гумуса почвы. Дан расчетный метод определения баланса органического вещества почвы в севообороте.

Расчитана на руководителей и специалистов хозяйств.

Л $\frac{380202000-079}{M 172(03)-85}$ 14-85

ББК 40.4
631.8

© Издательство «Московский рабочий», 1985 г.

ВВЕДЕНИЕ

Решениями XXVI съезда КПСС, Продовольственной программой СССР, решениями последующих Пленумов ЦК КПСС плодородие почвы, его вссерьезное повышение рассматривается как важнейшее условие интенсификации земледелия.

Плодородие почвы — объективное материальное свойство почвы как естественно-исторического тела и как средства производства в земледелии. Несмотря на кажущееся уменьшение роли почвы в получении высоких устойчивых урожаев в современном земледелии, значение почвы, ее плодородия, наоборот, постоянно возрастает. Практический опыт интенсификации земледелия уже сегодня со всей очевидностью свидетельствует о снижающейся эффективности химизации, мелнирации и других современных технологий на малоплодородных почвах, которые не в состоянии эффективно использовать дорогостоящий агротехнический комплекс интенсивного земледелия. В природных условиях плодородие формируется под действием естественных факторов почвообразования. Земледельческое использование почвы предполагает сознательное, активное управление плодородием, его воспроизводством. Отсюда решающая зависимость плодородия от социально-экономического строя общества. «Самая плодородная почва, — пишет К. Маркс, — всякий раз есть самая плодородная при данных условиях производства».

Социалистическое общество отвергает потребительское отношение к почве, характерное для капиталистического строя. Почва — бесценный, незаменимый дар природы; ее сохранение, рациональное использование и обеспечение прогрессивного роста плодородия при одновременном постоянном повышении урожайности является законом социализма.

Поскольку плодородие первично по отношению к урожаю, постольку создание плодородия, его дозирование и программирование, его воспроизводство — обязательное, незаменимое условие интенсивного земледелия. Принцип первичности плодородия — краеугольный камень агрономической политики, ее стратегии и тактики. Он не оставляет места всякого рода субъективным, ненаучным теориям, попыткам противопоставить постоянной заботе о почве чудодейственные «гомеопатические» средства, которые вольно или невольно игнорируют строгую материальность земледелия, необходимость больших затрат на получение урожая.

При современном развитии общества, его духовных, материальных, энергетических и других возможностях нет серьезных препятствий для прогрессивного роста плодородия пахотных почв. Расширенное воспроизводство плодородия является обязательным условием расширенного воспроизводства в земледелии вообще.

Плодородие — сложное свойство почвы. Противоречивость почвы как естественно-исторического тела и средства производства в земледелии подразумевает вполне оправданные различия в их сложных характеристиках. В первом случае плодородие обуславливается в конечном счете масштабом и характером обмена веществ и энергии между почвой и растениями, с одной стороны, и между почвой и подпочвой, атмосферой, поверхностными и почвенными водами, микроорганизмами и животными — с другой стороны.

В агрономическом (технологическом) смысле под плодородием мы понимаем способность почвы служить культурным растениям средой обитания, источником и, главное, посредником в обеспечении земными факторами жизни (вода, питательные вещества и др.), обеспечивать возможность индустриального ведения производства, быть устойчивой в отношении всех факторов разрушения. Агрономическая суть плодородия выражается через определенное сочетание важнейших свойств почвы, тесно коррелирующих с урожаем при прочих равных условиях его создания. Такие сочетания почвенных свойств называются агрономическими моделями плодородия. Компоненты плодородия (в дальнейшем мы их будем называть факторами плодородия) имеют количественные, а иногда и качественные параметры, легко воспроизводимы экспериментально, имеют определенную агроэкономическую эффективность.

Модели плодородия, дифференцированные в зависимости от зональных почвенно-климатических, экономических и других условий, от специализации земледелия представляют собой важнейшие показатели интенсивных почвозащитных систем земледелия.

Важнейший фактор плодородия — органическое вещество почвы. Особая роль органического вещества в плодородии почвы объясняется его глобальным воздействием на все агрономически важные свойства почвы, его энергетическим значением, тесной сопряженностью его превращений с комплексом агротехнических приемов, трудностью воспроизводства органического вещества почвы в современных системах земледелия. Особо остро проблема органического вещества стоит для почв Нечерноземной зоны, которые от природы бедны органическим веществом и вследствие этого малоплодородны. Оптимальное обеспечение дерново-подзолистых почв гумусом, улучшение его качественного состава, программированное управление «гумусовым хозяйством» почвы — важнейшее условие высокопродуктивного земледелия Нечерноземья, залог успешной реализации Продовольственной программы страны.

В настоящей книге обобщены результаты 25-летних исследований агрономической роли органического вещества дерново-подзолистых интенсивно используемых почв. Наряду с выяснением влияния органического вещества на плодородие почвы особое внимание уделено воспроизводству органического вещества почвы в земледелии Нечерноземной зоны. Для практического использования предложен оригинальный расчетный метод гумусового баланса почвы в севообороте, рассмотрен передовой опыт по воспроизводству «гумусового хозяйства» почвы.

СОВРЕМЕННЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ОБ ОРГАНИЧЕСКОМ ВЕЩЕСТВЕ ПОЧВЫ

Органическое вещество почвы происходит из отмерших остатков растений, микроорганизмов, почвенных животных и продуктов их жизнедеятельности. Первичное органическое вещество, поступившее в почву, подвергается сложным превращениям, включающим процессы разложения, вторичного синтеза в форме микробной плазмы и гумификации. Сочетание названных процессов приводит в биологически активных почвах к образованию сложной смеси органических веществ, включающей:

малоразложившиеся растительные остатки с сохранившейся структурой;

промежуточные продукты разложения органических остатков (например, лигнин);

коллоидные комплексы собственно гумусовых веществ, образовавшиеся путем микробного синтеза или остаточного происхождения;

растворимые органические соединения, которые более или менее быстро минерализуются (или полимеризуются).

Взаимодействие такого сложного конгломерата органических веществ с минеральной частью почвы представляет собой существеннейшую черту почвообразовательного процесса. Органическое вещество, консервирующее энергию солнца в химически связанной форме, является, по существу, единственным источником энергии для развития почвы, формирования ее плодородия.

Основным источником первичного органического вещества, поступающего в почву под естественными фитоценозами, являются остатки растений. Количество их зависит от типа растительной формации, увеличиваясь от зоны гундры к зоне широколиственных лесов в 5—6 раз. Максимальное ежегодное количество растительного материала поступает в почвы умеренно засушли-

СОВРЕМЕННЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ОБ ОРГАНИЧЕСКОМ ВЕЩЕСТВЕ ПОЧВЫ

Органическое вещество почвы происходит из отмерших остатков растений, микроорганизмов, почвенных животных и продуктов их жизнедеятельности. Первичное органическое вещество, поступившее в почву, подвергается сложным превращениям, включающим процессы разложения, вторичного синтеза в форме микробной плазмы и гумификации. Сочетание названных процессов приводит в биологически активных почвах к образованию сложной смеси органических веществ, включающей: малоразложившиеся растительные остатки с сохранившейся структурой;

промежуточные продукты разложения органических остатков (например, лигнин);

коллоидные комплексы собственно гумусовых веществ, образовавшиеся путем микробного синтеза или остаточного происхождения;

растворимые органические соединения, которые более или менее быстро минерализуются (или полимеризуются).

Взаимодействие такого сложного конгломерата органических веществ с минеральной частью почвы представляет собой существеннейшую черту почвообразовательного процесса. Органическое вещество, консервирующее энергию солнца в химически связанной форме, является, по существу, единственным источником энергии для развития почвы, формирования ее плодородия.

Основным источником первичного органического вещества, поступающего в почву под естественными фитоценозами, являются остатки растений. Количество их зависит от типа растительной формации, увеличиваясь от зоны тундры к зоне широколиственных лесов в 5—6 раз. Максимальное ежегодное количество растительного материала поступает в почвы умеренно засушли-

ной степи (примерно в 2 раза больше, чем под дубравами). В сухой степи и особенно пустыне поступление в почву органического вещества резко уменьшается; в субтропической и тропической зонах резко повышается.

Скорость процессов превращения органических остатков в почве зависит прежде всего от их состава, представление о котором дает табл. 1, составленная по литературным данным.

Таблица 1

Химический состав растительных остатков
(% к сухому веществу)

Группа веществ	Хвоя сли	Листья березы	Солома		Листья клеве- ра	Корни люцер- ны	Корни пырея ползу- чего
			ози- мых зерно- вых	яро- вых зерно- вых			
Сырой протеин	7	6	—	—	22	13	8
Крахмал	—	—	—	—	3	18	—
Пентозаны	—	—	25	24	—	—	—
Гемипеллюлоза	22	26	—	—	8	12	23
Целлюлоза	14	14	38	40	15	21	25
Лигнин	39	39	24	23	4	9	18
Зола	8	5	5	5	—	—	—

Чем выше в растительных остатках содержание легкорасщепляемых микроорганизмами веществ, особенно воднорастворимых, чем уже соотношение углерода и азота, тем интенсивнее органическое вещество подвергается микробиологическому распаду. Наоборот, увеличение содержания лигнина, большая величина C:N замедляют процессы минерализации.

Скорость превращения первичного органического вещества зависит и от условий среды: наличия минеральных элементов, влажности, температуры, условий аэрации, биологической активности и физико-химических свойств почвы.

На пахотных почвах с отчуждением большей части урожая полевых культур источником органического вещества служат надземные и корневые остатки растений, а также вносимые в почву органические удобрения. Количества пожнивных и корневых остатков, поступающих в почву под разными культурами, колеблется в зависимости от вида растений и величины урожая (табл. 2).

Таблица 2

Поступление растительных остатков в почву
под отдельными культурами
(ц/га абсолютной сухой массы в слое 0—40 см)
в зависимости от величины урожая
(экспериментальная база «Михайловское»,
средние данные по двум севооборотам, 1971—1974 гг.)

Культура	Применяется удобрений ежегодно			
	О (без удоб- рений)	N ₂₀ P ₇ K ₂₀	навоз (15 т/га)	НРК+ +навоз по зуммарной дозе
Озимая пшеница	29,5	30,5	34,1	39,1
	32,2	45,1	40,5	46,9
Ячмень	21,8	28,1	32,6	31
	21	26,7	26,1	27,4
Клевер 1-го года пользования	39,1	54,1	59,1	56,9
	24,9	39,6	50,6	51,1
Вико-овсяная смесь	22,6	25,6	30	32,5
	19,2	26	32,4	34,4
Картофель	12,8	19,7	19,8	23,3
	96	142,7	143,9	175,3

Примечание. В числителе — количество растительных остатков, в знаменателе — урожай культур (ц/га основной продукции).

Агрономическое значение растительных остатков в интенсивном земледелии особенно велико. Во-первых, они удобряют почву ежегодно, после уборки урожая, в то время как все остальные виды органических удобрений вносятся в почву периодически. Во-вторых, не требуется дополнительных затрат на их внесение. В-третьих, растительные остатки распределяются в почве наиболее равномерно. В растительных остатках содержатся все макро- и микроэлементы, необходимые растениям и животным.

Растительные остатки разделяются на пожнивные, листостебельные и корневые. Пожнивные представлены стерней злаков, частями стеблей, листьев и всех других надземных частей растений, которые остаются в поле после уборки урожая. Листостебельные части растений включают корневища, столоны картофеля, корневые шейки клевера, люцерны и других трав, остатки клубней, корнеплодов, лукович. Корневые ос-

татки растений представлены корнями выращиваемой культуры, сохранившимися живыми к моменту уборки, а также корнями, отмершими к моменту уборки.

Органическое вещество поступает в почву не только после отмирания растения, но и в течение его жизни, так как непрерывный процесс отмирания различных частей растения происходит в течение всего периода роста и развития растений, особенно после цветения и начала созревания.

Размеры корнепада, по данным Т. И. Макаровой, достигают у озимой пшеницы 124—480 кг/га сухого вещества, у овса — 337—620 кг/га. Аналогичные данные по корнепаду у озимой пшеницы приводят и другие авторы. Запасы гумуса за счет корнеплода и корневых выделений могут пополниться на 1,3—2,3 ц/га.

Корни растения, занимая промежуточное положение между зеленой частью растений и почвой, с одной стороны, выполняют важнейшие физиологические функции растений, а с другой — способствуют жизни почвы. Еще при жизни растений их корни активно участвуют в почвенных процессах. Пронизывая почву своими многочисленными разветвлениями, корни входят в контакт с почвенными частицами и тем самым способствуют равномерному распределению органического вещества и образованию структурных агрегатов.

Полевые растения развивают различную корневую систему по массе и по глубине проникновения в толщу почвы, а следовательно, по-разному влияют на плодородие почвы.

В результате многочисленных исследований, проведенных в нашей стране и за рубежом, по количеству органического вещества, оставляемого после уборки, основные полевые культуры можно разделить на три группы.

Первую группу составляют многолетние бобовые и злаковые травы, оставляющие в почве наибольшее количество органического вещества.

Степень положительного влияния многолетних трав в основном обусловлена количеством накапливаемого ими в почве органического вещества и азота. Оно зависит от уровня урожая, почвенно-климатических условий, вида трав и состава травосмесей.

Более сильное действие бобовых многолетних трав на плодородие почвы и урожай последующих культур объясняется их способностью фиксировать атмосфер-

ный азот воздуха и накапливать большое количество корневых и пожнивных остатков.

Вторую группу составляют однолетние зерновые и зернобобовые культуры сплошного сева. Однолетние растения оставляют в почве значительно меньше органического вещества, чем многолетние травы. Однолетние зернобобовые в меньшей степени, чем многолетние бобовые травы, фиксируют азот воздуха. Однако между однолетними культурами в этом отношении имеются большие различия. Такие растения, как райграс и его смеси с однолетними бобовыми культурами (люпином, сераделлой) по количеству оставляемых в почве растительных остатков мало уступают многолетним травам и значительно превосходят другие однолетние культуры. Озимые культуры оставляют в почве больше органического вещества, чем яровые зерновые и зернобобовые. После уборки однолетних зерновых и зернобобовых культур в почве в среднем остается 15—30 ц/га органического вещества.

К третьей группе следует отнести пропашные культуры, которые оставляют в почве после уборки наименьшее количество органического вещества.

В почве при выращивании растений происходит одновременно два противоположных процесса: синтез и накопление органического вещества и разрушение органического вещества. Интенсивностью обоих процессов, их соотношением определяются конечные результаты, по которым оценивают влияние данной культуры на почву. Если конечный результат положительный, за культурой признаются свойства улучшать плодородие почвы, и наоборот. Между тем на процесс разрушения органического вещества влияют не столько сами культуры, сколько приемы их возделывания.

Многолетние бобовые растения, продуцируя большое количество кормовой массы, которая после скормливания скоту частично вновь возвращается в почву в форме навоза, оставляют в почве в виде растительных остатков и значительные количества органического вещества и азота.

Одним из преимуществ бобовых многолетних трав перед злаковыми и растениями других семейств является то, что бобовые не только возвращают часть азота, взятого из почвы, но и обогащают ее этим элементом дополнительно (чем выше урожай, тем больше).

На развитие корневой системы, как и всего расте-

ния в целом, оказывают влияние влажность почвы и уровень минерального питания. Исследователи отмечают, что при менее благоприятных условиях увлажнения почвы корневая система растений развивается лучше, это обусловлено необходимостью использовать больший объем почвы. Например, растения, произрастающие в засушливых степях и полупустынях, имеют, как правило, мощно развитую корневую систему. По данным Т. Г. Клемяшовой, во влажный год на единицу веса корней приходилось 6—10 единиц надземной массы, а в более сухие годы — значительно меньше. Влияние погодных условий проявляется в том, что недостаток влаги сопровождается уменьшением развития надземной массы и относительным увеличением корневой массы.

Наряду с количеством растительных остатков важное значение имеет их химический состав и скорость разложения в почве. Так, растительные остатки многолетних трав характеризуются высоким содержанием элементов питания. Содержание азота в корневых остатках многолетних бобовых трав колеблется в пределах 2,25—2,6%, фосфора — 0,34—0,8%, в поукосных остатках соответственно 1,82—2,65% и 0,3—0,71%. Количество азота и фосфора в корнях бобово-злаковых травосмесей зависит от доли каждого компонента и составляет 0,91—2,37% азота и 0,25—1,06% фосфора, в поукосных остатках соответственно 1,6—2,18% и 0,17—0,54%. Злаковые травы содержат значительно меньшее количество азота в корнях и поукосных остатках.

С возрастом химический состав корней многолетних трав изменяется. Чем старше растения, тем меньше в их корнях процентное содержание азота и зольных элементов. Наряду с этим на содержание азота и зольных элементов как в самом растении в целом, так и в растительных остатках в значительной мере влияют удобрения и почвенно-климатические условия.

Растительные остатки однолетних культур (кроме бобовых), в отличие от растительных остатков многолетних культур, беднее питательными элементами, так как однолетние растения в большем количестве накапливают элементы питания в семенах, клубнях, корнеплодах, т. е. в хозяйственно полезной части урожая. По данным многих авторов, в корневых остатках гороха содержалось 1,2—1,92% азота, 0,21—0,79% фосфора,

0,27—1,84% калия, а в пожнивных остатках соответственно 0,69—1,57%, 0,28—0,54% и 0,52—1,1%.

Растительные остатки зерновых культур содержат питательных веществ меньше, чем растительные остатки бобовых. Озимая пшеница, ячмень, овес содержат в корнях 0,87—1,33% азота, 0,23—0,34% фосфора, в пожнивных остатках — 0,41—0,94% азота и 0,18—0,22% фосфора.

Корни и стерневые остатки растений после отмирания разлагаются в результате деятельности микроорганизмов и фауны почвы. Микрофлора использует органический материал в качестве источника пищи и энергии. На ход и скорость разложения влияют, во-первых, внешние условия среды, зависящие от типа почвы и климата, влажность, температура, рН почвы, содержание в ней кислорода и питательных веществ и, во-вторых, химический состав растительных остатков.

Особое значение имеет отношение С:N в органическом веществе. Свежее органическое вещество растительных остатков с узким отношением С:N стимулирует развитие микрофлоры почвы, так как является доступным источником питания. При низком содержании азота в органическом веществе микроорганизмы будут в большей степени использовать минеральный азот почвы.

Преобразование первичного органического вещества в почве осуществляется в несколько этапов. На первом этапе происходит химическое взаимодействие между отдельными веществами отмершего растения (например, ароматические соединения клеточных оболочек могут вступать в химические реакции с белками растительных клеток). Процесс может быть значительно ускорен за счет биологических и минеральных катализаторов. В качестве первых часто отмечают фенолоксидазы, которые катализуют процессы окисления полифенолов до хинонов, высокая реакционная способность их находит отражение в энергичном взаимодействии с азотсодержащими белковыми соединениями.

На втором этапе происходит механическая подготовка и перемешивание с почвой растительных остатков с помощью почвенной фауны. Нельзя отрицать и определенную биохимическую подготовку первичного органического вещества к микробному разложению при прохождении растительной массы через желудочно-кишечный тракт животных. Как показано рядом исследователей, при удалении из почвы беспозвоночных разло-

жение растительного опада под дубовым лесом было в 3—6 раз медленнее, чем при участии беспозвоночных.

На третьем этапе превращения свежего органического вещества в почве происходит минерализация его с помощью микроорганизмов. В первую очередь минерализуются воднорастворимые органические соединения, а также крахмал, пектины и белковые вещества. Значительно медленнее минерализуется целлюлоза, при разложении которой освобождается лигнин — соединение, весьма устойчивое к микробиологическому расщеплению.

Конечными продуктами превращений первичного органического вещества являются минеральные продукты (CO_2 , H_2O , нитраты, фосфаты, в анаэробных условиях H_2S и CH_4). Кроме того, в почве накапливаются в качестве продуктов метаболизма микроорганизмов низкомолекулярные органические кислоты (муравьиная, уксусная, щавелевая и др.). Процессы минерализации органического вещества в почве — экзотермического характера; при разложении 1 г сухого вещества освобождается 4—5 калорий энергии, участвующей в дальнейшем обмене веществ и энергии в почве.

Часть продуктов биологического разложения первичного органического вещества превращается в особую группу высокомолекулярных соединений — специфические гумусовые вещества, а сам процесс называется гумификацией. Образование специфических гумусовых веществ в почве идет параллельно процессу минерализации первичного органического вещества и закреплению его в форме микробной плазмы. Специфические гумусовые вещества вследствие особенностей своей природы относительно устойчивы к микробиологическому расщеплению, что создает условия накопления их в почве.

Образование специфических гумусовых веществ в большинстве случаев начинается на такой стадии биологического распада растительных и животных остатков, когда углеводы гидролизуются до моносахаридов, белковые вещества — до пептидов и аминокислот, ароматические соединения — до простых фенолов. Помимо этих соединений в образовании гумусовых веществ принимают участие и более простые продукты распада (триозин, аммиак и др.).

Исходя из фундаментальных исследований М. М.

Кононовой, механизм образования в почве специфических гумусовых веществ представляется следующим образом: 1) все компоненты растительных тканей (продукты распада, продукты метаболизма микроорганизмов, продукты распада и ресинтеза) могут служить структурными единицами (мономерами) для образования молекул специфических гумусовых веществ; 2) ответственным звеном в образовании гумусовых веществ является конденсация структурных единиц путем окисления фенолов с помощью фенолоксидаз через семихиноны до хинонов, которые взаимодействуют с аминокислотами и пептидами; 3) заключительное звено в образовании гумусовых веществ — поликонденсация (полимеризация) — является химическим процессом.

Настоящая схема образования гумусовых веществ общепризнана. Вместе с тем ряд исследователей выдвигает другие возможные варианты механизма процесса гумусообразования. Так, Л. Н. Александрова, развивая гипотезу академика И. В. Тюрина, считает возможным образование гумусовых веществ путем медленного биохимического окисления различных высокомолекулярных веществ циклического строения. При этом важное значение имеют реакции взаимной конденсации или полимеризации высокомолекулярных продуктов разложения.

По мнению Д. С. Орлова, гумусовые кислоты относятся к особому классу природных соединений переменного состава. Для их характеристики наиболее пригоден статистический принцип.

Сера, фосфор и азот входят в состав гумусовых кислот как конституционные составные части. Другие неорганические компоненты имеют преимущественно характер трудноотделяемых примесей.

При исследовании гумусовых кислот следует исходить из таких принципов, как зонально-генетический подход, биохимическая основа процесса гумификации, накопление при гумификации термодинамически наиболее устойчивых веществ, обязательное участие минеральных компонентов при образовании гумусовых кислот, их физико-химическая реальность.

Оригинальные представления о гумусообразовании и роли гумуса в жизни растений развивает В. В. Пономарева. По ее мнению, гумус — не только химическое и биохимическое понятие, но и экологическое, результат приспособления растений к использованию мине-

ральных питательных веществ из геологического образования верхнего слоя земной коры. Гумус — высокоценный источник питательных веществ и средство ассимиляции растениями земных факторов жизни. Образование гумуса в почве — такая же жизненная функция растений, как питание, дыхание и др.

Исследованиями А. Д. Фокина установлено, что образующиеся в процессе разложения исходных растительных остатков промежуточные продукты разложения присоединяются непосредственно к фракциям почвенного гумуса. При этом относительно больше неспецифических органических веществ взаимодействует с преобладающей в составе гумуса фракцией. Новообразованные фрагменты гумусовых веществ распределяются по фракциям гумуса примерно пропорционально их содержанию в почве. Входя первоначально преимущественно в периферические линейные структуры гумусовых молекул, «свежие» фрагменты относительно малоустойчивы к разложению микроорганизмами и легко отщепляются при кислотном гидролизе гумусовых веществ. Обновление углеродного состава гумусовых веществ, по А. Д. Фокину, происходит по типу фрагментарного обновления, скорость которого зависит от характера гумусовых веществ, прочности их связи с минеральной частью почвы, от режима растительных остатков и условий их разложения. Почвенный гумус при фрагментарном обновлении обладает саморегулирующей функцией за счет «матричной достройки» молекул гумусовых веществ. Трансформация периферических структур гумусовых молекул в более сложные циклические структуры ядра осуществляется только при участии микроорганизмов.

Ф. Шеффер и П. Шахтшабель различают биологическое и абиогическое гумифицирование. Первое имеет место в биологически активных почвах при тесном участии почвенного эдафона. Второе протекает без участия эдафона, примером такого процесса может служить образование торфов в анаэробных условиях при кислой реакции среды. Подобные представления развиваются и Ф. Дюшофуром.

По М. М. Коноповой, весь сложный комплекс органических веществ в почве может быть разделен на соединения индивидуальной природы и специфические гумусовые соединения. Соединения индивидуальной природы, составляющие 10—15% от общего количества

перегной в почве, представлены веществами, входящими в состав растительных и животных остатков: белками, углеводами, жирами, спиртами, эфирами, смолами, органическими кислотами и др.

Новейшие исследования свидетельствуют как о новых соединениях индивидуальной природы, обнаруженных в почве, так и об углублении знаний о роли этих веществ в генезисе и плодородии почвы. Установлено активное воздействие этой группы веществ индивидуальной природы на минеральную часть почвы, способность образовывать комплексные соединения, оказывать стимулирующее физиолого-биохимическое воздействие на растения.

Основная часть органического вещества почвы (85—90%) представлена специфическими высокомолекулярными гумусовыми соединениями. Характерной чертой специфических гумусовых веществ как системы высокомолекулярных полимеров является их гетерогенность, варьирование основных свойств, возможность деления на ряд фракций. В СССР принято подразделять специфические гумусовые вещества на три основные группы соединений: гуминовые кислоты, фульвокислоты и гумины.

Гуминовые кислоты — фракция темноокрашенных высокомолекулярных азотсодержащих соединений, извлекаемая из почвы щелочными растворами, при подкислении вытяжки выпадает в осадок в виде гуматов. В составе гуминовых кислот 52—62% С, 3—5,5% Н, 30—33% О, 3,5—5% N. Основу молекулы гуминовых кислот образует ароматическое ядро, сформированное ароматическими и гетероциклическими кольцами типа бензола, фурана, пиридина, нафталина, антрацена, индола, хинолина. Ароматические кольца соединены между собой в рыхлую сетку. Боковые периферические структуры молекулы — алифатические цепи. Ядро молекулы гуминовых кислот отличается гидрофобными свойствами, боковые цепи — гидрофильными. Конституционной частью молекулы гуминовых кислот являются функциональные группы: карбоксильные и фенол-гидроксильные, определяющие кислотный характер гуминовых кислот и способность к катионному обмену. С помощью инфракрасных спектров в составе гуминовых кислот обнаруживаются также метоксильные и карбонильные группы.

Гуминовые кислоты устойчивы к кислотному гид-

ролизу, более склонны к гидролизу минеральными кислотами азотсодержащие звенья молекул. Примерно половина азота, содержащегося в гуминовых кислотах, переходит в раствор в форме азота амидов, моно- и диаминокислот. Соотношение между этими формами азота в гуминовых кислотах аналогично таковому белков животного и растительного происхождения. Подвижность азота гуминовых кислот, выделенных из разных почв, неодинакова. Азот гуминовых кислот чернозема менее подвижен, чем азот гуминовых кислот дерново-подзолистой почвы.

Гуматы аммония, натрия и калия хорошо растворимы в воде, что определяет их поведение в почве. Гуматы щелочноземельных металлов, наоборот, нерастворимы в воде, они накапливаются в почве, способствуя образованию водопрочной структуры. С несиликатными формами полутораокисей гуминовые кислоты образуют комплексные соединения, подвижность которых в почве зависит от насыщения свободных функциональных групп катионами щелочных или щелочноземельных металлов.

Фульвокислоты, как это установлено исследованиями И. В. Тюрина и В. В. Пономаревой, являются органическими оксикарбоиновыми азотсодержащими кислотами. Препараты фульвокислот, выделенные из почвы, окрашены в желто-соломенный до оранжевого цвет. В составе фульвокислот углерода — 44—49%, водорода — 3,5—5, кислорода — 44—49, азота — 2—4%. При сравнении с элементным составом гуминовых кислот фульвокислоты содержат меньше углерода и азота, а кислорода больше. В составе фульвокислот отмечены те же функциональные группы, что и в гуминовых кислотах. Инфракрасные спектры фульвокислот позволяют заключить наличие в их молекулах ароматических ядер, значительно менее конденсированных по сравнению с гуминовыми кислотами. Алифатические боковые структуры выражены в большей степени.

По мнению М. М. Кононовой, фульвокислоты следует рассматривать как наименее «зрелые» гуминовые соединения. Между гуминовыми кислотами и фульвокислотами существует достаточно тесная связь. Как те, так и другие очень неоднородны и представлены многочисленными фракциями.

Растворы фульвокислот имеют сильно выраженные кислые свойства. Фульваты аммония, щелочных и

1051640

щелочно-земельных катионов растворимы в воде. Комплексные соединения фульвокислот с полуторными оксидами в условиях кислой и щелочной реакции среды также растворимы в воде, по мере увеличения в растворе концентрации фульвокислот и полуторных оксидов растворимость комплексов уменьшается и начинается выпадение их в осадок.

Гумины — наиболее инертная часть почвенного гумуса, не извлекаемая из почвы при обычной обработке ее щелочными растворами. По своему составу гумины близки к гуминовым кислотам, выделенным из декальцированной почвы. Вместе с тем эта фракция гумусовых веществ более прочно связана с минеральной частью почвы, что значительно меняет ее свойства.

Исключительно важная роль органического вещества в формировании почвы в значительной степени основана на способности органических веществ взаимодействовать с минеральной частью почвы. Образующиеся при этом органо-минеральные соединения являются обязательным компонентом всякой почвы.

Как установлено модельными опытами, большое количество органических веществ (спирты, сахара, аминокислоты, протсины, энзимы, простейшие ароматические соединения) взаимодействует с глинистыми минералами. Образованию органо-минеральных соединений в почве способствует высокая биологическая активность, обеспечивающая поступление в систему реакционноспособных органических веществ. Внесение в почву биологически малодоступных органических веществ, например, торфа, не приводит к образованию органо-минеральных соединений.

Органо-минеральные соединения повышают устойчивость связанного в них органического вещества к микробиологическому разложению и тем самым обеспечивают оптимальное состояние всех свойств почвы, находящихся в связи с органическим веществом. Высокая биологическая устойчивость органо-минеральных соединений приводит к связыванию и инактивированию глинистыми минералами ферментов, выделяемых микроорганизмами для разложения органического вещества.

Доля органического вещества, связанного в почве в форме органо-минеральных соединений, составляет для черноземов 85%, для дерново-карбонатных почв и буроземов — 55—70, для остальных почв не ниже 50% (исключая песчаные почвы).

По Л. Н. Александровой, связь органического вещества с минеральной частью почвы осуществляется через две группы органо-минеральных производных: собственно органо-минеральные соединения и органо-минеральные коллоиды. К первым относятся соединения, характеризующиеся наличием химической формы связи между компонентами (гуматы и фульваты щелочных и щелочноземельных оснований, а также комплексные алюмо-железо-гумусовые соединения). Как гуматам и фульватам, так и комплексным алюмо-железо-гумусовым соединениям свойственны обменные химические связи между органическими и минеральными компонентами. Степень подвижности в почве органо-минеральных соединений обусловлена прежде всего характером катиона и природой гумусовых веществ.

В отличие от органо-минеральных соединений органо-минеральные коллоиды являются комплексом переменного состава из высокодисперсных глинистых минералов, гумусовых веществ и их органо-минеральных производных. Органо-минеральные коллоиды представлены в почве в виде сложной, разнородной по степени дисперсности и прочности связи с минеральной частью почвы системы.

А. А. Роде дает следующую классификацию органо-минеральных соединений почвы.

1. Органо-минеральные соединения в форме солей высокомолекулярных гумусовых кислот со щелочноземельными основаниями (гуматы кальция и магния).

2. Сорбционные соединения гумусовых веществ с частицами глинистых минералов; гумусовые вещества, входящие в эту группу соединений, очень устойчивы.

3. Комплексные золи, образуемые воднорастворимыми высокомолекулярными органическими кислотами и гидратами окисей алюминия и железа (например, золи фульвокислот с гидроокисями алюминия и железа); в почвенной толще комплексные золи могут коагулировать, переходя в комплексные гели.

4. Комплексные гели высокомолекулярных гумусовых кислот с гидратами окисей алюминия и железа.

5. Комплексные соединения полуторных окислов с низкомолекулярными органическими кислотами; в форме комплексных солей полуторные окислы перемещаются по почвенному профилю.

6. Простые соли низкомолекулярных кислот со щелочными и щелочноземельными металлами.

7. Внутриккомплексные органо-минеральные соединения (хелаты). В отличие от обычных комплексных соединений во внутриккомплексных каждый радикал молекулы связан с центральным ионом несколькими координационными связями (в комплексных соединениях — одной координационной связью). При этом в пределах радикалов образуется кольцевая связь. Хелаты могут образовывать как низкомолекулярные органические кислоты, так и гуминовые соединения.

Органическое вещество участвует в формировании почвы на всех его этапах. Многочисленные исследования свидетельствуют о том, что взаимодействие органического вещества в любых формах с материнской горной породой вызывает резкое изменение состава и свойств коры выветривания. На более поздних стадиях почвообразования аналогичное действие на разрушение и превращение почвенных минералов оказывают специфические гумусовые вещества (например, весьма подвижные и активные фульвокислоты).

Решающая роль гуминовых веществ и их органо-минеральных производных в формировании профиля всех типов почв не подлежит сомнению. Особенности образования и режима гумусовых веществ определяют формирование гумусового профиля, характеризующегося высокой сорбционной емкостью. Помимо аккумуляции в гумусовом горизонте большого количества элементов, питания растений почва приобретает водопрочную структуру, оптимальную порозность, обеспечивающие поддержание благоприятного водно-воздушного режима. Наряду со специфическими гумусовыми веществами огромную роль в процессах почвообразования играют продукты распада первичного органического вещества.

Органическое вещество почвы, аккумулируя огромное количество углерода, способствует большей устойчивости круговорота углерода в природе. В этом, а также в накоплении еще ряда элементов в земной коре состоит важная биогeoхимическая функция органического вещества почвы.

ВЛИЯНИЕ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА НА ПЛОДОРОДИЕ ИНТЕНСИВНО ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЫ

Краткая характеристика основных объектов исследований

Исследования проведены в шести длительных опытах на суглинистых дерново-подзолистых почвах, площадь которых в лесо-луговой зоне составляет 29,3 млн. га, или 63% к общей площади пашни.

Длительный полевой опыт ТСХА заложен А. Г. Дояренко по инициативе Д. Н. Прянишникова в 1912 г. на бывшем опытном поле кафедры земледелия.

Почва опытного участка — дерново-среднеподзолистая, сформировавшаяся на легком песчанисто-пылеватом суглинке, подстилаемом несортированной валунной мореной.

Каждое поле бессменных культур разбито на 11 делянок, которые удобряются по следующей схеме: 1-я — N; 2-я — P; 3-я — K; 4-я — O (без удобрения); 5-я — NP; 6-я — NK; 7-я — PK; 8-я — NPK+навоз; 9-я — NPK; 10-я — навоз; 11-я O (без удобрения). В севообороте два последних варианта отсутствуют. Размер опытной делянки 127,5 м².

За время опыта основная схема не изменилась. Что же касается агротехники полевых культур, доз удобрений, то они по мере прогресса земледелия периодически совершенствовались.

В первый период опыта (1912—1938 гг.) дозы удобрений на 1 га площади составляли: N—7,5 кг; P₂O₅—15; K₂O — 22,5 кг; навоза — 18 т.

Во второй период (1939—1954 гг.) применяли более высокие дозы удобрений: N—50 кг; P₂O₅ — 60; K₂O — 90 кг, навоза — 20 т/га. В этот же период введены и некоторые изменения в агротехнику длительного опыта: вместо раннего пара и весенней вспашки введена зяблевая обработка почвы, старые сорта заменили новыми. С 1944 г. удобрения вносятся дифференцированно: навоз, фосфорные и калийные удобрения — осенью под зяблевую вспашку; азотные удобрения — 2/3 дозы под предпосевную обработку, 1/3 — в подкормку.

В третий период (1955—1972 гг.) дозы удобрений составили: N—50 кг; P₂O₅ — 75; K₂O — 60 кг; навоза—10 т/га.

В четвертый период (1973—1985 гг.) дозы удобрений по сравнению с предыдущим периодом были увеличены вдвое и составили: N₁₀₀ P₁₅₀ K₁₂₀ и 20 т/га навоза. На четных полях севооборота (132, 134 и 136-м) для изучения производительности созданных в течение 60 лет уровней окультуренности почвы внесение удобрений осуществляется сплошь по всему полю.

В среднем за 70-летний период опыта ежегодные дозы удобрений в расчете на 1 га составили: N₄₆P_{59,1}K_{60,2} и 16,4 т навоза.

Начиная с 1949 г. и затем через каждые шесть лет на половину каждой делянки бессменных культур и в севообороте вносится известь из расчета по гидролитической кислотности. С 1949 г. на восьмой делянке навоз вносится совместно с минеральными удобрениями по суммарной дозе.

В 1949 г. на известкованной половине «вечного» пара введен севооборот во времени. Чередование культур в этом севообороте в настоящее время принято то же, что и в основном севообороте.

Длительные опыты Долгопрудной агрохимической опытной станции (ДАОС) заложены, по предложению Д. Н. Прянишникова, в 1931 г. на тяжелосуглинистой среднеподзолистой почве со слабо развитым гумусовым горизонтом. Участок, на котором развернута схема опыта, был раскорчеван от леса в 1925—1926 гг.; в течение нескольких лет на нем высевали вико-овсяную смесь и овес.

Исследования проведены в опыте 1, осуществляемом в севообороте: пар занятый (в 1931—1938 гг. овес на зеленое удобрение, с 1952 г. — чистый пар), озимая рожь, картофель (на половине поля кормовая свекла), овес. Опыт включает следующие варианты удобрений: 1-й — без удобрений (контроль); 2-й — зеленое удобрение; 3-й — навоз (36 т/га за ротацию севооборота); 4-й — NPKCa (эквивалентно содержанию в 36 т навоза); 5-й — зеленое удобрение + NPKCa (эквивалентно содержанию в 36 т навоза); 6-й — навоз (18 т/га за ротацию севооборота) + NPKCa (эквивалентно содержанию в 18 т навоза).

Длительный опыт 1 развернут в пространстве на четырех полях: 201, 202, 203, 204-м. В каждом поле де-

лянки расположены в два яруса, повторность опыта — четырехкратная. Площадь опытной делянки — 142 м², размер учетной делянки — 100 м².

В опыте используется навоз крупного рогатого скота на соломенной подстилке. Навоз вносят по 12 т/га под картофель (весной под перепашку), под рожь — в пару, под овес — с осени под зябь. При внесении навоза на каждом поле отбирают средние пробы на определение в нем питательных веществ.

Минеральные удобрения вносят в форме аммиачной селитры (в 1931—1938 гг. — мочевина), простого суперфосфата, хлористого калия и мела. Дозы минеральных удобрений рассчитываются с учетом анализа навоза. В среднем ежегодно вносят 50—60 кг/га N, 25 кг P₂O₅, 50 кг K₂O и 50 кг CaO. Минеральные туки под все культуры применяют под предпосевную культивацию. С 1962 г. дозы кальция рассчитывают по нейтрализующей способности навоза, что дает несколько более высокие результаты, чем содержание кальция в навозе. Нейтрализацию аммиачной селитры начали проводить только с 1964 г. (на 1 кг аммиачной селитры берут 3 кг CaCO₃).

Схема длительного опыта 1 к настоящему времени претерпела значительные изменения. В 1952 г. варианты «зеленое удобрение» и «зеленое удобрение + NPKCa» заменены на варианты «известь» и «известь + NPKCa». В 1959 г. озимая рожь заменена озимой пшеницей, прекращено выращивание кормовой свеклы.

Длительный полевой опыт в бывшем учхозе ТСХА «Щапово» Подольского района Московской области заложен в 1962 г. на дерново-слабоподзолистой, средне-окультуренной почве.

По механическому составу почва опытного участка — среднесуглинистая, образовавшаяся на тяжелом покровном суглинке. До закладки опыта поле было занято картофелем (1961 г.) и кукурузой (1962 г.). Под кукурузу было внесено 40 т/га навоза, 3 ц/га аммиачной селитры, 2 ц/га хлористого калия и 2 ц/га суперфосфата. В момент закладки опыта почва в пахотном слое имела следующие агрохимические свойства: pH солевой вытяжки — 5,6; гидролитическая кислотность — 2,06; обменная кислотность — 0,54; сумма поглощенных оснований — 11,4 мг-экв на 100 г почвы; содержание подвижных форм фосфора и калия соответственно 6,8 и 6,5 мг/100 г почвы, содержание углерода — 1,14%, азота — 0,118%.

Исследования проводились в трех опытных севооборотах, отличающихся степенью насыщения пропашными культурами (севооборот I — 25% пропашных культур, севооборот II — 50% пропашных культур, севооборот III — 75% пропашных культур). Превращения органического вещества почвы изучали на неудобренном фоне и при внесении за четырехлетнюю ротацию севооборота 50 т/га навоза $N_{210}P_{310}K_{330}$ кг/га. Чередование культур в опытных севооборотах принято следующее: I — озимая пшеница — картофель — ячмень с подсевом клевера — клевер 1-го года пользования; II — озимая пшеница — картофель — кукуруза — горох; III — озимая пшеница — сахарная свекла — картофель — кукуруза.

Опыт заложен в двукратной повторности, размер элементарной делянки — 450 м².

Кроме севооборотных вариантов для проведения исследования были использованы и поля бессменных озимой пшеницы, картофеля и люцерны по вариантам: О (без удобрений), навоз, NPK, навоз + NPK по половинной дозе. Дозы навоза под бессменные культуры составляли: для озимой пшеницы — 20 т/га ежегодно, для картофеля — 30, для люцерны — 20 т/га. Ежегодные дозы минеральных удобрений равны соответственно $N_{60}P_{80}K_{60}$, $N_{100}P_{110}K_{140}$, $N_{30}P_{50}K_{60}$. Размер элементарной делянки 220 м².

Стационарный опыт I в учхозе «Михайловское» Подольского района Московской области заложен под руководством В. Е. Егорова в 1967 г. на среднесуглинистой дерново-слабоподзолистой, слабокультуренной почве. Материнская порода — покровный суглинок. Мощность нерегнойно-аккумулятивного горизонта 20—22 см, подзолистый горизонт выражен неясно. Перед закладкой опыта почва в пахотном слое имела следующие агрохимические показатели: рН солевой вытяжки — 4—4,3; гидролитическая кислотность — 3,04—5,04 мг-экв/100 г почвы; обменная кислотность — 0,23—0,58 мг-экв/100 г почвы; сумма поглощенных оснований — 9,1 мг-экв/100 г почвы; содержание гумуса — 1,67—1,81%, общего азота — 0,1%, подвижного фосфора — 3,3—4,6 мг/100 г почвы, подвижного калия — 9,3—12 мг/100 г почвы.

В опыте изучалось влияние на урожай и плодородие почвы четырех севооборотов (двух пятипольных с клевером 1-го и 2-го года пользования и двух четырех-

польных — плодосменного и зернопропашного) при двух глубинах основной обработки почвы (на 20—22 и 30—32 см). Возделывание культур в севообороте осуществлялось при четырех вариантах удобрений: О (без удобрений); $N_{50}P_{75}K_{90}$; навоз (15 т/га); $N_{50}P_{75}K_{90}$ + навоз (15 т/га).

Опыт заложен в трехкратной повторности. Размер учетной делянки 245 м².

Стационарный опыт VII заложен в 1969 г. в учхозе «Михайловское» под руководством Б. А. Доснехова; Опыт проводится в севообороте во времени: озимая пшеница — ячмень — картофель — ячмень. Изучаются девять вариантов обработки почвы: 1-й, 6-й — обычная; 2-й — глубокая; 3-й, 4-й — фрезерная; 5-й — сочетание обычной с фрезерной; 7-й — сочетание глубокой с фрезерной; 8-й — сочетание двухъярусной с глубокой фрезерной; 9-й — сочетание трехъярусной глубокой и фрезерной. Каждый способ обработки осуществляется в семи вариантах удобрений на безгербицидном фоне и с применением гербицидов. Варианты удобрений следующие: 1-й — О; 2-й — $N_{225}P_{450}K_{225}$; 3-й — $N_{450}P_{630}K_{360}$; 4-й — солома 10 т/га + $N_{450}P_{630}K_{360}$; 5-й — навоз 70 т/га + $N_{450}P_{630}K_{360}$; 6-й — навоз 70 т/га + $N_{450}P_{630}K_{360}$ за ротацию севооборота. В вариантах 5—7-й предусмотрено периодическое и ежегодное внесение навоза и минеральных удобрений.

Размещение делянок в опыте — по типу латинского прямоугольника. Размер делянок первого порядка — 1260 м², второго порядка — 180 м², третьего порядка — 90 м². Общая площадь опыта 4,5 га.

Длительный опыт по окультуриванию старопахотной легкосуглинистой почвы, осуществляемый под руководством профессора В. В. Гриценко на полевой опытной станции ТСХА, заложен в 1955 г. В опыте изучается действие четырех способов обработки почвы на урожай культур опытного севооборота и плодородие дерново-подзолистой почвы. Варианты обработок следующие: 1-й — вспашка на 25 см; 2-й — вспашка на 25 см + почвоуглубление на 15 см; 3-й — безотвальное рыхление на 40 см; 4-й — дисковая обработка на 10—12 см.

Для решения ряда вопросов, которые не могли быть выяснены в стационарных опытах (использование растениями высоких доз минеральных удобрений в связи с различной гумусированностью почвы, влияние органического вещества на коэффициент использования

азота удобрений, установление оптимального режима органического вещества дерново-подзолистой почвы и др.), проведено большое количество мелкоделяночных полевых, вегетационно-полевых и вегетационных опытов. В вегетационных и вегетационно-полевых опытах использовали стабильный изотоп азота N^{15} и радиоактивный изотоп углерода C^{14} .

Влияние органического вещества на физические и физико-механические свойства почвы

Влияние органического вещества на физические свойства почвы в целом общеризнано.

Однако внимательное критическое ознакомление с литературными источниками показывает, что экспериментальные данные, характеризующие зависимость физических свойств почвы от содержания в ней органического вещества, получены либо в модельных опытах при смешивании определенных количеств минеральной части почвы с органическим веществом, обычно торфом, либо при анализе почв разных типов, резко различающихся по содержанию органического вещества.

Физические характеристики, полученные первым методом, составляют, как правило, основу целых разделов физики почвы, что, конечно, не может быть принято без известных оговорок, обусловленных тем, что почва — биокосное, по выражению В. И. Вернадского, тело, испытывающее в своем развитии сложное взаимодействие живого и мертвого. Свойства такого тела могут варьировать и количественно, и качественно.

Большое внимание в агрофизических исследованиях уделяется изучению роли органического вещества в механизме проявления тех или иных физических свойств почвы. Что же касается количественного влияния органического вещества при агротехнически возможных масштабах регулирования его режима и баланса в условиях конкретной интенсивно используемой почвы, т. е. сугубо производственной стороны дела, таких данных очень мало. В основном эти исследования посвящены структуре почвы. По другим физическим свойствам, в частности физико-механическим и технологическим, имеющиеся единичные работы в лучшем случае лишь качественно отражают зависимость этих свойств от содержания органического вещества почвы.

Большой производственный интерес к физическим свойствам почвы объясняется, с одной стороны, тем, что дорогостоящие агротехнические приемы интенсивного земледелия требуют создания соответствующих максимально благоприятных условий водно-воздушного режима почвы. С другой стороны, возрастающее применение в современном земледелии экономически наиболее эффективных тяжелых тракторов и сельскохозяйственных машин, новые технологические принципы механической обработки почвы предъявляют и более высокие, чем прежде, требования к физическим свойствам почвы.

Оптимальное использование почвы потребует в ближайшее время не только всемерного улучшения ее физических свойств, но и прогнозирования этих свойств в условиях принятой системы земледелия, предвидения их изменений на перспективу.

Наши исследования касались главным образом физико-механических и технологических свойств почвы. Вместе с тем понимание динамики этих свойств в ряде случаев невозможно без знания механического и агрегатного состава почвы, плотности, строения пахотного слоя. Поэтому освещение результатов исследования этих свойств, важных самих по себе, предпосылается анализу физико-механических и технологических свойств почвы.

Исследования показывают, что 70-летнее унавоживание почвы в длительном опыте ТСХА не привело к заметному изменению такой важной характеристики почвы, как механический (гранулометрический) состав. Последний для почвы длительного опыта отличается очень низким содержанием физической глины ($< 0,01$ мм) и илистой фракции ($< 0,001$ мм). Из механических элементов в почве длительного опыта преобладают фракции песка (1—0,05 мм) и крупной пыли (0,05—0,01 мм); почвенная разновидность опытного участка — легкий песчанисто-пылеватый суглинок.

Результаты анализов почвенных образцов, взятых с целинной межи, граничащей с опытным участком, также не свидетельствуют о заметном изменении механического состава почвы (отмечена лишь тенденция к повышению фракции физической глины и ила). Заметим, что содержание гумуса в целинной почве превышает содержание органического вещества в унавоживаемой почве. Кроме того, происхождение и характер

гумусовых веществ этой почвы, обязанных многолетней травянистой растительности, несколько иные. Тем не менее общая картина гранулометрического состава аналогична таковому унавоживаемой почвы и в целом существенно не отличается от механического состава почвы других вариантов опыта. Сравнение наших данных с материалами, опубликованными С. И. Ильменевым (1938) и А. А. Шаймухаметовой (1963), показывает, что механический состав почвы длительного опыта ТСХА во времени не испытал достоверно установленных изменений, что свидетельствует о малом влиянии агротехнических приемов на механический состав почвы и позволяет считать его сугубо генетическим, качественным признаком почвы.

Обогащение дерново-подзолистой почвы органическим веществом способствует улучшению агрегатного состава почвы, повышению водопрочности макроструктуры. Более гумусированные почвы бессменной ржи и севооборотного поля имели более прочную структуру не только в слое 0—20 см, но и в слое 20—40 см. Коэффициент корреляции между содержанием в почве гумуса и наличием водопрочных макроагрегатов составил $\pm 0,65$ (табл. 3).

На среднесуглинистых почвах учхоза «Михайловское» в стационарном опыте после четырех лет примене-

Таблица 3

Влияние унавоживания на содержание в почве
водопрочных агрегатов ($>0,25$ мм),
длительный опыт ТСХА

Вариант опыта	1971 г.		1974 г.	
	в слое* 0—20 см	в слое* 20—40 см	в слое** 0—20 см	в слое* 20—40 см
Пар бессменный:				
0	4,7	3,1	8,1	Не опр.
навоз	11,6	8,7	10,6	Не опр.
Рожь бессменная:				
0	41,8	48,9	17,3	41,6
навоз	51,8	47,4	20,6	43,6
Севооборот, 132-е поле				
0	43,1	44,1	13,5	24,9
навоз + NPK + известь	55,7	55,8	16,4	33,7

* При анализе исключена доля механических частиц $>0,25$ мм.

** Из результатов анализа исключена фракция среднего песка.

ния навоза (15 т/га ежегодно) в севообороте (табл. 4) также отмечено улучшение структуры почвы.

Таблица 4

Влияние унавоживания почвы
на коэффициент структурности
и количество водопрочных агрегатов
в слое 0—20 см, 1970 г.

Вариант опыта	Плодосменный севооборот		Травяной севооборот	
	коэффициент структурности почвы	количество водопрочных агрегатов (%)	коэффициент структурности почвы	количество водопрочных агрегатов (%)
<i>При вспашке на 20—22 см</i>				
0	2,13	52,4	2,32	46,1
НПК	2,14	53,2	2,01	41
Навоз	2,4	54,8	2,3	48,4
<i>При вспашке на 30—32 см</i>				
0	1,85	51,8	—	—
Навоз	2,22	53,6	—	—

Низкое содержание в дерново-подзолистой почве водопрочных макроагрегатов позволяет считать основным видом структуры на этих почвах микроагрегаты.

Результаты микроагрегатного анализа показали, что микроагрегаты почвы бессменного пара и контрольного варианта бессменного картофеля (табл. 5) не полностью водопрочны, о чем можно судить по величинам коэффициента дисперсности (по Н. А. Качинскому) и фактора структурности (по Фагслеру). В почве других вариантов, лучше обеспеченной органическим веществом, микроструктура находится полностью в водопрочном состоянии.

В интенсивном земледелии имеет значение не только водопрочность макро- и микроагрегатов, но и более полная структурно-механическая характеристика (прежде всего микроагрегатов), их прочностные свойства. Вскрыть внутреннюю природу прочностных свойств микроагрегатов позволяют реологические исследования.

Установлено, что дерново-подзолистые почвы при влажности нижней границы текучести проявляют тиксотропно-дилатантные свойства. При увеличении влажности грубодисперсные частицы разрушают коагу-

Таблица 5

Микроагрегатный состав почвы длительного опыта ТСХА,
слой 0—20 см, 1974 г.

Вариант опыта	Содержание микроагрегатов разного размера (мм) в почве (% к весу)						Коэффициент дисперсности по Н. А. Качинскому	Фактор структурности по Фагелеру
	1—0,25	0,25—0,05	0,05—0,01	0,01—0,005	0,005—0,001	<0,001		
Пар бес- сменный:								
0	26,92	30,75	33,56	4,18	3,91	0,68	10,7	89,3
навоз	38,23	21,49	29,25	5,6	4,55	0,88	10,7	89,3
Рожь бес- сменная:								
0	31,87	24,95	35,89	4,59	2,7	0	0	100
навоз	35,44	24,76	29,77	6,37	3,66	0	0	100
Картофель бессменный:								
0	36,95	26,11	29,09	5,63	1,94	0,28	4,8	95,2
навоз	39,98	25,38	24,77	4,83	4,96	0	0	100
Севооборот, 132-е поле:								
0	38,88	20,52	29,96	5,12	5,52	0	0	100
NPK	31,88	21,31	34,63	6,62	5,56	0	0	100
навоз + NPK + +Ca	34,99	20,46	32,05	6,94	5,4	0	0	100
Целинная межа	40,6	21,91	27,54	5,91	4,04	0	0	100

ляционно-тиксотропные структуры и наблюдается проявление пльвунно-дилатантных свойств. Внесение навоза ослабляет дилатантность системы и усиливает проявление коагуляционного структурообразования. Характер формирования структурных связей в почве под действием удобрений оказывает влияние на состояние ее микроструктуры и агрегированность.

Слабая оструктуренность дерново-подзолистой почвы длительного опыта ТСХА в значительной степени определила плотное сложение пахотного слоя почвы. Как показали исследования, с помощью механической обработки можно создать благоприятное строение пахотного слоя. Однако устойчивость его зависит от гумусированности почвы. Так, низкогумусированная почва бессменного пара, несмотря на интенсивную обра-

ботку, отличается плотным сложением и большой плотностью почвы. Исключительно важное значение органического вещества в поддержании благоприятного для возделывания растений строения почвы подтверждают результаты неоднократных определений плотности почвы межи. Как правило, ее равновесное значение соответствует оптимальной для развития растений плотности почвы.

Средние данные по четырем срокам определения плотности почвы показывают средней тесноты отрицательную связь этого показателя с содержанием в почве гумуса (коэффициент корреляции — 0,63). Величина равновесной плотности снижается по мере повышения гумусированности почвы; это положение имеет большое практическое значение при обработке почвы и создании условий, позволяющих переходить к системам оптимальной и минимальной обработки почвы.

Одно из наиболее важных физико-механических свойств почвы — ее пластичность или способность деформироваться во влажном состоянии без разрыва сплошности под влиянием внешней нагрузки и сохранять деформацию неопределенно долгое время после прекращения влияния нагрузки. Пластическое состояние почвы определяется нижним и верхним пределами, разница между которыми называется числом пластичности. Разные почвы имеют неодинаковое число пластичности. Первую классификацию почв по числу пластичности приводит Аттерберг. Он делит почвы на четыре класса: 1) высокопластичные глинистые почвы с числом пластичности свыше 17; 2) пластичные суглинистые почвы с числом пластичности от 17 до 7; 3) слабопластичные супесчаные почвы с числом пластичности меньше 7; 4) непластичные почвы (пески).

Свойство пластичности проявляется в почвах лишь при определенном содержании рыхлосвязанной воды, когда почва теряет присущую ей прочность в сухом состоянии и в то же время еще не достигает предела текучести.

Пределы пластичности имеют большое значение при определении физической спелости почвы, готовности ее для обработки.

Наиболее благоприятное состояние для механической обработки почвы — переход от полутвердой консистенции к твердой, характеризуемый нижним пределом пластичности. Обработка почвы при влажности

выше этого предела ухудшает качество пахоты: почва не рассыпается на структурные отдельности, а вследствие проявления липкости мажется, мнется, ложится лентой. При обработке сухой почвы структура, наоборот, распыляется.

Проведенные нами экспериментальные исследования показывают, что при одинаковой влажности и механическом составе почвы решающим фактором регулирования в широком интервале физико-механических и технологических свойств пахотной дерново-подзолистой почвы является содержание в ней органического вещества. Земледельческие приемы, изменяя количественно режим и баланс органического вещества, оказывают тем самым влияние и на физико-механические и технологические свойства почвы.

Длительное возделывание полевых растений в севообороте или бессменно на почвах разного механического состава приводит к однозначным изменениям пластичности почвы (табл. 6).

Из табл. 6 следует, что нижняя граница пластичности (НГП), означающая переход почвы в спелое

Таблица 6

Влияние длительной культуры полевых растений на пластичность легкосуглинистой дерново-подзолистой почвы. Длительный опыт ТСХА, средние данные за 1972—1973 гг.

Культура	В слое 0—20 см				В слое 20—40 см			
	содержание гумуса (С%)	нижняя граница пластичности (НГП)	верхняя граница пластичности (ВГП)	число пластичности	содержание гумуса (С%)	нижняя граница пластичности (НГП)	верхняя граница пластичности (ВГП)	число пластичности
		% влажности почвы				% влажности почвы		
Рожь бес- сменная	0,97	15,57	19,43	3,86	0,37	15,02	18,32	3,3
Картофель бессменный	0,71	14,87	18,07	3,2	Не опре- деля- лось	13,08	17,27	4,19
Севооборот, 132-е поле	0,77	15,82	19,78	3,96	0,42	14,16	17,69	3,53

состояние и, следовательно, ее готовность к механической обработке, под бессменной рожью в слое 0—20 см была равна 15,57% влажности почвы, под бессменным картофелем — 14,87 и в севообороте — 15,82%. Таким образом, начало обработки почвы разных вариантов соответствует разной влажности почвы; почвы севооборотного поля и бессменной ржи могут быть качественно обработаны при влажности примерно на 1% выше, чем почва бессменного картофеля. Верхняя граница пластичности (ВГП), характеризующая начало текучести почвы, в целом изменяется в соответствии с нижней границей пластичности. Общий показатель пластических свойств почвы, число пластичности в севообороте и под бессменной рожью были одинаковы, под бессменным картофелем — заметно ниже.

Аналогичную картину можно наблюдать и для слоя почвы 20—40 см, где влажность нижней границы пластичности в севооборотном поле, особенно под бессменным картофелем, ниже, чем под бессменной рожью.

В механическом составе почвы длительного опыта в учхозе «Щапово» содержание физической глины составило 37% против 17—20% в почве длительного опыта ТСХА, а содержание илистой фракции — 12,56% (в опыте ТСХА — 6—9%). Число пластичности почвы в опыте учхоза «Щапово» примерно в 1,5 раза выше такового для почвы длительного опыта ТСХА. Тем не менее и здесь отчетливо проявляется роль органического вещества: чем выше содержание его в почве, тем большей влажности почвы соответствует нижняя граница пластичности (и тем раньше наступает состояние физической спелости почвы). Особенно убедительно подтверждает сказанное нижняя граница пластичности почвы бессменной люцерны. Повышение гумусированности почвы этого поля на 0,2—0,3% обусловило наступление состояния физической спелости почвы при очень высокой влажности (около 29% против 20—22% для почвы других вариантов).

Другое важное физико-механическое свойство почвы — твердость. Исследованиями установлено, что она в начальные фазы развития зерновых при влажности почвы 18—25% не должна превышать 5—6 кг/см², в середине вегетации — 20—25 кг/см². Твердость выше 25—30 кг/см² для них надо считать отрицательной. Очень твердая почва накапливает меньше осадков и менее их

сохраняет по сравнению с умеренно твердой. Для пропашных культур твердость пахотного слоя не должна превышать 5—8 кг/см² в течение всего периода их вегетации.

С точки зрения обработки почвы и требований растений твердость — свойство отрицательное. Твердые почвы оказывают большое сопротивление рабочим органам почвообрабатывающих машин. Высокая твердость почвы препятствует росту проростков и корней растений и нередко является причиной гибели посевов.

Проведенные исследования (табл. 7) показывают, что на дерново-подзолистых почвах влияние полевых растений на твердость, как и на пластичность почвы, находится в тесной связи с их воздействием на гумусовый баланс.

Таблица 7

Влияние длительного возделывания полевых культур на твердость почвы (кг/см²).
Длительный опыт ТСХА

Культура	Слой почвы (см)	1972 г.		1973 г.		1974 г.		Среднее за три года	
		твердость	влажность (%)	твердость	влажность (%)	твердость	влажность (%)	твердость	влажность (%)
Рожь бес- сменная	0—20	15,5	11,2	12	11,6	12,6	14,7	13,4	12,5
	20—40	41	8,4	28,2	10,6	26,3	12,2	31,8	10,4
Картофель	0—20	9,2	12,8	10,7	16,6	4,8	13,5	8,2	12,3
	20—40	27,8	11,9	30,6	10	20,1	12,4	26,2	11,4
Севооборот, 132-е поле	0—20	26,4	10,6	5,8	11,6	20,4	13	17,5	11,7
	20—40	52,4	8,7	31,2	11,9	34,5	10,6	39,4	10,4

Более гумусированная почва бессменной ржи по сравнению с севооборотным полем в среднем за три года имеет значительно лучшие показатели твердости как пахотного, так и подпахотного слоев почвы.

Но в отличие от пластичности твердость почвы в большей мере зависит от обработки почвы. Сравнение отдельных культур по их влиянию на динамику твердости при анализе почвы, не достигшей равновесной плотности, показывает не столько влияние собственно культуры растений на твердость почвы, сколько в значительной степени влияние обработки почвы на этот показатель. Пропашные культуры, возделывание которых сопряжено с интенсивной обработкой, способствуют

поддержанию почвы в менее твердом состоянии. Аграрии и другие культуры сплошного сева в этом смысле менее эффективны. Сказанное объясняет меньшую твердость почвы под бессменным картофелем, в почве которого содержание гумуса значительно ниже, чем в почве бессменной ржи и севооборотного поля.

Высокая влагоемкость органического вещества почвы, способность увеличивать свой объем при набухании оказывают влияние на набухание почвы в целом. Набухание характерно, естественно, и для минеральных коллоидов.

Увеличение объема почвы происходит за счет оболочек связанной воды, которые формируются вокруг коллоидных и глинистых частиц. Эти оболочки уменьшают силы сцепления между частицами, раздвигают их и способствуют увеличению объема почвы. Основными факторами, определяющими характер набухания, являются минералогический и гранулометрический состав почвы, состав обменных катионов, а также содержание и качество органического вещества почвы. Так, минералы, имеющие подвижную кристаллическую решетку (группа монтмориллонита), обладают большей величиной набухания по сравнению с минералами группы каолинита, имеющими жесткую кристаллическую решетку.

Важное значение для набухания имеет содержание в почве органического вещества. Чем оно гидрофильнее, тем больше показатель набухания. Гидрофильность органических веществ, входящих в состав гумуса, зависит от его возраста. Чем «моложе» органическое вещество, тем оно гидрофильнее. На начальных стадиях превращения органическое вещество отличается более высокой гидрофильностью.

Установлено, что применение минеральных удобрений, особенно на фоне извести, увеличивает показатель набухания. Внесение же навоза, по мнению ряда авторов, усиливает больше гидрофобные свойства, а, следовательно, меньше увеличивает набухание.

Наши данные показывают, что возделывание полевых культур бессменно или в севооборотах разных видов оказало заметное влияние на набухание почвы.

На основании экспериментальных данных можно утверждать, что бессменные посевы и севообороты разных видов не различаются принципиально по своему воздействию на физические свойства почвы. Чередува-

ние культур в севообороте оказывает сильное влияние на урожай, однако плодородие почвы, в частности физико-механические и технологические свойства, в большей степени определяется не величиной урожая, а влиянием отдельных культур на содержание и состав органического вещества почвы.

Длительное систематическое применение минеральных и органических удобрений, известкование почвы оказывают многообразное влияние на физико-механические и технологические свойства дерново-подзолистой почвы. Анализ экспериментальных данных, представленных дальше, не позволяет тем не менее найти другое объяснение изменениям физико-механических и технологических свойств почвы, как считать эти изменения в основном косвенным результатом процессов превращения органического вещества почвы.

Использование в наших исследованиях длительных полевых опытов позволяет уловить и те незначительные изменения свойств почвы, отрицательные или положительные, которые обусловлены систематическим применением исключительно минеральных удобрений.

Данные табл. 8 показывают положительное влияние длительного унавоживания на пределы пластичности почвы. В целом более гумусированная почва бессменной ржи обладала большей пластичностью, чем почва севооборотного участка и бессменного картофеля. Влияние унавоживания на пределы пластичности проявляется не только в нахотном, но и в подпахотном слое почвы.

На делянках, удобряемых минеральными удобрениями, отмечено ухудшение показателей пластичности почвы, причем под бессменным картофелем оно заметнее, чем в севооборотном поле. Известкование повышает пределы пластичности почвы, систематически удобряемой минеральными удобрениями. Положительно влияет известкование и на пластичность унавоженной почвы. Такое действие известно, по-видимому, объясняется не только устранением отрицательного влияния минеральных удобрений на физико-химические свойства почвы, но и более глубоким действием на почву, в частности, на состав и природу гумусовых веществ.

На среднем суглинке длительного опыта в учхозе «Щапово» влияние унавоживания и внесения НРК на увеличение влажности нижней границы пластичности (НГП) более заметно, чем в длительном опыте ТСХА.

**Влияние систематического применения удобрений
на пластичность легкосуглинистой дерново-подзолистой почвы.
Длительный опыт ТСХА,
средние данные за 1972—1973 гг.**

Вариант опыта	В слое 0—20 см			В слое 20—40 см		
	НГП	ВГП	число пластич- ности	НГП	ВГП	число пластич- ности
<i>Рожь бессменная</i>						
НРК	15,23	19,39	4,16	13,73	17,48	3,75
НРК+известь	17,79	22,88	5,09	16,29	20,64	4,35
Навоз	16,87	21,54	4,67	14,07	17,6	3,53
Навоз+известь	18,46	23,38	4,92	14,67	18,13	3,46
<i>Картофель бессменный</i>						
НРК	14,78	18,15	3,37	13,66	15,92	2,26
НРК+известь	15,92	18,99	3,07	14,61	17,49	2,88
Навоз	14,78	17,9	3,12	12,93	15,98	3,05
Навоз+известь	15,82	19,13	3,31	13,42	16,24	2,82
<i>Севооборот, 132-е поле</i>						
НРК	16,82	20	3,18	16,24	19,65	3,41
НРК+известь	18,19	21,1	2,91	15,96	20,21	4,25
Навоз+НРК	17,6	21,25	3,65	14,97	18,4	3,63
Навоз+НРК+ +известь	17,37	20,9	3,53	15,84	19,38	3,49

О влиянии систематического применения удобрений и извести на набухание дерново-подзолистой почвы можно судить по характеру кривых набухания. Абсолютные показатели набухания унавоженной почвы значительно выше, чем для почвы контрольных и НРК делянок, однако эффект известкования в повышении набухания почвы выше, чем эффект унавоживания.

Среди технологических свойств почвы важная роль принадлежит липкости: излишняя липкость значительно увеличивает тяговое сопротивление почвообрабатывающих орудий и резко ухудшает качество обработки.

Известно, что в сухом состоянии почва не прилипает, это свойство проявляется только во влажной почве. Характер явлений на границе раздела твердой и жидкой фаз зависит от свойств воды, которые резко изме-

ляются с приближением последней к твердой поверхности.

Кроме того, между частицами почвы и водой может иметь место и химическое взаимодействие, в результате чего почвенные частицы покрываются сольватными оболочками, поверх которых и располагается физически связанная вода. Она представляет собой студнеобразный коллоидный раствор, за счет которого и происходит прилипание.

Кроме влажности существенным фактором, влияющим на величину липкости, являются минералогический и механический состав, состав обменных катионов, удельное давление и длительность действия нагрузки, материал штампа.

Минералогический состав определяет дисперсность грунтов и влияет на образование в них связанной воды. При прочих равных условиях монтмориллонитовые глины обладают большей липкостью по сравнению с гидрослюдами и каолином.

Как показали исследования, величина прилипания увеличивается с возрастанием содержания глинистых частиц лишь до определенного предела, а именно до 60%. Дальнейшее увеличение фракции глины не оказывает существенного влияния на величину максимального прилипания. Смеси, содержащие от 60 до 100% глинистых частиц, имели одну и ту же величину максимального прилипания.

Анализ наших данных приводит к следующим выводам:

почва бессменной пара по сравнению с почвой бессменной ржи обнаруживала значительно большую склонность к залипанию (начало залипания для почвы пара наступало при влажности на 2—3% ниже, чем для почвы бессменной ржи);

по вариантам удобрений большей липкостью отличались почвы контрольных и особенно НРК-делянок; унавоживание обуславливало как начало залипания при большей влажности, так и более позднее максимальное залипание;

наибольший абсолютный максимум липкости характерен для деленок, систематически удобряемых НРК, а также для почвы бессменной ржи в варианте «навоз + известь».

Поскольку максимальное залипание почвы обычно соответствует ее капиллярному насыщению, то данные

Влияние длительного применения удобрений
на липкость капиллярно насыщенной почвы
бессменной ржи, слой 0—20 см, 1974 г.

Вариант удобрений	Липкость (г/см ²)	Влажность капиллярного насыщения (%)	Число определений
0	13,4	21,2	20
НРК	11,33	23,6	40
Навоз	10,3	24,1	30
Навоз + известь	8,18	28,4	35

табл. 9 показывают, что разноудобренные почвы бессменной ржи при этой влажности имели разные величины липкости.

Унавоживание почвы и унавоживание при периодическом известковании обусловили значительное абсолютное уменьшение липкости, хотя влажность капиллярного насыщения почвы последних деленок была значительно выше.

В наших исследованиях установлено, что основным фактором изменения коэффициента трения почва — стала является влажность почвы. Действие других факторов, в частности гумусированности почвы, менее значительно и полностью перекрывается действием первого фактора.

В той мере, в какой применение удобрений — средство регулирования баланса органического вещества почвы, оно оказывает влияние и на твердость почвы. Так, систематическое применение НРК не оказало положительного влияния на твердость, тогда как унавоживание, особенно в сочетании с известкованием, значительно улучшало показатели твердости почвы. Такое действие навоза отмечено не только для почвы бессменной ржи (табл.10), но и для поля бессменного картофеля и в севообороте. Положительное действие унавоживания и известкования проявляется не только в слое 0—20 см, но и в слое 20—40 см.

Интересно отметить, что интенсивная механическая обработка почвы бессменного картофеля обеспечивает в период вегетации более благоприятные условия твердости, чем, например, те, которые характерны для бессменной ржи. Однако в подпахотном слое почвы, почти

Таблица 10

Влияние длительного применения удобрений
на твердость дерново-подзолистой почвы,
длительный опыт ТСХА

Вариант удобрений	Слой почвы (см)	1972 г.		1973 г.		1974 г.		Средние данные за три года	
		твердость (кг/см ²)	влаж- ность (%)	твердость (кг/см ²)	влаж- ность (%)	твердость (кг/см ²)	влаж- ность (%)	твердость (кг/см ²)	влаж- ность (%)
<i>Бессменная рожь</i>									
НРК	0—20	18,6	11,9	15,9	8,1	9,2	15,8	14,6	11,9
	20—40	36,7	8,4	27,4	7,5	20,7	12,6	28,3	9,5
Навоз	0—20	14,3	11,3	14,6	9,6	5,4	16,6	11,4	12,5
	20—40	36,3	7,8	22,2	10	13,9	13	24,1	10,3
НРК + известь	0—20	8,6	14,6	13,4	11,9	3,6	14,6	8,5	13,7
	20—40	29,3	10,4	27,4	10,6	13	11,5	23,2	10,8
Навоз + известь	0—20	7,4	15,1	8,9	11	2,2	16,7	6,2	14,3
	20—40	24,4	11,2	21,1	10,6	12,1	13,8	19,2	11,9
<i>Бессменный картофель</i>									
НРК	0—20	6,6	12,8	7,7	11,4	4,4	12,8	6,2	12,3
	20—40	26,6	10,8	26,7	10,5	22,5	10,4	25,3	10,6
Навоз	0—20	7,4	13,1	5,1	11,4	1,8	13,4	4,8	12,6
	20—40	25,2	10,5	22,1	10,7	16,7	11,4	21,3	10,9
НРК + известь	0—20	5,6	13,9	26,1	11	24,7	12	25,1	12
	20—40	26,6	13,4	22,9	12,1	20,1	11,6	23,2	12,4

не затрагиваемом междурядными обработками, твердость почвы находится на том же уровне, что и под бессменной рожью.

Твердость почвы, как и другие физико-механические свойства почвы, в сильной степени зависит от влажности. По нашим расчетам, зависимость твердости от влажности почвы подчиняется уравнению гиперболы.

Кроме рассмотренных физико-механических свойств важным прочностным показателем почвы являются сопротивление сдвигу и его характеристики: сцепление и внутреннее трение.

Систематическое длительное уваживание дерново-подзолистой почвы способствовало уменьшению сдвигающего усилия. Кривые изменения усилия сдвига в зависимости от нормальной нагрузки и влажности почвы бессменной ржи в варианте «навоз + известь» наклонены к оси абсцисс и имеют меньший угол внутреннего

трения, чем для почвы контрольного варианта. Сцепление (связность) почвы — отрезок, отсекаемый прямой на оси ординат, — изменяется в соответствии с изменением влажности почвы.

Обработка почвы — основной технологический процесс в земледелии. Хотя с помощью обработки регулируют в широком диапазоне физические и биологические свойства почвы, тем не менее одновременно в почве происходит и ряд нежелательных процессов. В первую очередь обработка способствует быстрой минерализации органического вещества почвы, в результате которого резко ухудшаются физические свойства почвы.

Возможность проследить отрицательное действие утрированной интенсивной обработки дерново-подзолистой почвы на ее физико-механические и технологические свойства дает нам в длительном опыте ТСХА поле бессменного пара.

Установлено, что почва бессменного пара поспевет для обработки (НГП) при очень низкой влажности (не превышающей 13,56%). При влажности 16—17% почва начинает течь. Диапазон влажности физической спелости почвы крайне узок. Систематическое применение минеральных и органических удобрений не привело к улучшению пластичности почвы.

Почва бессменного пара весной быстро пересыхает и распыляется, что обуславливает ухудшение и без того неблагоприятных физико-механических свойств почвы. Так, твердость почвы пара значительно выше, чем в других полях длительного опыта. Этот факт свидетельствует о том, что сколько-нибудь устойчивое действие обработки почвы на основные физические свойства проявляется при определенных гумусированности (не ниже критического уровня) и агрегированности почвы.

Набухание почвы бессменного пара характеризуется крайне малой величиной, причем действие на набухаемость почвы систематически вносимых удобрений мало заметно.

Общее отрицательное состояние физико-механических свойств почвы бессменного пара хорошо согласуется с крайне неблагоприятным балансом гумуса в пахующей почве.

С технологической точки зрения большой интерес представляют данные о податливости почвы разной степени гумусированности к изменению плотности при соприкосновении почве дозированной нагрузки (табл. 11).

Изменение плотности разногумусированной почвы
длительного опыта ТСХА
при изменении внешнего давления,
слой 0—2^а см, средние данные за 1973—1974 гг.

Влажность почвы	Исходная плотность почвы (г/см ³)	Плотность почвы при нагрузках (кг/см ²)		
		0,5	1	2
<i>Рожь бесменная, контроль</i>				
2,4	1,57	1,59	1,65	1,64
10,3	1,62	1,65	1,68	1,67
14,4	1,59	1,66	1,7	1,73
18	1,6	1,66	1,7	1,73
<i>Рожь бесменная, навоз + известь</i>				
1	1,38	1,41	1,44	1,41
16,2	1,51	1,56	1,6	1,62
17,9	1,32	1,38	1,44	1,47
19,6	1,46	1,53	1,54	1,57
25,7	1,42	1,54	1,6	1,62

Более гумусированная почва бесменной ржи в варианте «навоз+известь» даже при нагрузке 2 кг/см² высокой влажности не уплотнялась выше уровня 1,62 г/см³ против 1,73 г/см³ для почвы контрольного варианта. Уплотнение усиливается по мере повышения влажности почвы. Увеличение нагрузки от 1 до 2 кг/см² практически не изменило плотности почвы как контрольного варианта, так и варианта «навоз+известь».

Поскольку превращения органического вещества — интегральный показатель изменения свойств дерново-подзолистой почвы при ее интенсивном использовании — большой научно-производственный интерес представляют теснота и форма связи физико-механических технологических свойств с содержанием в почве органического вещества. Приняв условно показатели механического состава почвы в разных вариантах опыта за одинаковые, мы рассчитали с помощью корреляционного и регрессионного анализов математическое выражение этой зависимости.

Как показали расчеты, между пределами пластичности и гумусированности почвы теснота прямой положительной связи характеризуется коэффициентом корреляции +0,51 для нижней границы пластичности

и $+0,61$ — для верхней. Уравнения регрессии $Y=3,37X+12,59$ (для нижней границы пластичности) и $Y=5,08X+14,5$ (для верхней границы пластичности) позволяют определять расчетным путем границы пластичности суглинистых почв с содержанием гумуса от 0,5 до 1,6% углерода.

Установлена тесная отрицательная коррелятивная связь между твердостью и гумусированностью почвы. Коэффициенты корреляции для разных сроков определения твердости колеблются от $-0,63$ до $-0,77$ при 1% уровня значимости.

Снижение влажности почвы до 5—6%, а также увеличение ее выше 16% ослабляет связь между твердостью и содержанием в почве органического вещества. Самая тесная связь ($r=-0,77$) отмечена при влажности физической спелости почвы, соответствующей для почвы длительного опыта ТСХА, 13—16%.

Зависимость между набуханием и гумусированностью почвы подчиняется уравнению регрессии $Y=4,67X+0,56$ (коэффициент корреляции $+0,63$).

Связь влажности начального залипания с содержанием гумуса в почве характеризуется коэффициентом корреляции $+0,86$. Влажность максимального залипания также тесно коррелирует ($r=+0,9$) с содержанием органического вещества в почве.

Уравнения регрессии $Y=6,14X+12,92$ (для начала залипания) и $Y=4,08X+7,53$ (для максимального залипания) позволяют предвидеть изменения липкости дерново-подзолистой почвы в заданном интервале гумусированности (0,5—1,6% С).

Отдельные физико-механические и технологические свойства почвы находятся в постоянном взаимодействии между собой. Поэтому больше оснований говорить о совокупном проявлении названных свойств почвы. Последнее может быть оценено условно рассчитанным показателем — агрофизическим баллом почвы. В табл. 12 представлены как исходные условные показатели отдельных свойств почвы по вариантам, так и агрофизический балл.

Поскольку физико-механические и технологические свойства почвы оказывают положительное влияние на рост растений и приемы обработки почвы только в определенном интервале их значений, то состояние, оцененное как хорошее, удовлетворительное или неудовлетворительное, следует воспринимать критически.

Условная (в баллах) агрофизическая характеристика дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы разной степени окультуренности, длительный опыт ТСХА, 1975 г.

Вариант опыта	Водорочность структуры	Общая влажность	Плотность почвы	Гранулы пластичности		Влажность заплата		Набухание	Твердость	Средний балл
				верхняя	нижняя	начала	максимум			
Пар бессеменной:										
0	0	42,6	37,5	0	0	0	7,8	0	26,8	12,7
НРК	14	34	33,4	6,1	6,3	0	0	13	44,3	16,8
навоз	9,4	35,1	37,5	0	2,3	30	23,4	13	59,9	23,4
Рожь бессеменная:										
0	80,9	25,5	20,8	41,4	44,7	100	45,3	49,6	45,3	50,4
НРК	41,7	63,8	37,5	40,8	38,2	60	61	30,6	36,8	45,6
навоз	100	61,7	70,8	72,7	69,8	100	61	53,6	52,6	71,3
навоз+Са	76,6	86,2	75	100	100	78	100	100	81,1	88,5
Картофель бессеменной:										
0	38,3	87,2	87,5	21	31,5	—	—	—	69,8	55,9
НРК	52,9	90,4	95,8	22,4	30	—	—	—	81,4	62,1
навоз	50,9	97,8	100	18,7	30	—	—	—	90,8	64,7
навоз+Са	52,7	100	100	37	49,5	—	—	—	92,4	71,9
Севооборот, 132-е поле:										
0	39	0	0	46,6	49,5	40	26,6	34,1	32,1	29,8
НРК	51,6	12,7	8,3	50	68,6	—	—	37,4	28,6	36,3
навоз+НРК+Са	62,3	32	8,3	63,2	79,1	—	—	47,1	49,1	48,7

Средний балл физико-механических свойств легко-суглинистой дерново-подзолистой почвы длительного опыта ТСХА не достигает уровня хорошей оценки (80—100 баллов). По вариантам удобрений, обусловившим разную гумусированность и окультуренность почвы, заметны существенные различия.

Применение навоза и навоза+NPK, обусловившее положительный баланс гумуса почвы, обеспечивает и лучшие физико-механические свойства почвы и соответственно наивысший агрофизический балл.

Самый низкий балл (12,7) свойствен почве неудобренной делянки бессменного пара. Наиболее высокий балл отличает почву бессменной ржи. В севооборотном поле физико-механические свойства почвы и агрофизический балл несколько хуже, чем под бессменными рожью и картофелем.

Проведенные расчеты показали наличие прямой положительной корреляции между содержанием гумуса и величиной агрофизического балла почвы ($r = +0,81$). Уравнение прямолинейной регрессии для определения агрофизического балла по гумусированности почвы имеет вид $Y = 68,6X - 20,2$.

Таким образом, зависимость между содержанием в дерново-подзолистой интенсивно используемой почве органического вещества и ее физико-механическими и технологическими свойствами многосторонняя и имеет, как правило, строго определенное математическое выражение (в большинстве случаев по типу уравнений линейной регрессии). Этот факт важен не только с точки зрения направленного улучшения физико-механических и технологических свойств почвы путем обогащения ее органическим веществом, но дает возможность быстро и без выполнения дорогостоящих анализов определять состояние физико-механических свойств почвы, интервалы ее физической спелости расчетным путем.

Последнее позволяет в лучшие агротехнические сроки и при высоком качестве осуществлять приемы механической обработки почвы. Кроме того, на основе прогнозирования физико-механических свойств почвы становится возможным рациональное агрегатирование почвообрабатывающих машин.

Органическое вещество и биологическая активность почвы

Живые организмы — обязательный компонент почвы. Количество их в хорошо окультуренной почве может достигать нескольких миллиардов в 1 г почвы, а общая масса — до десятка тонн на 1 га.

Доминирующее значение принадлежит растительным микроорганизмам (бактерии, грибы, водоросли, актиномицеты). Животные организмы представлены простейшими (жгутиковые, корненожки, инфузории) а также имеющими большое агрономическое значение — дождевыми червями. Довольно широко распространены в почве моллюски и членистоногие (паукообразные, насекомые).

Почвенные организмы разрушают отмершие остатки растений и животных, поступающие в почву, причем часть продуктов минерализации усваивается растениями, другая часть переходит в форму гумусовых веществ и живых тел почвенных организмов. Некоторые микроорганизмы (клубеньковые и свободноживущие азотфиксирующие бактерии) усваивают азот атмосферы и тем самым обогащают им почву.

Почвенные организмы (особенно фауна) способствуют перемещению веществ по профилю почвы, тщательному перемешиванию органической и минеральной части почвы.

Почвенные организмы выделяют в процессе жизнедеятельности различные физиологически активные соединения, способствуют переводу одних элементов в подвижную форму и, наоборот, закрепляют другие в недоступной для растений форме.

В узкоспециализированном интенсивном земледелии экологические условия могут иногда в решающей степени определять эффективное плодородие почвы. В почве отдельные виды микроорганизмов не живут обособленно: существуют тесные, многообразные связи между всеми почвенными организмами. Причем вся эта система находится в состоянии непрерывно изменяющегося равновесия. Одни группы микроорганизмов предъявляют простые требования к пище, другие — сложные. Между одними группами существуют симбиотические (взаимно полезные) связи, между другими — антибиотические. Микроорганизмы в последнем случае выде-

ляют в почву вещества, подавляющие развитие других микроорганизмов.

Практическое значение имеет способность некоторых микроорганизмов оказывать губительное действие на представителей фитопатогенной микрофлоры. Усилить активность желательных микроорганизмов часто удается путем внесения в почву органического вещества. В этом случае отмечается вспышка в развитии почвенных сапрофитов, которые в свою очередь стимулируют развитие микроорганизмов, угнетающих фитопатогенные виды.

Для нормального функционирования почвенных организмов необходимы прежде всего энергия и питательные вещества. Если для высших растений единственным источником энергии является солнечная энергия, то для подавляющего большинства микроорганизмов почвы такой источник энергии — органическое вещество почвы. Активность почвенной микрофлоры в первую очередь зависит от поступления или наличия в почве органического вещества.

При благоприятных условиях скорость размножения почвенных микроорганизмов необычайно высока. Так, количество микроорганизмов может удваиваться каждые 20—60 мин. При беспрепятственном размножении одна бактериальная клетка в течение суток может дать массу плазмы 1800 т или опоясать за 1,5 суток земной шар по экватору. Скорость передачи энергии для некоторых бактерий близка к скорости звука.

В современной агрономии для характеристики многообразной деятельности почвенных микроорганизмов используется показатель «биологическая активность почвы». К сожалению, единого толкования этого показателя нет. В одних случаях под биологической активностью понимают общую биогенность почвы, определяемую обычно подсчетом общего количества почвенных микроорганизмов. Если иметь в виду весьма несовершенные методики, применяемые в этом случае, и малую кратность определений во времени, то результаты анализа дают весьма примерную картину биологической активности почвы. Данные об общем количестве микроорганизмов дополняют качественным анализом микрофлоры.

Существует и другая точка зрения относительно метода определения биологической активности почвы, согласно которой необходимо учитывать прежде всего ре-

зультаты деятельности почвенных организмов. Методы, основанные на учете конечных результатов микробиологической деятельности, называются биохимическими.

Наиболее универсальный показатель деятельности почвенных организмов — продуцирование ими углекислоты.

Следует, однако, отметить технические трудности, возникающие в практике использования разных методов учета углекислоты почвы. Исследования ряда ученых, а также наши работы показали возможность использования для характеристики дыхания почвы манометрических методов, позволяющих избежать искажения результатов учета биологической активности почвы за счет таких трудноучитываемых факторов динамики углекислоты, как изменение температуры почвы, атмосферного давления и др.

Помимо продуцирования углекислого газа, о результатах жизнедеятельности почвенных микроорганизмов судят также по таким биохимическим тестам, как нитрифицирующая и аммонифицирующая способность почвы, ферментативная активность, целлюлозоразрушающая способность. Учитывая это, в проведенных исследованиях наряду с продуцированием почвой углекислого газа определяли общее количество микроорганизмов, целлюлозоразрушающую, нитрифицирующую и аммонифицирующую способность почвы.

Широкому использованию для определения «дыхания» почвы манометрического опыта предшествовали методические исследования, в ходе которых была разработана пропись методики, в строгом соответствии с которой проведены все анализы.

Кроме установления количественных изменений биологической активности почвы в зависимости от ее гумусированности, внесения удобрений, применения севооборота и обработки почвы мы стремились с помощью корреляционного анализа представить взаимозависимость отдельных биологических свойств почвы, а также установить связь между биологической активностью и эффективным плодородием почвы (урожаем).

Интенсивность дыхания почвы в длительном опыте ТСХА (табл. 13) находится в тесной положительной связи с содержанием в почве органического вещества (коэффициент корреляции $+0,7-0,8$). Наибольшей интенсивностью дыхания отличается почва бессменной ржи, затем следует почва севооборотного поля. Меньше

Влияние длительного применения удобрений, севооборота и обработки на интенсивность дыхания пахотного слоя дерново-подзолистой почвы, 1972 г.

Вариант опыта	Продуцирование CO ₂	Поглощение O ₂	Дыхательный коэффициент $\frac{X_{CO_2}}{X_{O_2}}$
	мкл/г-ч		
<i>Длительный опыт ТСХА</i>			
Бесменный пар:			
0	0,99	0,63	1,57
NPK	1,06	0,77	1,37
навоз	1,33	0,79	1,68
Бесменная рожь:			
0	4,87	4,36	1,11
NPK	5,41	4,69	1,15
навоз	5,71	5,42	1,05
Севооборот, 132-е поле:			
0	2,69	2,28	1,18
NPK	3,26	3,12	1,04
навоз + NPK	4,45	3,71	1,19
<i>Длительный опыт ДАОС</i>			
0	2,89	1,93	1,49
NPK Ca	3,37	3,03	1,11
навоз	4,18	3,46	1,21
1/2навоз + 1/2NPKCa	3,57	3,03	1,19
<i>Длительный опыт в учхозе «Щапово»</i>			
Севооборот I:			
0	2,61	3,98	0,65
навоз + NPK	5,35	5,39	0,98
Севооборот IV:			
0	1,78	3,21	0,56
навоз + NPK	4,81	5,28	0,91
Бесменная люцерна:			
0	7,74	6,73	1,14

всего продуцируется углекислоты и поглощается кислорода почвой пара, в котором содержание гумуса самое низкое. По вариантам удобрений на всех полях наиболее интенсивен газообмен в навозоженной почве.

Величина дыхательного коэффициента (отношение количества выделенной почвой углекислоты к количеству поглощенного кислорода), с которой связывают характер метаболических превращений веществ при их окислении, заметно выделяется на делянках пара.

В длительном опыте Долгопрудной агрохимической опытной станции на тяжелосуглинистой дерново-подзолистой почве при внесении эквивалентных доз навоза и минеральных удобрений показатели дыхания почвы при унавоживании значительно лучше, чем при внесении исключительно NPK или NPK в сочетании с навозом (по половинной дозе). В контрольном варианте при самом низком содержании в почве гумуса (0,6% С) отмечена и самая низкая интенсивность газообмена.

Аналогичные данные по дыханию почвы получены в третьем длительном опыте (учхоз «Щапово»).

Дыхание почвы, являясь характерной общей биогенности почвы, достаточно точно отражает эффективное плодородие почвы. Коэффициент корреляции между этими показателями в длительном опыте ТСХА составил +0,56.

Количество микроорганизмов в почве длительного опыта ТСХА (табл. 14) в целом соответствует уровню дыхания почвы (коэффициент корреляции +0,78).

Таблица 14

Влияние длительного систематического применения удобрений на количество микроорганизмов в почве (тыс. на 1 г воздушно-сухой почвы), длительный опыт ТСХА, средние данные за 1972—1973 гг.

Вариант опыта	Аэробы на МПА	Микроорганизмы на КЛА	Бациллы на СА+МПА	Грибы на подкисленном СА
Бессменный пар:				
0	535,5	5 607,9	3,4	3,9
NPK	189,6	8 217,4	1,2	6,5
навоз	799,7	7 338,5	7,3	13,7
Севооборот, 132-е поле:				
0	299,1	1 623,9	0,8	2,4
NPK	421,7	8 067,8	8,4	2,6
навоз+NPK	1 201,7	11 317,8	18,6	2,4

Наибольшее развитие микроорганизмов приходится на почвы унавоженных делянок. Почвы, не получающие удобрений или удобренные только NPK, отличаются значительно меньшей биогенностью. Порядок величин, характеризующих микрофлору бессменных и севооборотных полей, существенно не различается.

Унавоженные почвы длительного опыта ТСХА имели самую высокую индивидуальную производительность микроорганизмов. Особое положение занимает целинная почва межи, микроорганизмы которой по производительности превосходили микроорганизмы унавоженной деланки бессменной ржи более чем в 2 раза. Тот факт, что более гумусированные почвы не только более биогенны абсолютно, но и по сравнению с малогумусированными почвами населены микрофлорой, качественно отличной по своей активности от микрофлоры почв с низким содержанием органического вещества, может иметь принципиальное значение в интенсивном земледелии.

Дыхание почвы как показатель общей биологической активности обязано не только почвенной микрофлоре, но и фауне, включая и беспозвоночных.

В земледелии весьма важным показателем биологических свойств почвы является нитрифицирующая способность. Нитрифицирующая способность почвы — не новый метод характеристики плодородия, о его методической репрезентативности применительно к уровню эффективного плодородия почвы известно давно.

Таблица 15

Нитрифицирующая способность почвы
длительного опыта ТСХА,
слой 0—20 см, 1971 г.

Вариант опыта	N мг на 100 г абсолютно сухой почвы		
	до компостирования	после компостирования	% к исходному
Бессменный пар:			
0	0,45	0,95	210
навоз	0,6	1,2	200
Бессменная рожь:			
0	0,31	0,92	297
навоз	0,4	1,14	285
Севооборот, 132-е поле:			
0	0,67	2	299
навоз+NPK	0,71	2,15	303

Как следует из табл. 15, в пределах каждого поля длительного опыта ТСХА почвы с большим содержанием гумуса накапливали большее количество нитратов. Однако при сравнении севооборотного поля с участками бессменных культур необходимо особо подчеркнуть эф-

факт чередования («почвоутомление»), обуславливающий сильное угнетение процесса нитрификации в почве бессменных культур.

В стационарных опытах в учхозе «Михайловское» тоже констатировано, что систематическое внесение в почву минеральных и органических удобрений, а также глубокая обработка почвы в севообороте оказали заметное влияние на комплекс биологических свойств почвы. Удобрения оказывали сильное действие на количество микроорганизмов в почве, причем наивысшая численность их характерна для вариантов с внесением навоза или навоза совместно с NPK. Следует отметить, что по мере окультуривания почвы возрастает количество бактерий, использующих минеральный азот (микроорганизмы на КАА). Наибольшее количество бактерий отмечено в варианте «навоз+NPK». Окультуривание почвы способствует повышению биогенности и подпахотного слоя. Что же касается глубины обработки, то последняя не оказывала положительного влияния на увеличение количества микроорганизмов в почве.

Дыхание почвы в зернопропашном севообороте на удобренных делянках заметно интенсивнее дыхания почвы на контроле. При глубине вспашки 20—22 см интенсивность дыхания при внесении навоза была максимальной. На фоне более глубокой вспашки интенсивность газообмена унавоженной почвы несколько ниже, чем минерально удобренной.

Нитрифицирующая способность почвы в отличие от рассмотренных ранее показателей характеризует активность одной физиологической группы микроорганизмов — нитрификаторов. Нитрифицирующая способность почвы в слое 0—40 см на контроле заметно уступает по своей величине энергии нитрификации в почве удобренных вариантов. Углубление вспашки до 30—32 см, особенно на контрольной делянке, уменьшает способность почвы накапливать нитраты.

Учет разложения в почве льняного полотна, в последнее время широко применяющийся рядом исследователей, позволяет судить о наличии в почве минерального азота и мобилизационных возможностях почвы в отношении этого элемента.

Целлюлозоразрушающая способность почвы как показатель биологической активности может быть принята с известными оговорками, поскольку к группе целлюлозоразрушающих микроорганизмов прежде всего

следует отнести грибы рода *Trichoderma*, *Penicillium* и др., а наличие грибов в почве не является показателем высокого плодородия. Однако, с другой стороны, развитие в почве целлюлозоразрушающей микрофлоры находится в тесной связи с содержанием минерального азота, достаточной аэрацией почвы (целлюлозоразрушающие микроорганизмы, в основном аэробы), благоприятным тепловым и водным режимом почвы.

Исходя из сказанного, целлюлозоразрушающая способность почвы может одновременно косвенно отражать благополучие почвенных свойств и служить дополнительным показателем биологической активности почвы.

Установлено, что интенсивность разложения клетчатки в почве зернопропашного севооборота под клевером невысока, что можно объяснить отсутствием механической обработки почвы в данном поле, низким содержанием минерального азота. Интенсивность разложения льняной ткани резко уменьшается с глубиной, что объясняется уменьшением доступа кислорода и падением содержания органического вещества.

Усиление разложения льняной ткани при внесении минеральных удобрений, по-видимому, следует объяснять поступлением в почву доступного минерального азота. При совместном применении НРК и навоза разложение льняной ткани по сравнению с контролем увеличилось в 2 раза. Углубление вснашки не обусловило усиления деятельности целлюлозоразрушающей микрофлоры почвы.

Картина разложения льняной ткани в почве под картофелем была иной. Здесь прежде всего следует отметить в целом более значительную убыль веса ткани по всем делянкам опыта.

На основании вышеизложенного можно утверждать, что биологическая активность почвы была наиболее высокой в зернопропашном севообороте под картофелем. Решающая роль в этом принадлежит характеру использования поля (пропашная культура с интенсивной механической обработкой почвы), а также высокому содержанию в почве свежего растительного материала после распашки клеверного пласта. Действие минеральных удобрений как фактора, усиливающего целлюлозоразрушающую способность почвы под картофелем, значительно ниже, чем под клевером, что объясняется большим накоплением в почве минерального азота независимо от внесения НРК. Этим же можно объяс-

нить и меньший эффект совместного внесения НРК и навоза.

На контроле при глубокой вспашке интенсивность разложения ткани под картофелем, как и под клевером, была несколько слабее, а в варианте с внесением НРК и навоза ткани разложилось больше, чем на контроле при обработке на 20—22 см.

Наибольшее количество дождевых червей было обнаружено в унавоженной, глубоко обрабатываемой почве. Минеральные удобрения действуют на дождевых червей резко отрицательно.

Корреляционный анализ, результаты которого сведены в табл.16, показал наличие существенной положительной корреляции между величиной урожая и такими свойствами почвы, как продуцирование CO_2 , нитри-

Таблица 16

Взаимозависимость (коэффициенты корреляции) показателей биологической активности почвы и их связь с урожаем, опыты в учхозе «Михайловское», 1972—1974 гг.

Показатель	Продуцирование почвой CO_2	Нитрифицирующая способность почвы	Целлюлозоразрушающая способность	Количество дождевых червей в почве
Урожай культур	0,71	0,77	0,82	-0,24*
Продуцирование почвой CO_2	—	0,47*	0,58	—
Нитрифицирующая способность	0,47*	—	0,74	—

* Корреляция незначительна при 0,05 уровня значимости.

фицирующая и целлюлозоразрушающая способность почвы. Корреляция между урожаем и численностью дождевых червей отрицательная и незначительна при 0,05 уровня значимости.

Следует отметить отсутствие положительной корреляции между дыханием почвы и нитрифицирующей способностью ее. Этот факт можно объяснить тем, что, с одной стороны, нитрифицирующие микроорганизмы представляют частную и весьма малочисленную группу почвенных микроорганизмов, а с другой стороны, эти микроорганизмы находятся под сильным воздействием экологических факторов, которые в свою очередь не

оказывают заметного влияния на общую биогенность почвы. И наоборот, корреляция между дыханием почвы и целлюлозоразрушающей микрофлорой является существенной, что объясняется большим распространением этой группы микроорганизмов в почве и меньшей зависимостью ее от экологических факторов. Положительная корреляция между нитрифицирующей и целлюлозоразрушающей способностью почвы находит объяснение в том факте, что минеральные формы азота, в частности нитраты, — необходимое условие развития целлюлозоразрушителей.

В процессе жизнедеятельности микроорганизмы выделяют в окружающую среду большое количество различных ферментов. Установлено, что корневые системы растений тоже способны выделять в почву разнообразные ферменты, которые определенное время сохраняют свою активность. Не исключена возможность выделения ферментов и разнообразными почвенными животными. Таким образом, можно считать, что, помимо микроорганизмов, в почвенных процессах большое значение имеют ферменты.

Ферментативная активность — это одна из важных характеристик почвы, представляющая собой совокупность процессов поступления, стабилизации и действия ферментов в почве. Накапливаясь в почве, ферменты становятся неотъемлемыми компонентами экосистемы.

Почва — самая богатая система по ферментативному разнообразию. Ферменты принимают участие в различных биохимических процессах. Под их воздействием происходят наиболее важные, периодически повторяющиеся превращения в биохимических циклах углерода, азота, фосфора и других элементов; окислительно-восстановительные процессы, а также минерализация органических остатков и образование гуминовых веществ в почве. Многие исследователи считают, что ферментативная активность в полной мере отражает напряженность и направленность биохимических процессов, протекающих в почве.

Важная роль ферментов в почве заключается еще и в том, что они отражают функциональное состояние ее живого населения. Под действием ферментов органические вещества почвы и остатки биоты распадаются до различных промежуточных и конечных продуктов минерализации. При этом для микроорганизмов и растений

образуются доступные питательные вещества и освобождается энергия. Выявлено и непосредственное участие ферментов в ассимиляции растениями питательных веществ. Изучение ферментативной активности почв имеет большое значение в познании сущности почвообразовательного процесса и оценке плодородия. В последнее время ферментативная диагностика почв используется широко. Активность ферментов является устойчивым и чувствительным показателем биогенности почв.

В настоящее время в почве обнаружено 25 ферментов. Из них наибольшее внимание привлекают восемь: гидролитические — протеаза, уреаза, фосфатаза, инвертаза; окислительно-восстановительные — каталаза, дегидрогеназа, полифенолоксидаза, пероксидаза. Их активность характеризует интенсивность различных агрономически значимых процессов: процессы превращения соединений углерода — углеводов (инвертаза) и ароматических соединений (полифенолоксидаза, пероксидаза); реакции выделения кислорода (каталаза). Таким образом, эти ферменты связаны с наиболее важными биохимическими процессами почвы: корневым питанием растений и плодородием почвы.

Уровень активности ферментов определяется многими факторами: различным содержанием микроорганизмов, фауны, их разнообразием, интенсивностью биологических процессов, химическими и физико-химическими свойствами почвы, содержанием органического вещества, механическим составом, степенью насыщенности основаниями, реакцией среды, ее природой и составом катионов почвенного поглощающего комплекса.

Большое влияние на формирование ферментативного комплекса оказывают высшие растения. Влияние растений проявляется как прямым путем в результате выделения внеклеточных ферментов корневой системой в процессе метаболизма и внутриклеточных ферментов при микробном разложении растительных остатков, так и косвенным путем через проявление ризосферного эффекта на почвенную микрофлору. Это подтверждается тем, что активность ферментов почвы в ризосфере выше, чем в почве без растений, и сильно изменяется в зависимости от вида возделываемых сельскохозяйственных культур.

Основными экологическими факторами, регулирующими деятельность микроорганизмов и активность поч-

венных ферментов, являются влажность, температура, рН. Рядом авторов убедительно показано, что почвенные ферменты проявляют необычайную устойчивость к неблагоприятным условиям. По данным Е. П. Мишустина, каталаза, протеолитические ферменты сохраняют свою активность при уровне влажности почвы 5—10% полной влагоемкости, когда растения и микроорганизмы прекращают жизнедеятельность.

В воздушно-сухой почве ферментативная активность хотя и несколько снижается, но остается на высоком уровне. Почвенные ферменты обладают большой термоустойчивостью. Термоустойчивость ферментативной активности почвы коррелирует с содержанием глины, с влажностью почвы. Ферментативная активность сохраняется при высушивании и при пониженных температурах, а разрушается лишь при температуре, превышающей 100° С. Почвенные ферменты менее чувствительны, чем микроорганизмы, к радиоактивному, ультрафиолетовому, инфракрасному облучениям.

Ферментативная активность как почвенная биологическая характеристика зависит от физического состояния почв. Почвы тяжелого механического состава обладают более высокой ферментативной активностью, чем почвы легкого механического состава. Чем тяжелее механический состав почвы, тем больше в ней адсорбируется ферментов.

Температура и влажность — наиболее важные из условий, регулирующих биологическую активность почвы. Активность окислительно-восстановительных ферментов начинает проявляться при влажности 13% от полевой влагоемкости. Максимальная активность отмечена при содержании 40—45 мм воды в слое почвы 0—20 см, или 40—44% от полевой влагоемкости. Ферментативная активность почвы при повышении влажности до 70% полевой влагоемкости повышается. Температурные оптимумы активности большей части почвенных ферментов находятся в пределах 50—60° С. Однако температурные оптимумы ферментов северных почв несколько ниже, чем южных. По мере повышения температуры от 0 до 20° С активность всех ферментов прогрессивно возрастает. Дальнейшее повышение температуры сопровождается ростом дефицита увлажнения почв и вызывает резкое падение активности ферментов. Ферменты наиболее активны в оптимальном интервале температур: для инвертазы — 18—25° С, для каталазы — 15—20° С.

За пределами оптимальных температур активность ферментативных процессов резко падает.

Существует также тесная связь между активностью ферментов и степенью увлажнения почв. Наибольшая активность инвертазы и каталазы отмечена при влажности почв 15—20%. Активность всех ферментов резко снижается при дефиците почвенного увлажнения. При повышении влажности почв за пределы оптимума (20—35%) тоже наблюдается значительное уменьшение активности ферментов.

Активность отдельных ферментов максимальна при различных сочетаниях температурного и водного режимов. Оптимальные сочетания температуры и влажности почв составляют: для инвертазы — 15—20° С и 18—20% влажности, для каталазы — 15—20° С и 16—20%. Дальнейшее повышение температуры сопровождается увеличением дефицита увлажнения почв, что вызывает резкое падение активности ферментов. При пониженной температуре и повышенной влажности почв активность ферментов уменьшается незначительно.

Ферментативная активность тесно связана с концентрацией водородных ионов в почве. Показатель рН оказывает заметное влияние на все звенья процесса формирования и функционирования ферментного потенциала почвы — поступление, иммобилизацию и действие ферментов. Реакция почвенной среды определяет биомассу, состав и физиологическую активность продуцентов ферментов, интенсивность поступления ферментов в почву и возможность сохранения их активности.

Оптимум рН действия инвертазы находится в кислом интервале рН 4,5—5. Максимум активности пероксидазы проявляется при рН 4,2, а при рН 6,5 активность фермента снижается.

При внесении извести на кислых дерново-подзолистых почвах активность одних ферментов — каталазы и полифенолоксидазы — повышается, а активность инвертазы и пероксидазы снижается.

Удобрения оказывают большое влияние на ферментативные процессы в почвах: повышая плодородие почвы в целом, они вместе с тем положительно действуют и на ее ферментативный уровень.

Активность ферментов в разных почвах неодинакова. Так, например, активность инвертазы снижается параллельно уменьшению содержания гумуса в почвах. Многие авторы отмечают наличие связи между актив-

ностью инвертазы и количеством гумуса в почве. Активность каталазы тесно связана и с содержанием гумуса и отражает уровень плодородия почв различных типов.

В исследованиях многих авторов получены доказательства преимущественного накопления ферментов в органической части почвы в виде фермент-гумусовых и фермент-углеводных комплексов, которые сформировались в процессе образования гумуса и связывания ферментов ранее образовавшимися гумусовыми веществами.

Экспериментально доказано, что чем богаче почва гумусовыми веществами, тем интенсивнее выражена адсорбция ферментов. Одновременно с адсорбцией уменьшается активность ферментов, а поэтому часто малогумусированные почвы показывают более высокую активность ферментов по сравнению с гумусированными почвами.

Внесение навоза чаще приводит к повышению активности гидролитических ферментов, а также каталазы, дегидрогеназы и полифенолоксидазы. При этом активность пероксидазы снижается. Эффект от навоза сказывается не только в год его применения, но и в последующие годы.

Под культурами севооборота активность основных гидролитических ферментов значительно выше, чем в почвах под теми же культурами, возделываемыми в бессменных посевах.

Чередование культур в севообороте создает лучшие условия для накопления и сохранения влаги, улучшает питательный режим, повышает численность микрофлоры и количество пожнивно-корневых остатков. Чередование культур в севообороте замедляет процесс разрушения гумусовых веществ почвы.

При бессменном посеве возделываемые растения оказывают специфическое действие на активность отдельных ферментов. Так, гидролиз веществ углеводного характера наиболее активно проходит под зерновыми культурами. Неодинакова активность ферментов, разлагающих органические соединения азота и фосфора под разными растениями. Это свидетельствует о наличии неравномерного и несколько одностороннего влияния растений на минерализацию органических веществ в почве. Активность каталазы, дегидрогеназы, пероксидазы в почве при бессменном посеве выше, и лишь ак-

тивность полифенолоксидазы больше в почве севооборота.

Следовательно, изменение ферментативной активности почвы обусловлено многими факторами интенсификации земледелия, среди которых удобрениям и севообороту принадлежит ведущая роль. Однако действие этих приемов на биохимические процессы в почве неоднозначно и определяется видами и нормами внесения удобрений, составом и чередованием культур в севообороте.

Одна из существенных причин снижения урожая и угнетения растений в бессменной культуре — токсичность почвы.

Многие исследователи считают, что растения страдают на «утомленных» почвах не от недостатка питательных веществ, а от накопления в них больших количеств токсинов, выделяемых микроорганизмами. Токсикоз почвы проявляется не только по отношению к высшим растениям, но и к низшим организмам — бактериям, грибам, актиномицетам, водорослям, нематодам и др.

Корневые системы некоторых растений накапливают и выделяют в почву вещества, угнетающие почвенную микрофлору и некоторые сельскохозяйственные культуры. По мнению многих исследователей, такими веществами являются фенольные соединения. Это объясняется тем, что фенольные соединения играют важную роль в обмене веществ у высших растений и занимают главное место во всех современных схемах гумификации. В почве чаще встречаются такие вещества фенольной природы, как нитрофенол, пирокатехин, протокатеховая, вератровая, сиреневая, ванилиновая кислоты. Установлено, что корневая система овса выделяет скополетин (вещество, близкое к кумарину), обладающий ингибирующим действием. В корнях люцерны аккумулируются алкалоиды, которые постепенно диффундируют в почву. На корнях люцерны третьего-четвертого года пользования начинают отмирать клубеньки в результате накопления в них алкалоидов. Поэтому вопрос о корневых выделениях растений и характере воздействия корневых остатков на почву в связи с развитием учения о севооборотах заслуживает дальнейшей разработки. Очевидно, имеются и иные моменты, определяющие влияние одного растения на другое. Можно полагать, что в зоне корней ряда растений избирательно накапливаются не-

которые группы микроорганизмов, неблагоприятно действующие на растения. Например, установлено, что вторичный посев ячменя существенно снижает урожай. Минеральные удобрения не снимают этой депрессии. В то же время кукурузу можно сеять по кукурузе несколько лет подряд без существенного снижения урожая.

В значительной мере содержание в почве фитотоксичных форм микроорганизмов зависит от плодородия почв и применения различных агротехнических приемов. Как правило, в хорошо окультуренных почвах содержится значительно меньше фитотоксичных микроорганизмов, чем в слабоокультуренных и целинных.

Внесение минеральных и особенно органических удобрений приводит к уменьшению в почве численности микроорганизмов этой группы. Но особенно сильное влияние на содержание фитотоксичных форм микроорганизмов оказывает бессменное выращивание сельскохозяйственных растений. Обычно при бессменном выращивании растений количество фитотоксичных форм микроорганизмов в почве значительно увеличивается.

Несомненный интерес представляет знание механизма действия фитотоксинов почвенных микроорганизмов на высшие растения. Некоторые из них могут оказывать существенное влияние на физико-химические свойства протоплазмы растительных клеток.

Фитотоксические вещества тормозят рост клеток корня растений в зоне растяжения. Таким образом, среди причин задержки роста растений под влиянием фитотоксических веществ могут быть явления торможения клеточного деления, хромосомные аберрации и замедленный рост клеток в зоне растяжения.

Фитотоксины почвенных микроорганизмов вызывают существенные изменения в химическом составе растений, нарушают обмен веществ в них. Определенное влияние оказывают фитотоксины на азотный обмен растений. Больше всего наблюдается изменений в соотношении между белковым и небелковым азотом, в содержании белков, увеличении накопления отдельных аминокислот, аммиака и других соединений, в состав которых входит азот. Фитотоксические вещества микроорганизмов могут оказывать существенное влияние на интенсивность дыхания растений. Фитотоксины почвенных микроорганизмов значительно снижают фотосинтетическую активность растений.

Многочисленные почвенные организмы в процессе своей жизнедеятельности вырабатывают разнообразные вещества, которые задерживают или полностью подавляют развитие многих патогенных грибов. Так, почва оказывает сильное фунгистатическое действие на прорастание конидий гельмихитоспорнума. Аналогичное действие оказывает почва на прорастание спор офиоболуса.

Корни растений выделяют различные аминокислоты, углеводы и другие вещества. Вместе с экссудатами в почву поступает большинство веществ, участвующих в метаболизме клеток высших растений: сахара, гликозиды, органические кислоты, витамины, ферменты, алкалоиды и др. Все эти вещества могут быть в той или иной мере использованы микроорганизмами в качестве источника питания. Для возбудителей корневых гнилей это имеет особенно большое значение, так как корневые экссудаты стимулируют их рост и обеспечивают развитие в ризосфере растений. Экссудаты корней и водные вытяжки из растений также стимулируют прорастание конидий офиоболуса и других грибов. Однако отдельные компоненты корневых выделений в больших концентрациях могут задерживать их прорастание.

Новейшие исследования, выполненные в нашей лаборатории, показывают тесную зависимость всего комплекса биологических свойств интенсивно используемой дерново-подзолистой почвы от длительного применения севооборота, бессменных культур и удобрений. В конечном счете сложное воздействие всего агротехнического комплекса на почвенную биоту проявляется через органическое вещество почвы. Установлено, что в почве бессменного пара численность микрофлоры была значительно ниже, чем под зерновыми культурами. Наибольшее снижение количества микроорганизмов произошло в почве бессменного пара, длительное время не получавшей удобрений. Это связано с уменьшением содержания органического вещества в парующей почве и изменением его качественного состояния. Последнее выражается в снижении содержания лабильной фракции и усложнении строения молекул гумусовых веществ вследствие гидролиза боковых цепей. Такое органическое вещество становится менее доступным для разложения микроорганизмами.

Под зерновыми культурами в варианте без удобрений поддерживается более высокий уровень микробиоло-

гической активности почвы, чем в бессменном пару. Это обусловлено ежегодным поступлением в почву растительных остатков и корневых выделений, которые служат источником питания и энергии для микроорганизмов.

Применение минеральных удобрений сопровождалось повышением численности микроорганизмов в почве бессменного пара и под зерновыми культурами.

Совместное внесение минеральных удобрений и навоза способствовало дальнейшему росту численности микрофлоры. Однако наибольший эффект от действия этого сочетания удобрений был получен на фоне известкования.

Положительное влияние севооборота на численность микроорганизмов проявлялось в вариантах без удобрений и при внесении НРК.

Применение навоза сглаживает положительное действие севооборота на микрофлору почвы, поскольку он устраняет дефицит органического вещества и выравнивает его разнокачественность.

Количество микроорганизмов в расчете на 1 г почвы находится в положительной связи с содержанием в почве органического вещества. Однако повышение содержания гумуса в почве различных вариантов опыта сопровождалось неодинаковым приростом численности микроорганизмов и соотношением их физиологических групп. Это обстоятельство подчеркивает разнокачественное состояние органического вещества почвы изучаемых вариантов.

Расчет численности микроорганизмов на 1 г углерода почвы показал, что заселенность органического вещества микрофлорой увеличилась по вариантам опыта в следующем порядке: О, НРК, НРК + навоз, НРК + навоз + известь. Изменение численности микроорганизмов обусловлено микрофлорой, использующей минеральный азот. Количество микроорганизмов, усваивающих азот органических соединений, в том числе бацилл, мало различалось по вариантам опыта. Содержание грибов в почве бессменного пара в расчете на 1 г углерода гумуса было в 2—5 раз больше, чем под растениями.

Положительное действие удобрений на активность инвертазы проявлялось только в бессменном пару. На известкованных делянках, удобренных НРК и навозом, она приближалась к уровню активности инвертазы под растениями.

При бессменном возделывании зерновых культур в вариантах без удобрений и при внесении НРК инвертазная активность почвы была несколько выше, чем в севообороте. Это связано, по-видимому, со значительным изменением биохимических циклов почвы при внесении навоза и извести независимо от характера использования почвы. Кроме того, действие инвертазы обусловлено наличием воды в почве, а влажность последней в вариантах без удобрений и с НРК при бессменном возделывании была выше, чем в севообороте.

Каталазная активность парующей почвы была значительно ниже, чем под растениями. Более существенное увеличение активности этого фермента в бессменном пару отмечено только в варианте с совместным внесением минеральных удобрений, навоза и извести. В этом случае повышение активности каталазы может быть вызвано увеличением численности почвенной микрофлоры.

При бессменном выращивании озимой ржи каталазная активность почвы была выше, чем в севообороте. Однако способ выращивания не оказывал существенного влияния на ее активность под ячменем.

Удобрения не влияли на каталазную активность почвы под растениями. Однако в почве бессменных посевов при внесении минеральных удобрений наблюдалось угнетение активности каталазы по сравнению с вариантом без удобрений. Отрицательное действие удобрений на активность каталазы, вероятно, связано с тем, что этот фермент в простетической группе содержит атом железа, и многие анионы, взаимодействуя с ним, инактивируют действие фермента. В то же время в почве севооборота при использовании минеральных удобрений снижения активности каталазы не наблюдалось. Возможно, это обусловлено различным качественным составом органического вещества.

К середине вегетации зерновых культур иолифенолоксидазная активность почвы уменьшается, а к концу — возрастает. Следовательно, можно предполагать, что к середине вегетации усиливается минерализация и снижается гумификация органического вещества по сравнению с весенним и осенним периодами.

В почве бессменного пара активность иолифенолоксидазы была меньше, чем под растениями. Применение удобрений способствовало ее повышению, особенно на известкованных делянках. Такое изменение активности

полифенолоксидазы полностью согласуется с содержанием органического вещества в почве.

Влияние удобрений на активность полифенолоксидазы почвы под растениями было менее заметным, что, вероятно, связано с постоянным притоком органического вещества в виде корневых выделений и растительных остатков, которые служили субстратом и источником ферментов.

Севооборот способствовал повышению полифенолоксидазной активности почвы под озимой рожью в варианте без удобрений. Внесение навоза элиминировало действие севооборота, что свидетельствует о важной регуляторной роли органического вещества в биохимических процессах, происходящих в почве.

Активность полифенолоксидазы в почве севооборота под ячменем была выше во всех вариантах опыта, чем в бессменных посевах.

По активности пероксидазы почвы удобренных деленок мало отличались от неудобренных.

Действие севооборота на пероксидазную активность проявлялось слабо. Некоторое ее увеличение в севообороте под озимой рожью отмечалось в середине и конце вегетации. Вероятно, в это время усиливается минерализация органического вещества.

Соотношение активности полифенолоксидазы и пероксидазы, выраженное в процентах, принято называть коэффициентом гумусонакопления. Коэффициент гумусонакопления в бессменном пару и бессменных посевах озимой ржи и ячменя увеличивался при внесении удобрений. В севообороте такой четкой зависимости не выявлено. По-видимому, в бессменных посевах зерновых культур создаются более благоприятные условия для гумификации органического вещества, чем в севообороте. Это полностью согласуется с содержанием гумуса в почве данных вариантов.

Влияние минеральных и органических удобрений проявлялось в повышении нитрифицирующей способности почвы. В бессменном пару она увеличилась более чем в 5 раз, а под растениями — в 1,5—2 раза.

Применение известкования в варианте совместного внесения минеральных удобрений и навоза не способствовало изменению потенциальной возможности почвы накапливать минеральный азот.

Действие зерновых культур на нитрифицирующую способность почвы было неодинаковым. Под бессменной

озимой рожью на удобренных делянках накопление нитратного азота в почве происходило более интенсивно, чем при бессменном возделывании ячменя.

Расчет нитрифицирующей способности на 1 г углерода почвы показал, что на фоне без известки с увеличением содержания органического вещества повышается способность почвы накапливать нитратный азот. Известкование затормаживает этот процесс. Однако такая закономерность присуща только почве бессменного пара. Под растениями резкое повышение нитрифицирующей способности в расчете на 1 г органического вещества наблюдалось на делянках с применением минеральных удобрений. В вариантах с совместным внесением NPK и навоза как с известью, так и без известки отмечается снижение нитрифицирующей способности.

В среднем за вегетацию выделение CO_2 и поглощение O_2 почвой бессменного пара повышалось при использовании минеральных удобрений и навоза. Наиболее резкое увеличение интенсивности дыхания отмечается в варианте совместного внесения минеральных удобрений, навоза и известки.

Под растениями наиболее существенное повышение продуцирования углекислоты и поглощения кислорода наблюдалось при внесении навоза. Известкование несколько увеличивало поглощение кислорода, что способствовало снижению дыхательного коэффициента.

Следовательно, выделение углекислоты и поглощение кислорода почвой с повышением содержания органического вещества возрастает, а дыхательный коэффициент приближается к единице. Наименьшие различия между продуцированием CO_2 и поглощением O_2 обнаружены на известкованном фоне.

Дыхание почвы в севообороте было несколько меньшим, чем в бессменных посевах зерновых культур. Это обусловлено не только содержанием в почве органического вещества, но и активностью биохимических процессов и уровнем химического окисления органического вещества.

В среднем за вегетацию содержание фенольных соединений в почве на удобренных делянках было выше по сравнению с контрольным вариантом. Наибольшее их количество отмечено при совместном внесении минеральных удобрений, навоза и известки. Это свидетельствует о том, что с повышением общего количества органиче-

ского вещества в почве увеличивается и содержание водорастворимых фенольных соединений.

Бессменное возделывание озимой ржи и ячменя способствовало большому накоплению в почве фенольных соединений, чем в севообороте. Так, в бессменном посеве озимой ржи содержание водорастворимых фенольных соединений в варианте без удобрений составило 2,03, а в севообороте 1,67 мг/кг почвы; при внесении минеральных удобрений соответственно 3,35 и 2,31; NPK - навоз -- 4,18 и 3,25; NPK + навоз + известь — 4,67 и 3,74 мг/кг. Подобные различия обнаружены в накоплении фенольных соединений в почве под ячменем.

Накопление в почве легкоподвижных фенольных соединений может оказывать ингибирующее действие на рост растений. Такой ингибирующий эффект сильнее выражен в бессменных посевах зерновых культур, чем в севообороте. Кроме того, большее содержание водорастворимых фенольных соединений отражает более высокий уровень трансформационных процессов органического вещества в почве и является показателем качественного состояния гумуса.

Урожайность озимой ржи и ячменя находилась в положительной связи с биологической активностью почвы. Эта связь была значима в пределах каждого способа возделывания. Однако при сравнении урожайности культур и биологической активности почвы в бессменных посевах и севообороте подобная зависимость несколько нарушается, что указывает на другие факторы, ограничивающие урожай. Одной из причин этого является фитосанитарное состояние посевов, в частности, поражение растений корневыми гнилями и накопление токсических веществ; содержание последних при бессменном возделывании озимой ржи было значительно выше, чем в севообороте.

В современном земледелии биологические свойства почвы приобретают особое значение. Наряду с участием почвенных организмов в «приготовлении» минеральной пищи растений все большую роль играют процессы биологической сорбции и превращения минеральных элементов, вносимых с высокими дозами удобрений, дезактивация пестицидов, превращение органического вещества, агрегирование почвенных частиц, снятие отрицательного влияния аллелопатических и экологических взаимоотношений отдельных культур и др. При интенсивном применении минеральных удобрений на дерново-

подзолистых почвах, по мнению ряда авторов, возможно ухудшение биологических свойств почвы. Этот вопрос получил отражение в исследованиях, начатых первоначально в лабораторных опытах. Так, в одном из опытов определяли силу роста всходов овса (сорт Орел) при посеве в чашки Петри с разными средами: почвой бессменного пара и 132-го севооборотного поля длительного опыта ТСХА, песком, песком с добавлением гуминовых кислот (2,5 мг на 1 кг песка), а также почвой целины. Почву для опыта отбирали из слоя 0—20 см. Каждый вариант среды удобряли возрастающими дозами минеральных удобрений по схеме: 0 (без удобрений), 1 NPK ($N_{100}P_{150}K_{120}$), 4NPK, 6NPK, 9NPK, 12 NPK. Влажность среды поддерживали на уровне 60% полной влагоемкости. Растения выращивали в течение двух недель, затем срезали, высушивали, результаты учета подвергали дисперсионному анализу. НСР в опыте не превышала 0,005 мг (или пять относительных единиц).

Полученные в опыте результаты позволяют судить о трансформационной способности в отношении минеральных туков песчаной культуры и почв разной степени гумусированности. Песок и песок с добавлением препаративно выделенных гуминовых кислот продуктивно использовали только четыре дозы NPK. Дальнейшее увеличение дозы NPK вызывало сильное угнетение всходов, причем последнее было менее выраженным при добавлении в песок гуминовых кислот, что объясняется повышением биологической активности среды. Почвы бессменного пара (унавоженная делянка) и севооборотного 132-го поля (контрольная делянка) максимальную силу роста обеспечивали при 6 дозах NPK, при 9 и 12 дозах NPK ингибирующее действие минеральных солей на этих средах было выражено меньше, чем на песке. Особое положение занимает вариант с целинной почвой. Эта почва оказалась в состоянии ассимилировать 9—12-кратные дозы минеральных удобрений без заметной депрессии силы роста растений. Поскольку физические условия при проведении опыта были равными, то различный рост всходов овса по вариантам опыта следует объяснить разной гумусированностью субстратов и в этой связи неодинаковыми биологическими свойствами почвы. Данные показывают, что минеральные удобрения увеличивали интенсивность дыхания почвы до уровня, примерно равного максимальному использо-

ванию субстратом НРК, затем интенсивность дыхания падала. Наибольшее выделение CO_2 характерно для целинной почвы. Расчет корреляции между силой роста всходов и дыханием почвы по 41-й дате дал величину $r = 0.51 \pm 0.11$.

Результаты полевых опытов с применением возрастающих доз минеральных удобрений при разном обеспечении почвы органическим веществом однозначно свидетельствуют о снижении биологической активности почвы при внесении больших количеств НРК. Почвы с повышенным содержанием гумуса, как правило, более устойчивы к отрицательному влиянию на эдафон минеральных удобрений, т. е. депрессия в них биологической активности отмечалась при очень высоких дозах туков. И наоборот, малогумусированные почвы испытывали сильную депрессию биологических процессов при внесении высоких и сверхвысоких доз НРК.

Органические удобрения (навоз, солома, торф и др.) оказывают положительное действие на биологическую активность почвы, нейтрализуя отрицательное влияние на микроорганизмы высоких доз НРК. Стабильность биологических процессов, по нашим данным, является одним из условий высокой производительности почвы при интенсивном применении минеральных удобрений. Этим в первую очередь следует объяснять более высокую эффективность минеральных удобрений при внесении их в хорошо гумусированную почву или в почву, заправленную органическими удобрениями.

На основании экспериментальных данных, полученных при использовании микробиологических и биохимических методов определения биологической активности почвы, изучения биологических свойств почвы в динамике (в течение вегетационного периода), а также исходя из результатов корреляционного и регрессионного анализов, можно утверждать о наличии самой тесной, по существу, функциональной зависимости биогенности почвы от содержания в ней органического вещества. Интенсивная химизация земледелия предъявляет повышенные требования к уровню биогенности почвы, стабильности ее биологического потенциала. В конечном счете многообразное участие почвенной микрофлоры (и фауны) в плодородии интенсивно используемой почвы находит отражение в ее трансформационных возможностях — интегральном показателе наиболее рационального земледельческого использования.

Органическое вещество почвы как источник азотного питания растений

Органическое вещество почвы и в настоящее время традиционно рассматривается как основной источник азотного и в значительной степени фосфорного питания растений. В органическом веществе заключено 98% всего запаса азота почвы, 80% серы и 60% фосфора. Естественно, что интенсивное земледелие должно базироваться на вносимых в почву элементах минерального питания растений, однако в ряде случаев органическое вещество почвы как источник минеральных элементов, по-видимому, еще долго сохранит свое значение.

На дерново-подзолистых почвах азот почти всегда является лимитирующим величиной урожая фактором; соответственно возрастает необходимость полной компенсации выноса его с урожаем. Хотя в ближайшем будущем земледелие на дерново-подзолистых почвах будет характеризоваться урегулированным балансом важнейших питательных элементов, тем не менее теоретически важно знать размеры возможного использования растениями почвенного азота, так как даже при положительном балансе азота в земледелии значительная часть внесенных в почву удобрений становится доступной растениям после трансформации их в почвенные запасы и последующей минерализации.

Результаты вегетационных опытов, проведенных с применением стабильного изотопа N^{15} , показывают, что на разнокультурных почвах доля почвенного азота в формировании урожая неодинакова. В длительном опыте ТСХА при систематическом унавоживании азот почвы участвовал в урожае овса на 39,3—42,4%, тогда как в контрольных вариантах (без внесения удобрений) это участие выразилось величиной 41,4—49,6%. Делянки, удобряемые исключительно минеральными удобрениями, занимали среднее положение. Таким образом, более окультуренные почвы, содержащие большие количества органического вещества и азота по сравнению с почвами малоокультуренными, относительно меньше поставляют растениям азота. Это, однако, касается только относительной величины участия азота собственно почвы в урожае. Абсолютные количества азота, поставляемые растениям окультуренной почвой, значительно больше. Заметим, что в опытах с N^{15} растения распола-

гали вполне достаточным количеством минерального азота меченых удобрений. Представляет интерес и тот факт, что внесение меченых азотных удобрений на фоне РК приводило к заметному, а иногда резкому усилению потребления собственно почвенного азота (на 9—67%), причем абсолютная мобилизация азота почвы достигала максимального размера на окультуренной, унавоженной почве.

Учитывая значительное участие собственно почвенного азота в урожае даже в условиях интенсивного применения удобрений, необходимо ускоренное окультуривание дерново-подзолистых почв, повышение запасов в них органического вещества.

Практика западноевропейских стран с высокоразвитым земледелием также свидетельствует о том, что значение органического вещества почвы как источника азотного питания растений по мере интенсификации полеводства не только не уменьшается, но даже возрастает (табл. 17).

Таблица 17

Источники доступного растениям азота в почве
и урожай важнейших культур в ФРГ

Источник усвояемого азота	Кг/га по годам			
	1800	1900	1935—1938	1960—1965
Навоз и другие органические удобрения	8	26	36	46
Минеральные удобрения	—	3	20	50
Почва	40	50	60	70
<i>Культура</i>	<i>Урожай (ц/га)</i>			
Пшеница	10,3	18,4	22,4	35,2
Картофель	80	126	171	251
Сахарная свекла	—	277	327	396

В чистом виде роль органического вещества почвы как источника азотного питания в наших опытах выявлена в контрольных вариантах, длительное время не получавших удобрений. Урожай культур на неудобряемых делянках обеспечиваются тем количеством азота, которое ежегодно минерализуется из валовых запасов почвы. Каковы возможности почвы в этом отношении, можно видеть из данных табл. 18.

Таблица 18

Состав азотного фонда почвы контрольных вариантов
длительного опыта ТСХА
(слой 0—20 см), 1963 г.

Культура	Азот (мг/100 г почвы)					
	общий	нитрат- ный	амми- ачный	легко- гидро- лизую- мый	труд- ногид- ролизу- емый	несид- ролизу- емый
Пар бессменный	78	0,4	3,6	12,8	16,9	46,5
% к общему азоту	100	0,5	4,6	16,4	21,7	59
Рожь бессменная	115	0,2	3,7	15,8	20,4	76,3
% к общему азоту	100	0,2	3,2	13,7	17,7	63,7
Севооборот, 132-е поле	110	0,4	4,2	13,2	21,2	72,7
% к общему азоту	100	0,4	3,8	12	19,3	66,1

Примечание. В таблице представлены средние величины из 9—12 определений форм азота в разные месяцы года.

Содержание общего азота характеризует потенциальные возможности азотного режима почвы; в то же время оно не позволяет судить о размерах эффективного, действительного использования его растениями. По общему признанию, наиболее достоверным показателем обеспеченности растений доступными формами азота является содержание в почве нитратного и аммиачного азота. В подзолистых почвах аммиачная форма азота часто оказывается основной для питания растений. Возможно, что в условиях низкой биохимической активности дерново-подзолистых почв процессы минерализации органического вещества задерживаются на стадии аммонификации. Отрицательное влияние на биохимические превращения азота в подзолистых почвах оказывает неблагоприятное состояние физико-химических и агрофизических свойств почвы, повышенная кислотность, низкое содержание поглощенных оснований, плотное сложение и др.

Почва бессменного пара за период опыта потеряла наибольшее количество азота; под бессменной рожью и в севообороте потери значительно меньше. Интенсивная обработка почвы (пар и севооборотное поле) обеспечивает большее образование в почве минеральных форм азота. Под бессменной рожью минерализация органического вещества носит замедленный характер. Помимо ограниченной обработки почвы в этом поле ингибирующее влияние на образование нитратов и аммиака,

но-видимому, оказывают и отрицательные экологические условия среды, обязанные бессменному возделыванию озимой ржи. Определение нитрифицирующей способности почвы подтверждает это предложение. Если в почве пара за время термостатирования содержание нитратного азота увеличилось с 0,45 до 0,95 кг/100 г почвы, а в севооборотном поле — с 0,67 до 2 мг/100 г почвы, то в почве под бессменной рожью — с 0,31 до 0,92 мг/100 г почвы.

Наиболее вероятный источник минерального азота в почве — фракция легкогидролизуемых азотсодержащих органических соединений, представленная в основном азотом амидов и частично аминокислот. Наибольшее абсолютное содержание этой фракции характерно для почвы бессменной ржи, наименьшее — для почвы бессменного пара, т. е. почва с большим запасом общего азота содержала и большее количество легкогидролизуемого азота. Относительное содержание этой фракции было наивысшим в почве пара, что с учетом содержания в этой почве трудногидролизуемого и негидролизуемого азота свидетельствует о высокой подвижности органического вещества в почве этого варианта.

Фракция трудногидролизуемого азота почвы представлена азотом аминокислот, диаминнокислот, азотистых оснований и некоторых белков. Содержание этой группы соединений мало изменяется по вариантам бессменных культур и севооборота, что хорошо согласуется с их малой подвижностью и устойчивостью к процессам превращения.

Негидролизуемые азотистые соединения, относящиеся в основном к типу меланинов и сложных белков, наиболее прочно связаны с минеральной частью почвы, на их долю приходится более половины общего азота почвы. В этой связи содержание негидролизуемого азота изменяется прямо пропорционально запасам общего азота почвы. Исследованиями ряда авторов установлено, что при окультуривании подзолистых почв, при их унавоживании и известковании азотный фонд почвы становится менее подвижным. Меньшая подвижность азотного фонда объясняется перераспределением в его составе разных групп соединений за счет увеличения доли трудногидролизуемых и главным образом негидролизуемых соединений.

Обеспечение растений минеральным азотом зависит не только от наличия в почве тех или иных групп азо-

тистых соединений, но и в большой мере от динамики этих форм во времени, перехода одних групп соединений в другие, темпов накопления минерального азота и его иммобилизации. Периодическое определение в почве содержания минеральных и органических азотистых соединений позволяет оценить как уровень их содержания, так и устойчивость азотного режима почвы. Последнее в условиях потенциально малоплодородных почв, какими являются почвы подзолистого типа, особенно важно.

Рассматривая динамику минерального азота в годовом цикле в почве контрольных вариантов длительного опыта ТСХА, следует заметить, что содержание нитратов в парующей почве подчиняется определенной закономерности: оно достигает максимальной величины в июле — августе. В весенние и осенне-зимние месяцы нитратов в почве заметно меньше, но тем не менее даже зимой они постоянно присутствуют в почве. Известно, что многие исследователи считали, что накопившиеся в летнее время в почве пара нитраты в осенние месяцы полностью исчезают из почвы. Причины этого явления они связывали как с поглощением нитратов развивающимися озимыми культурами, так и с процессами биологического закрепления (иммобилизация) минерального азота. Наши данные свидетельствуют о заметном содержании нитратов в зимние месяцы не только в почве пара, но и в севооборотном поле.

Под бессменной рожью динамика нитратного азота в годовом цикле выражена менее четко. В июне и сентябре нитратов в почве вообще не было обнаружено, а в августе отмечено максимальное содержание их.

Сравнение естественного хода нитрификации в удобряемой почве длительного опыта ТСХА с показателями нитрифицирующей способности тех же почв, определенной в лабораторных условиях, показывает, что почва опыта хотя и имеет определенные резервы нитрификации, не реализуемые в естественных условиях, но все же характеризуется слабым развитием этого процесса.

Количественное выражение динамики аммиачного азота в почве бессменных пара, ржи и в севообороте резко отлично от динамики нитратов. Как правило, содержание аммиачного азота превышает содержание нитратного в 10 раз и более, причем в пару и под рожью оно примерно находится на одном уровне. В почве се-

вооборотного поля аммиака почти во все сроки определения содержалось больше, чем в пару и под бессменной рожью.

Направление сезонной динамики аммиачного азота менее определенное, чем для нитратов. В целом аммиака в почве содержится больше в осенне-зимние месяцы. В начале лета содержание аммиака в почве заметно снижается, вновь повышается в июле, снижаясь в течение августа — октября.

Четко выраженная динамичность в поведении минеральных форм азота в годовом цикле объясняется сезонностью развития растений и почвенной фауны, резко выраженной цикличностью в развитии почвенной микрофлоры.

Последнее объясняют, с одной стороны, накоплением в почве специфических веществ и ингибиторов, с другой стороны — значительным размножением в почве в летнее время простейших. Немалое значение в динамике минерального азота, очевидно, принадлежит миграции его с током воды по почвенному профилю.

Динамика легкогидролизуемых азотистых соединений характеризуется следующими чертами. Как правило, повышенное содержание легкогидролизуемого азота соответствует периоду с минимальным содержанием в почве минерального азота. И наоборот, чем больше в почве нитратов и аммиака, тем меньше легкогидролизуемого азота.

Изменение содержания трудногидролизуемого азота в годовом цикле находится в обратном направлении с динамикой легкогидролизуемого азота. Вероятно, в периоды наибольшего развития микробиологической деятельности в почве часть трудногидролизуемых азотистых соединений расщепляется до более простых, легкогидролизуемых соединений. В периоды затухания микробиологической деятельности, возможно, химическим путем, идет обратный процесс.

Ежемесячные определения (расчетным путем) азота негидролизуемых соединений не позволяли обнаружить заметных изменений и тем более выявить направление динамики этой формы почвенного азота. Некоторое понижение содержания негидролизуемого азота отмечено весной, однако в целом незначительные изменения в содержании негидролизуемого азота подтверждают весьма устойчивую природу негидролизуемых азотсодержащих соединений почвы.

Органическое вещество дерново-подзолистой почвы не только источник азотного питания растений, но и важнейший агент трансформации внесенного в почву азота минеральных удобрений, причем последняя роль основывается прежде всего на сложном взаимодействии азота удобрений с органическим веществом почвы. Природа превращений внесенного в почву минерального азота еще не раскрыта полностью, но без сомнения в большой мере основывается на биологических свойствах почвы.

В 1972--1976 гг. нами проведена серия вегетационных и вегетационно-полевых опытов с использованием азотных удобрений, меченых N^{15} . Одной из основных задач в этих исследованиях было выяснение роли органического вещества почвы в использовании растениями высоких доз минеральных удобрений. В опытах использовали экстремальные экологически и по уровню плодородия варианты почв длительного опыта ТСХА.

Установлено, что полное минеральное удобрение оказывало одинаковое влияние на урожай овса в сосудах с почвой контрольной делянки и делянки, удобряемой в течение 60 лет исключительно минеральными удобрениями; в сосудах с унавоженной почвой бессменного овса урожай был примерно в 1,5 раза выше. Самая низкая эффективность азотных удобрений на фоне РК отмечена в варианте с длительным внесением в почву НРК; она повышается на контроле, и самая высокая эффективность отмечена на унавоженной почве. Метка азотных удобрений позволяет установить, что высокая эффективность азота в опыте с почвой бессменного овса основывается на следующем. Во-первых, использование меченого азота на унавоживаемой почве составило величину в 58%, тогда как этот показатель для почвы варианта «НРК» был равен 44,4%, а на контроле лишь 30,5%. Во-вторых, как было уже отмечено, из почвы с высоким содержанием гумуса и общего азота овес использовал значительно больше и собственно почвенного азота.

Аналогичные результаты получены в вегетационном опыте, в котором сосуды набивали почвой севооборотного поля.

Коэффициент использования азота из более окультуренной почвы, удобряемой павозом и НРК, равен 51,6%, в то время как коэффициент использования

азота, внесенного в неокультуренную почву (контрольный вариант), составил только 31,7%.

Собственно почвенного азота растения использовали из первой почвы 84,8 и 107,8 мг на сосуд, а из второй 46 и 63,5 мг на сосуд соответственно. В севообороте стимулирующее действие минеральных удобрений на использование растениями почвенного азота несколько меньше, чем в почве бессменной культуры.

Наиболее обоснованной точкой зрения на причину мобилизации растениями собственно почвенного азота следует считать мнение, согласно которому при лучшем обеспечении азотом растения физиологически более активны и полнее усваивают питательные элементы почвы. Кроме того, при внесении азотных удобрений усиливаются микробиологические процессы минерализации органического вещества и освобождения азота.

В микрополевом опыте ставилась цель дальнейшего изучения роли гумусированности дерново-подзолистой почвы в использовании растениями высоких доз минеральных удобрений, а также в снижении потерь азота из почвы.

В опыте использовали почву бессменного пара (содержание гумуса 0,41% С) и севооборотного участка (содержание гумуса 1,03% С).

Подопытная культура — овес, который был убран в фазу выбрасывания метелки. В период вегетации овса выпало большое количество осадков, что оказало влияние на превращение азота удобрений в почве.

Полученные экспериментальные данные свидетельствуют о том, что более гумусированная почва севооборотного участка обеспечила получение значительно более высокого урожая, чем почва бессменного пара.

Прибавка урожая от внесения азота на обеих почвах одинакова, однако содержание азота в урожае примерно в 1,5 раза выше на почве севооборотного участка. Вследствие ранней уборки овса коэффициенты использования азота в этом опыте незначительны (23 и 28,2%), однако последний заметно выше на почве севооборотного участка.

Мобилизация азота почвы при внесении меченого азота составляла 19—20% (по сравнению с фоном РК).

Содержание гумуса в почве влияло не только на величину коэффициента использования азота, но и обусловило различное закрепление азота удобрений в почве. Так, почва бессменного пара закрепила 12,5% от внесен-

ного количества N^{15} , тогда как почва севооборотного поля — 16,2%. Потери азота из почвы бесменного пара составили 64,5% от внесенного количества; на более окультуренной почве севооборотного поля они были заметно ниже (55,6%).

Органическое вещество и физико-химические свойства почвы

Роль органического вещества в физико-химических свойствах почвы обусловлена главным образом сильно выраженными коллоидными свойствами гумусовых веществ. Развитие учения о почвенных коллоидах позволило дать количественную и качественную оценку органическому веществу, особенно гумусовым соединениям, в формировании почвенного поглощающего комплекса.

К. К. Гедройц, создатель теории почвенного поглощающего комплекса, впервые показал в нем количественные размеры «гуматной» и «цеолитной» частей, выявил тесную зависимость между составом почвенных катионов и комплексом агрономических свойств почвы. Высоко оценивая роль органических коллоидов в почве, К. К. Гедройц подчеркивал связь подвижности «гуматной» части почвы с составом поглощенных оснований.

Органическое вещество в пахотных почвах на 35—87% обуславливает ее поглощательную способность. В целом органическое вещество почвы обладает в 10 раз более высокой сорбционной способностью, чем минеральная часть почвы.

Почвенные коллоиды — наиболее динамичная и реакционно способная часть твердой фазы почвы, находящаяся в непрерывном взаимодействии с почвенным раствором и воздухом. Количественное и качественное направление этого взаимодействия определяют благополучие питательного режима, условия актуальной кислотности и биологическую активность почвы.

Дерново-подзолистые почвы как из-за особенностей механического и минералогического состава минеральной части так и из-за низкого содержания органического вещества отличаются малой емкостью почвенного поглощающего комплекса, причем доля поглощенных кальция и магния из-за высокого содержания водорода и алюминия весьма незначительна. Отрицательные сорбционные свойства дерново-подзолистых почв противоре-

чат требованиям интенсивного земледелия с применением высоких доз минеральных удобрений, пестицидов и др.

Обогащение пахотных дерново-подзолистых почв органическим веществом, дополненное периодическим известкованием, позволяет значительно улучшить поглощательные и другие физико-химические свойства почвы. Так, по данным Н. Л. Благовидова, окультуривание дерново-подзолистой почвы путем внесения навоза способствует накоплению в ней щелочноземельных оснований и уменьшению доли водорода и алюминия.

При интенсивном земледелии важнейшим физико-химическим свойством почвы является состав почвенного раствора и его динамика в течение вегетационного периода.

На почвенный раствор, как на постоянно изменяющийся, наиболее активный компонент почвы, непосредственное влияние оказывает динамика минеральных соединений почвы, внесение в почву минеральных удобрений, потребление элементов питания растениями, особенности водно-воздушного режима.

Общая концентрация почвенного раствора (сухой остаток) в определенных пределах свидетельствует об уровне эффективного плодородия почвы. Интенсивное применение удобрений, особенно минеральных, вносит в это положение значительные коррективы; возникает необходимость снижения концентрации почвенного раствора, повышения временной сорбционной и биологической иммобилизации минеральных элементов.

Таким образом, при оценке состояния и свойств почвенного раствора при интенсивном использовании сорбционно малоемкой почвы надо иметь в виду следующее. С одной стороны, повышение концентрации почвенного раствора, особенно при отсутствии удобрений или при незначительном их количестве, — показатель высокой биологической активности почвы и высокого эффективного плодородия. С другой стороны, при систематическом внесении высоких доз минеральных удобрений увеличение концентрации почвенного раствора желательно до определенного предела, выше которого растения испытывают отрицательное воздействие высокой концентрации растворимых солей. Исходя из этого, способность почвы, ее сорбционного комплекса снижать избыточную концентрацию почвенного раствора в интенсивном земледелии может быть важным условием высокой произ-

водительности почвы. С учетом вышесказанного проанализируем данные табл. 19.

Систематическое применение даже невысоких доз минеральных удобрений способствует значительному повышению концентрации почвенного раствора как в сево-

Таблица 19

**Концентрация почвенного раствора (сухой остаток)
в сезонном цикле в длительном опыте ТСХА,
слой 0—20 см, 1965 г.**

Вариант опыта	Мг на 100 г абсолютно сухой почвы					Среднее
	апрель	май	июнь	июль	август	
Картофель бессменный:						
контроль	40,3	27,5	26,5	24,7	8,3	23,5
известь	15,2	32,1	22,7	36,7	19,6	25,3
НРК	26	45,2	60	52,8	45,1	45,8
НРК + известь	31,5	60,4	25,8	17,2	30,8	27,7
навоз	29,8	25	22,7	30,3	22	26
навоз + известь	31,3	29,3	29,3	13,8	26,3	26
Овес бессменный:						
контроль	9,3	15,9	11	11,8	12,8	12,2
известь	13,4	17,5	16,1	10,1	5,8	12,6
НРК	13,5	50,4	45,4	13,6	15	27,6
НРК + известь	27,4	31,9	25,1	13,1	13,3	22,2
навоз	19,2	21,7	18,1	13,8	He	18,2
навоз + известь	11,4	28,8	9,9	15,7	определяли 15,6	16,3
Севооборот, 132-е поле:						
контроль	28,5	24,5	22,8	21,5	26,4	24,8
известь	54,3	29,7	31,6	18,8	28,8	32,6
НРК	33,2	34,6	46,7	44,5	43,2	40,5
НРК + известь	40,6	37,7	38,5	26,1	31,8	34,9
навоз + НРК	88,6	60,5	63,3	39,7	60,5	62,5
навоз + НРК + известь	52,9	55,6	50,3	28,6	43,7	46,2
Целина	12,8	21,7	13,1	11,3	6,6	13,1

оборотном поле, так и под бессменными культурами. Особенно заметно увеличение содержания растворимых веществ почвенного раствора в севооборотном поле и под бессменным картофелем. В обоих случаях почва относительно бедна органическим веществом. Под бессменным овсом, наоборот, почва содержит больше гумуса; минеральные удобрения в этом поле не оказали заметного влияния на концентрацию почвенного раствора. Интересен вариант «навоз + НРК» в севообороте, где

навоз и минеральные удобрения вносятся по суммарной дозе. Концентрация почвенного раствора в этом варианте высокая, но заметно ниже суммы концентраций на делянках «навоз» и «НРК». Другими словами, во всех случаях органическое вещество почвы «разжижает» почвенный раствор, связывая (биологически и сорбционно) значительную часть внесенных в почву минеральных солей. В том же направлении действует на почвенный раствор и периодическое известкование.

Величина сухого остатка представляет собой суммарное выражение содержащихся в почвенном растворе минеральных и органических соединений. Элементы питания растений присутствуют в почвенном растворе как в катионной его части, так и в анионной.

Больше всего минерального азота в течение вегетационного периода содержалось в почве севооборотного поля, причем преобладающей формой во все сроки определения были нитраты. Динамика нитратов по месяцам вегетационного периода подчинялась кривой с характерным для нитратов накоплением в почве пара к июлю — августу.

В почве под бессменными культурами содержание минерального азота было сравнительно высоким под картофелем и очень низким, преимущественно в аммонийной форме, под бессменным овсом. По вариантам удобрений наиболее высокое содержание минерального азота отмечено в варианте с применением НРК. Известкование не вызывало существенных изменений в содержании воднорастворимых форм азота в почве, занятой полевыми культурами. В сезонном цикле содержание минерального азота в почве монокультур было наивысшим в весенние месяцы.

По мере роста и развития растений содержание минеральных форм азота в почве снижается. В августе в ряде вариантов минерального азота в почве не обнаружено совсем (бессменный овес: О, навоз). По-видимому, в условиях бессменных культур образование минерального азота значительно затормаживается вследствие неблагоприятных экологических условий в почве. Характерно, что по содержанию минерального азота контрольная делянка бессменного овса очень близка к почве целины.

Накопление минерального азота в почве происходит только в том случае, если в ней достаточно исходного

для минерализации материала, в первую очередь воднорастворимого органического вещества.

Содержание органического вещества в почвенном растворе разных вариантов опыта наиболее высоким было под бессменным овсом, несколько меньшим и примерно равным в почве севооборотного поля и бессменного картофеля. Это, на наш взгляд, непосредственно связано с более высоким содержанием минерального азота в почве последних вариантов. Кроме того, содержание подвижных форм органических соединений находится в прямой зависимости от содержания общего углерода. Содержание гумуса под бессменным овсом заметно выше, чем в почве под бессменным картофелем и в севооборотном 132-м поле. Интересно отметить, что под влиянием систематического применения минеральных удобрений подвижность гумуса в почве под бессменным овсом заметно повысилась.

При рассмотрении динамики воднорастворимых органических веществ в течение вегетационного периода можно отметить повышенное содержание их в почвенном растворе в июле — августе, что объясняется, по-видимому, большим поступлением в почву в это время растительных остатков и их разложением.

Скорость процессов взаимодействия почвенного раствора с твердой фазой почвы в большой степени зависит от актуальной (рН) и обменной (титровальной) кислотности почвенного раствора. Немаловажное значение для кинетики почвенных растворов имеет и влажность почвы.

Длительное унавоживание и периодическое известкование сдвигают актуальную кислотность почвенного раствора в сторону уменьшения, тогда как применение минеральных удобрений оказывает обратное действие. Следует, однако, отметить, что нашими анализами не выявлено заметных различий в кислотности почвенного раствора почв разноудобренных участков длительно-го опыта ТСХА.

ВЛИЯНИЕ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА ПОЧВЫ И УДОБРЕНИЙ НА УРОЖАЙ ПОЛЕВЫХ КУЛЬТУР

Результаты классических длительных опытов с внесением невысоких выравненных или невыравненных по содержанию питательных веществ доз навоза и мине-

ральных удобрений, как правило, не подтверждают особой роли органического вещества почвы и удобрений в изменении величины урожая в сравнении с влиянием минеральных удобрений. Схемы длительных опытов не были направлены на решение вопросов о сравнительной ценности органического вещества и минеральных туков, однако с учетом длительности опытов и тщательности их исполнения критический анализ полученного экспериментального материала, прежде всего урожайных данных, может привести к ценным выводам. Основываясь на них и располагая уникальными моделями плодородия, созданными в длительных опытах, при целевом изменении схемы опытов можно получить с высокой степенью достоверности данные о роли органического вещества в плодородии интенсивно используемых почв. Именно под этим углом зрения необходимо проанализировать урожайные данные длительного опыта ТСХА.

Динамика урожаев озимой ржи и картофеля, культур, характеризующихся наиболее высокой точностью опыта, в длительном стационаре ТСХА в целом за период с 1912 по 1975 г. подчиняется следующим закономерностям (табл. 20).

Таблица 20

Урожай озимой ржи и картофеля
при бессменном возделывании в длительном опыте ТСХА
(ц/га основной продукции)

Вариант опыта	По периодам				Средние урожаи за 64 года	Средние урожаи в экстремальные годы
	1912—1938 гг.	1939—1954 гг.	1955—1972 гг.	1973—1975 гг.		
Рожь бессменная:						
0	7,6	5,1	11,2	14,1	7,8	5,3
НРК	10,4	11,3	19,2	22,2	14,2	10,8
навоз	14	14	18,5	18,2	15,3	13,3
навоз+НРК	11	14,5	22	26	19,5	13
Картофель бессменный:						
0	80,1	70,9	66,9	85,7	74	51,7
НРК	139	165,8	140,4	178,3	152,6	111,2
навоз	178,5	162,9	135	161,4	158,4	128,3
навоз+НРК	128,5	184,8	164,5	203,9	177,8	112,2

Урожай бессменной ржи как на неудобренной делянке, так и при внесении минеральных и органических удобрений повышался от периода к периоду. Повыше-

ние урожаев бессменного картофеля по периодам опыта менее закономерно; уменьшение доз удобрений в третьем периоде опыта (1956—1972 гг.) обусловило снижение урожаев. В целом повышение урожаев культур в удобряемых вариантах находится в прямой связи с количеством вносимых удобрений.

Отсутствие заметного снижения урожаев картофеля и рост урожаев ржи в контрольных вариантах следует объяснять постоянным улучшением агротехники культур в длительном опыте и сменой сортов.

При возделывании озимой ржи и картофеля в плодосменном севообороте динамика урожаев по периодам опыта имеет тот же характер, что и при бессменном выращивании (табл. 21).

Таблица 21

Урожай озимой ржи и картофеля
при их севооборотном возделывании в длительном опыте ТСХА
(ц/га основной продукции)

Вариант опыта	По периодам				Средние урожаи за 64 года	Средние урожаи : экстремальные годы
	1912—1939 гг.	1939—1954 гг.	1955—1972 гг.	1973—1975 гг.		
Озимая рожь:						
0	13,4	12	18,3	29,1	15,2	11,6
НРК	19,5	22,3	27,4	31,8	23,2	20,3
навоз + НРК	19,3	25	29,8	43,4	24,7	21,9
Картофель:						
0	90,3	88,3	61,7	96,1	83,1	55,1
НРК	151,6	170,4	146,1	161,9	157,6	113,9
навоз + НРК	145,8	213	185,1	176,4	181,9	125,4

Сравнивая урожай озимой ржи и картофеля в вариантах с внесением НРК и навоза (на бессменных культурах), можно видеть, что в среднем за весь период опыта урожай при унавоживании несколько выше, чем при внесении минеральных туков.

Однако, учитывая, что с навозом вносятся больше питательных веществ, нет оснований для однозначного утверждения о преимуществе органического удобрения.

В севообороте сравнение вариантов «НРК» и «навоз + НРК» невозможно, так как минеральные удобрения в обоих случаях вносятся с 1912 г., а навоз начали вносить только с 1939 г. В последнем варианте, кроме

того, навоз и минеральные удобрения вносятся по суммарной дозе.

Таким образом, сравнение итоговых урожайных данных при внесении в среднем за 64-летний период опыта $N_{44,3}P_{47,3}K_{54,5}$ и 16,3 т/га навоза показывает, на первый взгляд, одинаковое влияние этих удобрений на плодородие почвы. В действительности же дело обстоит значительно сложнее. При равных урожаях в сравниваемых вариантах показатели потенциального плодородия почвы неизмеримо лучше при систематическом унавоживании почвы. Равная величина урожаев на значительно различающихся по потенциальному плодородию почвах — тот случай, когда уровень агротехники, в частности дозы используемых удобрений, не предполагает более или менее значительного регуляторного воздействия на урожай со стороны потенциального плодородия почвы. Что это действительно так, легко убедиться, если, например, ту же почву использовать для вегетационных опытов со строго контролируемыми количественно усиленными изучаемыми факторами: дозами удобрений, режимом влажности и др.

С другой стороны, влияние потенциального плодородия и гумусированности почвы в длительном опыте ТСХА становится очевидным (даже в условиях принятой агротехники), если погодные условия года сильно отклоняются от среднегодового уровня. Например, средние урожаи озимой ржи и картофеля в экстремальные по погодным условиям годы (отклонение суммы активных температур и количества осадков в июне — августе от среднегодовых показателей на 25% и более) всегда выше в вариантах с внесенным органических удобрений (см. табл. 20). Снижение урожаев на унавоженных делянках в экстремальные годы по отношению к урожаям за весь период опыта заметно меньше. Средний урожай бессменной ржи в экстремальные годы в варианте «НРК» составил 77% от урожая за весь период опыта, а в варианте с внесенным навоза — 83%. Аналогичные данные по бессменному картофелю соответственно 68 и 80%. Более гумусированные почвы, следовательно, способны лучше противостоять погодным условиям в смысле обеспечения растений необходимыми факторами жизни. Косвенное влияние гумуса в данном случае отчетливо проявилось, когда возникли повышенные требования к регуляторной функции почвы.

В этой связи новым аспектом при изучении роли ор-

ганических и минеральных удобрений в повышении производительности почвы можно считать устойчивость урожаев по годам, независимо от складывающихся погодных условий. В интенсивном земледелии этот вопрос, как известно, приобретает особую значимость.

Большое значение потенциального плодородия и гумусированности дерново-подзолистой почвы для эффективного использования минеральных удобрений, зависимости урожаев от погодных условий вегетационного периода, взаимодействия удобрений с погодными и почвенными условиями подтверждает статистический анализ динамики фактических урожаев, выполненный на ЭВМ «Минск-32» (программа ПРА-3).

В целом надо подчеркнуть большее соответствие урожаев на унавоженных землях закону нормального распределения. Об этом свидетельствуют наименьшие значения асимметрии и эксцесса кривых распределения. Вариабельность рядов урожаев на хорошо гумусированной почве также значительно меньше, чем на почве с систематическим удобрением NPK. Особо следует сказать о коэффициенте вариации остаточной случайной дисперсии, который показывает влияние случайных нерегулируемых условий на величину урожая; последний имел наименьшее значение для унавоженных земель.

Статистический анализ урожайности картофеля в длительном опыте ТСХА дал в целом те же результаты, что и для озимой ржи.

Однако следует заметить, что возделывание картофеля в севообороте по сравнению с бессменной культурой в отличие от озимой ржи не ослабляет взаимодействия удобрений с погодными и почвенными условиями. Для картофеля, как и для озимой ржи, колеблемость урожайности в целом на более гумусированной почве варианта с унавоживанием заметно меньше, чем на контроле или при исключительном применении минеральных туков.

Анализ автокорреляционных функций показывает, что знаки коэффициентов автокорреляции повторяются сериями, что свидетельствует о наличии и динамике серий лет, для которых свойственно возрастание (снижение) урожайности. В отдельных случаях коэффициенты автокорреляции превышают $\pm 0,4$, подтверждая тем самым наличие цикличности в динамике урожаев.

Совместное внесение навоза и минеральных удобрений

ний в длительном опыте ТСХА способствует получению максимальных урожаев. Стабильность урожаев в вариантах «навоз + НРК» также значительно выше, чем на контрольных и НРК-делянках.

Принято считать, что увеличение урожаев при совместном внесении навоза и НРК суммарно в хозяйственно принятых дозах по сравнению с урожаями при раздельном применении тех и других удобрений объясняется исключительно дополнительным поступлением в почву питательных веществ. Косвенное влияние навоза на плодородие почвы в этом случае, как правило, отрицается.

Однако данные, полученные в длительном опыте ТСХА, дают основание считать, что косвенное положительное влияние органических удобрений на использование растениями минеральных туков проявляется и при внесении в почву невысоких доз удобрений. По-видимому, не совсем правильно упрощенное представление, согласно которому при недостатке в почве питательных веществ совместное внесение навоза и НРК означает простое суммирование их удобрительных свойств.

Экспериментальные данные свидетельствуют, скорее, о сложном взаимодействии в почве минеральных и органических удобрений, общий эффект которого значительно превосходит сумму эффектов отдельных удобрений. Причем это взаимодействие происходит при всех случаях совместного внесения удобрений независимо от их доз.

Увеличение доз удобрений в четвертом периоде длительного опыта ТСХА дает возможность сопоставить эффективность смешанной системы удобрений, принятой в третьем периоде опыта ($N_{50}P_{75}K_{60} + 10$ т/га навоза), с эффективностью двойной дозы минеральных удобрений ($N_{100}P_{150}K_{120}$).

При совместном внесении навоза и НРК количество доступных питательных веществ, вносимых в почву, значительно меньше, чем при внесении двойной дозы НРК. Тем не менее и при бессменном возделывании, и в севообороте прибавка урожая озимой ржи и картофеля выше в варианте $N_{50}P_{75}K_{60} + 10$ т/га навоза. В севообороте эффективность совместного применения навоза и НРК заметно выше, чем под бессменными культурами, и превосходит эффективность двойной дозы минеральных туков примерно в 2 раза (табл. 22).

Следовательно, косвенное положительное влияние ор-

Эффективность минеральных удобрений
при внесении их с навозом или без навоза,
длительный опыт ТСХА, средние многолетние данные

Культура	Прибавка урожая (ц/га) от внесения		
	$N_{50}P_{75}K_{50}$	$N_{50}P_{75}K_{50} + 10$ т/га навоза	$N_{100}P_{150}K_{120}$
Картофель бессменный	73,5	97,6	92,6
Картофель в севообороте	84,4	123,4	65,8
Рожь бессменная	8	10,8	8,1
Рожь в севообороте	9,1	11,5	5,7

границеских удобрений проявляется не только при внесении высоких, но и хозяйственно принятых доз НРК.

Методические изменения, осуществленные в длительном опыте ТСХА в 1973 г., дают возможность по результатам девяти лет выявить значение окультуренности и степени гумусированности почвы в использовании растениями возрастающих доз минеральных удобрений. В опытном севообороте с 1973 г. 132, 134 и 136-е поля удобряют сплошь (вместо дифференцированной схемы удобрений, которая сохраняется без изменения на нечетных 131, 133 и 135-м полях) из расчета $N_{100}P_{150}K_{120}$.

Таблица 23

Эффективность $N_{100}P_{150}K_{120}$ в экспериментальном севообороте
в зависимости от плодородия почвы, 1973—1981 гг.*

Варианты удобрений в 1912—1972 гг.	Сбор кормовых единиц за девять лет (ц/га)	Прибавка (ц/га)	Окупаемость НРК прибавкой урожая
0 (контроль)	235,5	—	—
Известь	312,9	77,4	2,6
НРК + известь	343,2	107,4	3,6
Навоз + НРК	359,9	124,4	4,2
Навоз + НРК + известь	369	133,5	4,5

* Из расчета исключена культура льна как не имеющая эквивалента в кормовых единицах.

Из анализа данных табл. 23 следует, что наибольшая эффективность минеральных удобрений отмечена на делянках, удобрявшихся длительное время навозом и минеральными удобрениями. Окупаемость минеральных

удобрений на почве с предшествовавшим **унавоживани-ем** в 1973—1975 гг. достигла 6—8 кормовых единиц на единицу **НРК**. Абсолютное увеличение урожая при **вне-сении** высоких доз **НРК** на делянках с разноплодородными почвами также в пользу более плодородной **поч-вы**.

Со временем значение плодородия в окупаемости **вы-соких** доз минеральных удобрений, если **не поддержи-вается** исходный уровень плодородия, **понижается**, но **даже в течение** девяти лет оно остается достоверно **по-ложительным**.

Установленный в длительном опыте ТСХА факт бо-лее высокой эффективности минеральных удобрений на более плодородных почвах имеет принципиальное зна-чение. Он экспериментально подтверждает возрастаю-щее значение плодородия почвы в интенсивном земледелии. Расширенное воспроизводство плодородия в ин-тенсивном земледелии становится обязательным услови-ем расширенного воспроизводства в земледелии вообще.

Интенсивное земледелие базируется на постоянно растущем потреблении минеральных удобрений. Уже в настоящее время под такие культуры, как хлопчатник, сахарная свекла и другие, вносят от нескольких центне-ров до тонны минеральных туков и более. Использование такого количества удобрений (в дальнейшем оно будет расти еще более высокими темпами), как ука-зывает А. В. Соколов, дело весьма сложное и очень от-ветственное. Имеющийся в нашей стране опыт практи-ческого использования высоких доз **НРК** в республиках Средней Азии, в ряде районов Московской и Ленинград-ской областей свидетельствует о том, что действитель-ные урожан обычно оказываются значительно ниже тех, которые могли быть теоретически обеспечены за счет внесенных количеств туков. Об этом свидетельствует и мировой опыт сельского хозяйства. Эффективность ми-неральных удобрений, как правило, снижается с увели-чением доз туков. Экономически наиболее выгодными оказываются невысокие дозы **НРК**. Конечно, экономи-ческие расчеты такого рода носят в известной мере ус-ловный характер, поскольку в перспективе получение **максимально** высоких урожаев полевых культур может быть вполне обоснованным и даже обязательным неза-висимо от размера издержек производства. При этом принципиальное значение приобретает **возможность** рос-та хозяйственных урожаев вообще при внесении все бо-

лее высоких доз минеральных удобрений без заметного ухудшения плодородия почвы и ее трансформационных возможностей. В этой связи уместно сослаться на мнение такого крупного специалиста в области применения удобрений, каким является Д. У. Кук. Он пишет, что в интенсивном земледелии важно получение «максимальных урожаев, а не выгодное применение минеральных удобрений».

Необходимость повышения коэффициентов использования питательных веществ, вносимых с минеральными удобрениями, не только чрезвычайно актуальна в земледельческом отношении, но и в современных условиях экологического кризиса, результаты которого остро ощущаются в капиталистических странах уже сегодня, вполне обоснована и интересами природо- и почвоохранного характера. Указания о значительном увеличении содержания нитратов в грунтовых водах некоторых районов СССР встречаются в новейшей отечественной литературе.

Органическое вещество почвы как носитель и основной регулятор почвенных свойств и процессов по своей природе и особенностям количественного режима, обусловленным земледельческим воздействием на почву, теоретически представляется важным агентом превращения и использования растениями высоких доз минеральных удобрений. Однако экспериментальные данные по этому вопросу немногочисленны и разноречивы.

В наших исследованиях исходным методическим положением служило, во-первых, использование в опытах возрастающих доз минеральных удобрений; во-вторых, связь между эффективным использованием высоких доз минеральных удобрений и содержанием органического вещества в почве изучалась как для собственно гумусовых веществ, так и свежего органического вещества растительных остатков и органических удобрений; в-третьих, опыты проводились в звеньях севооборотов с наличием разных полевых культур в условиях различающихся по погодным условиям вегетационных периодов.

На основании полученных экспериментальных данных можно утверждать, что гумусированность почвы в практически регулируемых пределах оказывает сильное положительное влияние на использование растениями обычно принятых и высоких доз минеральных удобрений.

В одном из опытов использовали почву бессменного

пара (длительный опыт ТСХА) и почву смежной с участком пара многолетней залежи (межи). Предварительно проведенные анализы показали значительные различия в свойствах обеих почв (например, содержание углерода в первой почве было равно 0,53%, во второй — 1,57%). Произвесткованная по гидролитической кислотности и соответствующим образом подготовленная почва была использована для модельного двухлетнего опыта.

В опыте урожай первой культуры — овса — при внесении $N_{156}P_{104}K_{104}$ составил для почвы с содержанием углерода 1,57% 39 г по сравнению с 16,6 г для почвы бессмежного пара.

Увеличение гумусированности почвы в опыте в 3 раза обусловило резко различное использование овсом и горчицей внесенных с минеральными удобрениями питательных элементов. При внесении $N_{156}P_{104}K_{104}$ рост урожая овса составил 185%, а горчицы — 250%.

Удвоение дозы NPK несколько сгладило различия в урожаях на разногумусированных почвах, но абсолютно урожай овса на почве межи был почти вдвое (185%) выше урожая в варианте с использованием почвы пара.

Почва залежи при внесении $N_{156}P_{104}K_{104}$ обеспечила получение урожая пожнивной горчицы в 3,5 раза большего, чем урожай, выращенный на почве «вечного» пара. Двойная доза NPK была также более эффективной на хорошо гумусированной почве залежи.

Проведенные в нашей лаборатории Н. Н. Клименко исследования по специально разработанной методике позволяют дать количественную оценку органическому веществу почвы, его качественному состоянию в окупаемости возделываемыми культурами высоких доз минеральных удобрений (табл. 24).

Многофакторный регрессионный анализ и расчеты по алгоритмам показали, что в различные по погодным условиям годы эффекты высоких доз минеральных удобрений, мощности пахотного слоя и заданной плотности почвы значительно варьировали по размерам и направленности. Устойчивым положительным эффектом во все годы и подо все культуры отличалось содержание в почве гумуса. В пределах реально существующего содержания органического вещества в дерново-подзолистых почвах (0,7—4% С) не установлен абсолютный максимум продуктивности зерновых культур. Этот принципиально важный факт требует тем не менее тща-

Влияние гумусированности почвы
на окупаемость урожаем минеральных удобрений
($N_{60}P_{80}K_{60} - N_{240}P_{320}K_{240}$),
средние данные за 1981—1983 гг.

Содержание гумуса в почве (С%)	Яровая пшеница	Ячмень	Овес	Горохо- овсяная смесь
	зерно			сено
0,7	5,7	10,1	10,5	27,3
1,4	7,4	11,2	12,3	30,5
2,3	10	14,2	15,8	34,8
4	12,2	16,7	18,2	37,2

тельной дифференциации моделей гумусированности пахотных почв Нечерноземья, так как в разных интервалах гумусированности эффекты от содержания в почве органического вещества могут быть количественно весьма разными. Оказалось, что эти различия определяются качественным состоянием органического вещества, его подвижностью.

Различные полевые культуры оказывают неодинаковое влияние на качественное состояние гумуса. Так, в длительном опыте ТСХА подвижность органического вещества почвы возрастает в ряду: бессменная рожь — бессменный лен — бессменный картофель — севооборотное поле — бессменный пар. Внесение минеральных удобрений повышает подвижность гумуса; периодическое известкование, наоборот, снижает лабильность органического вещества почвы. Эти данные хорошо объясняют выявленные и показанные выше основные закономерности динамики урожаев полевых культур в длительном опыте ТСХА.

Особая сложность практического обеспечения благоприятного качественного состояния органического вещества почвы при его достаточном количестве состоит в том, что лучшие условия гумусового баланса не всегда обеспечивают лучшее качественное состояние органического вещества.

Явно выраженное в длительном опыте ТСХА положительное влияние удобрений в севооборотах на урожайность полевых культур совпадает с направленностью влияния этих факторов на качественное состояние органического вещества почвы.

Анализ полученных в опытах данных позволяет заключить, что в диапазоне от крайне низкого содержания органического вещества в почве (0,53% С) до среднего (1,57% С) овес при внесении 300—800 кг/га NPK удваивал величину урожая.

Аналогичное удвоение урожая при внесении 200—600 кг/га NPK наблюдалось у ячменя при тройном увеличении гумусированности почвы — от 1,2% до 3,66% С. Еще большее увеличение урожая при внесении высоких доз NPK на разногумусированных почвах характерно для кукурузы, выращиваемой на силос. Здесь удвоение содержания гумуса в почве (0,96% С и 2,15% С) при внесении 300—600 кг/га NPK привело к удвоению урожая силосной массы.

Приведенные данные нуждаются в дальнейшем уточнении прежде всего для более детальной проверки минимальных, оптимальных и максимальных уровней гумусированности почвы, необходимой для выращивания основных полевых культур при данной системе удобрений и других агротехнических приемах. Однако сам факт неодинаковой реакции культур на уровень гумусированности почвы в интенсивном земледелии имеет принципиальное значение, поскольку появляется возможность теоретического обоснования в специализированном севообороте количественных параметров «гумусового хозяйства» почвы и, кроме того, можно установить экономически наиболее выгодное для данных условий содержание гумуса в почве. Последнее особенно важно в практическом отношении, так как поддержание гумусированности почвы в заданных параметрах, различающихся по абсолютному уровню, требует пропорционального увеличения производственных затрат.

Учет требований культур к уровню содержания гумуса в пахотной почве, абсолютные границы интервалов гумусированности, в пределах которых могут быть достигнуты максимальные урожаи, в интенсивном земледелии важны и с точки зрения специализации земледелия, когда введение и освоение специализированных севооборотов на территории хозяйства осуществляется с учетом требований культур севооборотов и степени гумусированности почвы, реального изменения ее во времени.

Теоретически вполне допустимо, что по мере повышения общей культуры земледелия и плодородия почвы, по мере индустриализации и возрастающей химиза-

ции земледелия интервалы гумусированности почвы, наиболее рациональные для той или иной культуры при данных условиях производства, будут изменяться, что потребует соответствующего изменения всей системы мероприятий по регулированию «гумусового хозяйства» почвы.

В оценке органического вещества почвы как фактора лучшего использования минеральных удобрений мы не ограничились собственными экспериментальными данными, а попытались привлечь другие источники. Были, например, обработаны урожайные данные за ряд лет по зерновым культурам, картофелю и кормовым корнеплодам по 165 совхозам Московской области. На основе обширного производственного материала установлена зависимость между плодородием (гумусированностью) почвы, количеством вносимых минеральных удобрений и урожаями культур. В табл. 25 приведены

Таблица 25

Зависимость между урожайностью кормовых корнеплодов, плодородием почвы и количеством вносимых минеральных удобрений по Московской области
(среднее за 1969—1972 гг. по 165 совхозам)

Группировка хозяйства по баллу почвы	Среднее содержание гумуса в пахотном слое почвы (% С)	Число совхозов	Группировка хозяйств по количеству вносимых минеральных туков (ц/га действующего вещества)				
			<0,5	0,51—1,5	1,51—2,5	2,51—3,5	>3,51
31—35	1,09	7	—	122	209	—	—
			—	122	104	—	—
36—40	1,15	13	104	162	233	282	—
			208	162	116	94	—
41—45	1,23	50	143	183	206	230	321
			286	183	103	77	92
45—60	1,27	70	163	230	293	277	345
			326	230	146	92	99
51—55	1,37	13	—	272	300	358	487
			—	272	150	119	139
>56	1,4	12	—	330	433	457	626
			—	330	216	152	179

Примечание. В числителе — урожай (ц/га), в знаменателе — окупаемость центнера $N+P_2O_5+K_2O$ урожаем (ц).

данные по кормовым корнеплодам как наиболее интенсивной культуре. В целом урожаи зерновых культур, картофеля и особенно кормовых корнеплодов в области растут по мере повышения плодородия (гумусированности) почвы. Эта закономерность имеет место как при внесении небольших количеств NPK (до 1 ц/га), так и при использовании относительно высоких доз туков (2—3 ц/га и более). Влияние окультуренности почвы на урожай в первом случае объясняют прежде всего большим содержанием в почве элементов питания растений. Однако это объяснение не может быть принято безоговорочно при внесении средних и особенно высоких доз минеральных удобрений, когда, как будет показано дальше, основное значение плодородия и высокой гумусированности почвы сводится к их косвенному влиянию на плодородие и трансформационные возможности почвы.

Значение плодородия почвы при внесении высоких доз минеральных удобрений возрастает, что особенно заметно на интенсивных пропашных культурах. Так, если урожай зерновых при внесении в среднем 2 ц/га действующего вещества минеральных удобрений при увеличении гумусированности почвы с 1,09 до 1,4% С и выше вырос с 18,1 до 26 ц/га (на 44%), то для картофеля и кормовых корнеплодов увеличение урожая составило соответственно 53 и 107%. Еще большие различия в окупаемости высокого содержания гумуса почвы между зерновыми и пропашными культурами отмечены при внесении 3 ц/га минеральных удобрений и более.

Динамика урожаев картофеля и кормовых корнеплодов свидетельствует о том, что уровень содержания органического вещества в большей части пахотных почв Московской области недостаточен для получения максимальных урожаев пропашных культур при интенсивном применении минеральных удобрений. Аналогичные данные по зерновым культурам показывают значительно меньший рост урожая при содержании гумуса в почве выше 1,3—1,4% С.

Четкую связь эффективности использования NPK растениями в зависимости от плодородия почвы можно наблюдать на примере кормовых корнеплодов (см. табл. 25).

Здесь, начиная от низких и кончая высокими дозами минеральных удобрений, гумусированность почвы

во всех случаях оказывает сильное положительное влияние на величину урожая. Кормовые корнеплоды в условиях Московской области — высокоинтенсивная культура, размещаемая, как правило, на хорошо окультуренных почвах. Следовательно, данные, относящиеся к этой культуре, с агрономической точки зрения наиболее достоверны и заслуживают особого внимания.

В отличие от гумусовых веществ, относительно устойчивых к биологическому разложению, органические удобрения и растительные остатки подвержены активным биологическим превращениям. Образовавшиеся при этом минеральные элементы пополняют резервы питательных веществ в почве. Кроме того, при разложении свежего органического вещества освобождается большое количество энергии, необходимой для осуществления важнейших химических, физико-химических и биохимических циклов почвы.

Остатки растений и органические удобрения — биологически наиболее активный компонент пахотной почвы. От количества свежего растительного материала, его химического состава, характера поступления во времени в большой степени зависит биологический потенциал почвы. Поживные и корневые остатки растений, их режим и химический состав обуславливают специфический, положительный эффект чередования культур, который находит отражение в современной теории севооборота.

Обеспечение почвы растительными остатками с практической точки зрения в интенсивном земледелии не встречает особых трудностей (рациональные севообороты, промежуточные культуры, применение разных видов органических удобрений). Принципиальное значение в современном земледелии имеет теоретическое обоснование необходимости обеспечения почвы свежим органическим веществом, выяснение связи между его режимом и эффективностью важнейших агротехнических приемов. В наших исследованиях этому вопросу было уделено значительное внимание.

В одном из опытов в учхозе «Михайловское» в течение трех лет возрастающие дозы минеральных удобрений вносили ежегодно на фоне унавоживания (20 т/га) и без него. Также ежегодно на делянке вносили известь для выравнивания кислотных свойств почвы. Результаты опыта представлены в табл. 26.

Урожай ячменя при внесении только минеральных

**Влияние возрастающих доз минеральных удобрений
при внесении без унавоживания
или по фону унавоживания на урожай полевых культур (%)**

Доза минеральных удобрений	Ячмень, зерно, 1973 г.	Озимая пшеница, зерно, 1974 г.	Кукуруза на силос, сухое вещество, 1975 г.	Среднее по трем культурам, 1973—1975 гг. (%)
<i>Без унавоживания</i>				
0	100	100	100	100
N ₆₀ P ₈₀ K ₆₀	134	144	119	132
N ₁₂₀ P ₁₆₀ K ₁₂₀	147	159	124	143
N ₁₈₀ P ₂₄₀ K ₁₈₀	160	148	120	143
N ₃₀₀ P ₄₀₀ K ₃₀₀	150	147	129	142
<i>При унавоживании</i>				
0	113	108	101	107
N ₆₀ P ₈₀ K ₆₀	156	145	124	142
N ₁₂₀ P ₁₆₀ K ₁₂₀	160	170	130	153
N ₁₈₀ P ₂₄₀ K ₁₈₀	167	166	132	155
N ₃₀₀ P ₄₀₀ K ₃₀₀	158	156	136	150

удобрений увеличивался до тройной дозы NPK; очередное увеличение количества удобрений не привело к увеличению урожая. Урожай озимой пшеницы увеличивался до двойной дозы NPK, кукуруза использовала продуктивно пятикратное количество удобрений. К тому же следует иметь в виду, что кукуруза — третья культура опытного севооборота, испытывающая в определенной степени последствие предыдущих лет опыта.

Прибавка урожаев ячменя от внесения N₆₀P₈₀K₆₀ составляла 34%, озимой пшеницы — 44, кукурузы — 19%. Двойная доза NPK на зерновых обеспечивала примерно вдвое меньшую прибавку урожая (13—15%), на кукурузе прибавка составила лишь 5%.

Применение возрастающих доз минеральных удобрений на фоне унавоживания обусловило получение абсолютно более высоких урожаев культур, чем при внесении только минеральных удобрений. В среднем по трем культурам превышение урожая составило для N₆₀P₈₀K₆₀ — 10%, для N₁₈₀P₂₄₀K₁₈₀ — 12% и для N₃₀₀P₄₀₀K₃₀₀ — 8%.

Принято считать, что действие навоза (или других органических удобрений) на урожай полевых культур, особенно при использовании без минеральных удобрений или в сочетании с невысокими дозами NPK объяс-

няется прежде всего содержащимися в нем питательными элементами.

Насколько эти мнения отражают реальную картину, показывают экспериментальные данные по характеристике питательного режима почвы.

Средние данные, характеризующие состояние питательного режима почвы в течение вегетации ячменя, показывают, что в варианте $N_{60}P_{80}K_{60}$ +навоз содержание в почве минерального азота существенно не отличалось от варианта $N_{60}P_{80}K_{60}$. Больше в унавоженной почве содержалось подвижных фосфора и калия. Тройная доза минеральных удобрений заметно увеличила содержание в почве усвояемых растением питательных веществ. Внесение этой же дозы $NPК$ на фоне навоза привело к некоторому уменьшению содержания в почве азота и фосфора; содержание K_2O несколько повысилось. Пятикратная доза $NPК$ вызывала дальнейшее повышение содержания питательных веществ в почве, причем по навозу содержание K_2O вновь было выше. Сдвиг рН в кислую сторону был незначительным (почва произвесткована по высокой дозе извести в предыдущие годы). Таким образом, основываясь на стандартных методах определения питательного режима дерново-подзолистой почвы, нельзя объяснить более высокие урожаи ячменя при внесении $NPК$ по фону навоза большим содержанием в почве усвояемых растениями питательных элементов или более благоприятной реакцией почвы.

Аналогичные данные по питательному режиму почвы получены в этом опыте в последующие годы, когда подопытными культурами были озимая пшеница и кукуруза.

Приведенные выше результаты касаются влияния органического вещества навоза на урожай зерновых культур. Как известно, последние менее требовательны к содержанию в почве органического вещества. С этой точки зрения они не являются идеальными подопытными культурами. Большие требования к плодородию почвы вообще и к режиму органического вещества в частности, как мы уже убедились, предъявляют интенсивные пропашные культуры.

Поэтому в 1974—1978 гг. были проведены полевые мелкоделяночные опыты с пропашными культурами. В качестве органических удобрений использовался не только навоз, но и другие действительные и потенциаль-

ные виды органических удобрений: зеленая масса люцерны, торф, солома, древесные опилки. Дозы органических удобрений рассчитывались по количеству сухого вещества, содержащегося в 40 т навоза.

В трехпольном звене севооборота с одним полем картофеля органические удобрения сами по себе отличались разным удобрительным эффектом (табл. 27).

Таблица 27

Влияние органических удобрений на эффективность
возрастающих доз NPK,
средние данные за 1974—1976 гг. (%)

Органическое удобрение	0	N ₁₂₀ P ₁₆₀ K ₁₂₀	N ₃₆₀ P ₄₂₀ K ₃₆₀	N ₃₆₀ P ₄₂₀ K ₃₆₀
Без органических удобрений	100	135	145	148
Навоз	109	141	158	164
Люцерна	116	148	158	171
Торф	106	134	152	152
Солома	98	134	141	156
Опилки	93	133	141	139

Наибольшей эффективностью (116%) характеризуется зеленая масса люцерны, затем следуют навоз (109%) и торф (106%). При внесении соломы и опилок отмечено некоторое снижение урожаев (2—7%). Внесение N₁₂₀P₁₆₀K₁₂₀ обусловило значительное повышение урожаев культур опытного звена севооборота, причем на фоне соломы и опилок снижения урожая относительно к фону без органических удобрений уже не отмечено.

Навоз и зеленая масса люцерны повышали эффективность минеральных туков на 9—13%. При дальнейшем повышении в опыте доз минеральных удобрений до очень высокого уровня (N₃₆₀P₄₂₀K₃₆₀) положительное влияние органических удобрений на урожай культур не только не уменьшалось, но даже значительно возрастало. Причем наряду с навозом и зеленой массой люцерны значительно возросла эффективность торфа и соломы. В дальнейшем (на пятый-шестой год опыта) положительный эффект был получен и для опилок.

Результаты изучения пятательного режима почвы в опыте в целом подтверждают выводы, сделанные по предыдущему опыту.

Исходя из рассмотренных экспериментальных данных, действие на плодородие почвы навоза и других органических удобрений даже при внесении относительно невысоких доз минеральных удобрений не сводится к механическому увеличению в почве количества питательных элементов растений. При высоких и сверхвысоких дозах НРК эта роль органических удобрений тем более не имеет большого значения. Полноценные органические удобрения несколько ослабляют подкисление почвы при интенсивном применении минеральных туков, но объяснить только этим положительное действие свежвнесенного органического вещества на плодородие почвы не представляется возможным.

Экспериментальные данные полевых опытов с зерновыми культурами и картофелем при внесении возрастающих доз минеральных удобрений не подтверждают утилитарной роли органического вещества в плодородии почвы. Свежвнесенное органическое вещество при условии обеспечения почвы минеральными удобрениями, по-видимому, способствует качественно их лучшему использованию. Механизм этого процесса весьма сложен, но в большей мере основан на энергетическом значении органического вещества для жизнедеятельности почвенного эдафона.

Интенсивное применение минеральных удобрений не только обеспечивает рост абсолютных урожаев полевых культур, но и оказывает сильное влияние на химический состав урожая и его качественные показатели. При внесении высоких доз минеральных удобрений рост абсолютных урожаев значительно замедляется, а изменения химического состава урожая могут быть еще настолько значительны, что экономически вполне оправдывают принятые высокие дозы удобрений. Направленные изменения с помощью удобрений химического состава урожая, в частности повышение содержания в нем азота (а следовательно, и белка), — один из путей решения важнейшей проблемы современного земледелия — проблемы белка.

Нашими исследованиями установлено, что применение высоких доз минеральных удобрений само по себе обуславливает повышение содержания азота в зерне ячменя и пшеницы, азота и калия — в зеленой массе кукурузы.

В результате увеличился выход протеина и обеспеченность им кормовой единицы. Содержание фосфора и

калия в зерне при использовании возрастающих доз НРК по сравнению с контрольным вариантом существенно не изменилось. На фоне унавоживания по всем вариантам удобрений содержание азота в зерне ячменя и пшеницы, а также в зеленой массе кукурузы было достоверно выше, чем при внесении только минеральных туков. Соответственно выше был выход протеина и обеспеченность им кормовой единицы. Для ячменя отмечено повышение содержания фосфора, содержание калия в зерне ячменя и пшеницы существенно не изменилось. В зеленой массе кукурузы при унавоживании обнаружено и больше калия, чем в урожае на безнавозном фоне.

В опыте с кукурузой на разногумусированных почвах Полевой опытной станции ТСХА в среднем по четырем методам обработки почвы установлено, что на вдвое более гумусированной почве содержание азота в зеленой массе кукурузы в контрольном варианте на 32% превышало таковое на менее гумусированной почве (табл. 28).

Применение удобрений способствовало повышению содержания азота в урожае на обеих почвах, однако на

Таблица 28

Влияние гумусированности почвы и возрастающих доз минеральных удобрений на химический состав урожая (% к сухому веществу) и выход протеина, мелкоделяночный опыт на Полевой опытной станции ТСХА, 1975—1976 гг.

Вариант удобрения	Содержание гумуса 0,96% С					Содержание гумуса 2,15% С				
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	сырой протеин		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	сырой протеин	
				г/м	г/к. е.				г/м	г/к. е.
<i>Кукуруза (зеленая масса), 1975 г.</i>										
0	1,01	0,93	2,33	26,3	26,9	1,33	0,9	2,52	79,8	36,8
N ₉₀ P ₁₂₀ K ₉₀	1,22	0,76	2,06	40,8	33,4	1,6	1,02	2,54	109,6	43,7
N ₁₈₀ P ₂₄₀ K ₁₈₀	1,65	0,74	2,19	70,4	41,8	1,89	0,94	3,35	161,7	50,7
<i>Озимая пшеница (зерно), 1976 г.</i>										
0	1,53	0,95	0,72	11,3	75,3	2,56	1,08	0,67	38	122,6
N ₉₀ P ₁₂₀ K ₉₀	1,63	0,9	0,67	18,6	77,5	2,49	1,02	0,69	48,3	120,7
N ₁₈₀ P ₂₄₀ K ₁₈₀	1,65	0,94	0,69	25,4	79,4	2,66	1,05	0,74	63,8	127,6

более гумусированной почве содержание азота в урожае сохранялось на 15—30% выше, чем на малогумусированной почве.

Содержание в зеленой массе кукурузы фосфора на малогумусированной почве уменьшалось при увеличении дозы минеральных удобрений; на более гумусированной почве в вариантах с внесением NPK фосфора было заметно больше, чем в тех же вариантах первой почвы. Содержание калия в урожае кукурузы на хорошо гумусированной почве также повышалось с внесением минеральных удобрений, тогда как на малогумусированной почве оно несколько снижалось.

Содержание азота в зерне озимой пшеницы (второй год опыта) на вдвое более гумусированной почве было выше, чем на малогумусированной почве, на 60—70%; по вариантам минеральных удобрений содержание в зерне азота существенно не различалось. Минеральные удобрения не оказывали влияния на содержание в зерне фосфора и калия. На хорошо гумусированной почве содержание фосфора в зерне было несколько выше, чем на менее гумусированной почве.

Приведенные результаты двух мелкоделяночных опытов с внесением возрастающих доз минеральных удобрений, в одном из которых NPK вносили на фоне унавоживания или в чистом виде, а в другом — при двух уровнях гумусированности почвы, свидетельствуют о значительном влиянии органического вещества почвы на содержание в урожае азота, а следовательно, и на сбор белка с единицы площади и обеспеченность протеином кормовой единицы. Следует особо подчеркнуть, что повышение содержания азота в урожае при внесении возрастающих доз минеральных удобрений происходило и тогда, когда абсолютный урожай культуры из-за вредного действия высоких доз NPK начинал уменьшаться. Положительное влияние высоких доз минеральных удобрений на содержание в урожае азота значительно усиливалось при лучшем обеспечении почвы органическим веществом. Увеличение содержания гумуса в почве с 0,96 до 2,15% С привело к повышению содержания азота в урожае на 15—65%. Унавоживание почвы из расчета 20 т/га ежегодно способствовало повышению содержания азота в урожае примерно на 10%. Влияние органического вещества на содержание в урожае фосфора и калия при внесении высоких доз NPK менее определенное, но обычно также положительное.

ВОСПРОИЗВОДСТВО ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЫ В ИНТЕНСИВНОМ ЗЕМЛЕДЕЛИИ

Роль культуры полевых растений в балансе органического вещества почвы

Целинные почвы со свойственными им естественными фитоценозами представляют собой открытую экологическую систему. Распашка их, разные по интенсивности приемы обработки почвы, типы возделываемых культур, широкое использование органических и минеральных удобрений приводят к нарушению динамического равновесия в системе.

Важнейший фактор динамики органического вещества в пахотных почвах — культура полевых растений. Исходным теоретическим моментом при обосновании роли культурных растений в количественной динамике органического вещества почвы являются биологические особенности полевых культур, с одной стороны, и система сопутствующей возделыванию культур механической обработки почвы (характер и интенсивность обработки почвы, продолжительность периода обработки во времени, наличие периодов, когда почва остается без покрова растений) — с другой стороны. Если под естественной многолетней растительностью, особенно без отчуждения растительной продукции, в процессе почвообразования происходит аккумуляция в верхних горизонтах почвы углерода, азота и зольных элементов, то под искусственными фитоценозами, представленными обычно однолетними растениями одного вида с отчуждением с поля растительной массы и без внесения удобрений, баланс углерода, азота и зольных элементов в почве не может быть бездефицитным.

Такой вывод основывается на строго количественном учете отчуждения азота и зольных элементов с урожаем и частичным возвращением в почву питательных веществ с корневыми и пожнивными остатками полевых культур. При этом, разумеется, принимаются во внимание все другие возможные поступления в почву питательных элементов.

Как было показано в открывающем книгу разделе, по количеству органического вещества, оставляемого

полевыми растениями в почве, культуры делятся на три группы: многолетние травы; однолетние зерновые и зернобобовые; однолетние пропашные культуры.

Положительное влияние многолетних трав на почву зависит прежде всего от величины урожая, а также от вида трав и состава травосмеси, почвенно-климатических условий местообитания. Сильный положительный эффект бобовых трав и бобово-злаковых смесей объясняется их способностью вовлекать в круговорот азота в системе почва — растение — хозяйство дополнительные количества азота, фиксированного из атмосферы.

Вторая группа представлена однолетними зерновыми и зернобобовыми культурами сплошного сева. Эти растения оставляют в почве значительно меньше растительных остатков, чем многолетние травы. Способность однолетних зернобобовых фиксировать азот атмосферы часто соответствует лишь их потребности в этом элементе. Между отдельными культурами, составляющими данную группу, наблюдаются заметные различия. Так, озимые зерновые оставляют в почве больше органического вещества, чем яровые зерновые и зернобобовые. Последние обеспечивают поступление в почву лишь 15—30 ц/га растительных остатков.

К третьей группе относятся пропашные культуры, оставляющие в почве, как правило, наименьшие количества растительных остатков. Кроме того, пропашные относятся к типу интенсивных культур, отличающихся более высоким выносом питательных веществ, соответственно они предъявляют и более высокие требования к уровню гумусированности и плодородия почвы.

Некоторые исследователи склонны смягчать или даже полностью отрицать неизбежность утраты гумусированности и потенциального плодородия почвы при возделывании однолетних культур в условиях недостаточного удобрения. Для обоснования своей точки зрения они допускают значительный приток в почву биогенных элементов за счет жизнедеятельности почвенного эдафона. Последнее, однако, не подтверждается современными экспериментальными данными о фактическом влиянии микроорганизмов на баланс биогенных элементов.

Другим поводом подобных утверждений является не критическое восприятие известного теоретического положения В. И. Вернадского о том, что запасы солнечной энергии в природе и биосфере во времени воз-

растают, что развитие жизни на земле невозможно без поступательного развития и совершенствования организмов и накопления органического вещества, участия его в почвообразовательном процессе.

Смена естественных фитоценозов агрофитоценозами тем не менее обуславливает принципиальное изменение направленности и степени процесса аккумуляции биогенных элементов в почвенной толще. Изменяется соотношение между выносом и поступлением биогенных элементов в системе растение — почва. Кроме того, агрофитоценозы на единицу фитомассы потребляют значительно больше питательных веществ, чем естественные фитоценозы. В результате этих изменений вместо накопления биогенных элементов в почве в условиях естественных фитоценозов в пахотных почвах при недостаточном внесении удобрений происходит постепенное уменьшение запасов органического вещества и зольных элементов почвы.

Исходная гумусированность почвы — результат совокупного действия факторов почвообразования: климата, рельефа, растительности и животного мира, возраста почвы и производственной деятельности земледельца. Почвенные типы, различающиеся по абсолютному запасу органического вещества и его составу, формам связи с минеральной частью почвы, гидротермическим условиям, имеют и свой специфический режим почвенного гумуса. Крайней неустойчивостью этого режима отличаются дерново-подзолистые почвы, которые характеризуются ускоренным циклом процессов синтеза — разрушения органического вещества.

Возделывание однолетних растений бессменно или в севообороте без применения удобрений на дерново-подзолистой почве разного механического состава приводит к постепенному уменьшению запасов органического вещества почвы. Проведенные нами расчеты (табл. 29) показывают, что потери гумуса из почвы зависят от возделываемой культуры, длительности эксперимента, а также от почвенной разновидности.

Зерновая культура сплошного сева (озимые рожь и пшеница) при умеренном потреблении элементов питания и невысокой интенсивности обработок в длительных опытах ТСХА и в учхозе «Щапово» обусловила примерно равную убыль органического вещества почвы (0,3—0,4% валового запаса ежегодно). Картофель как культура интенсивного типа по воздействию на органи-

Влияние полевых культур на содержание углерода в почве

Культура	Почвенная разновидность	Период опыта (лет)	Потери (-) или прибыль (+) за период опыта (т/га)	Ежегодная убыль (или прибыль) углерода	
				ц/га	% от исход- ного
<i>Опыт ТСХА*</i>					
Рожь бессменно	Легкий суглинок	60	- 7,5	-1,1	0,4
Картофель бессменно	То же	60	-11,8	-2	0,7
Плодосменный сево- оборот	»	60	-11,9	-2	0,7
<i>Опыт в учхозе «Щапово»**</i>					
Пшеница бессменно	Средний суглинок	10	- 1,5	-1,5	0,3
Картофель бессменно	То же	10	- 6,8	-6,8	1,4
Люцерна бессменно	»	10	+ 5,8	+5,9	1,3
Севооборот: озимая пшеница — карто- фель — ячмень с пол- севом клевера клевер 1-го года пользования	»	10	- 2,7	-2,7	0,6
<i>Опыт ДАОС*</i>					
Севооборот: пар — озимая пшеница — картофель — овес	Гяжелый суглинок	40	-12,5	-3,1	1,1

* Для слоя почвы 0—20 см.

** Для слоя почвы 0—40 см.

ческое вещество почвы резко отличался от зерновых. Потери органического вещества из почвы под ним оказались в 2—4 раза больше, причем на среднем суглинке учхоза «Щапово» они были примерно в 2 раза выше, чем из легкосуглинистой почве длительного опыта ТСХА.

Плодосменный севооборот с одним полем клевера и одним пропашным полем (севооборот I) без применения удобрений не обеспечил бездефицитного баланса органического вещества почвы. За 10 лет убыль углерода в слое 0—40 см составила 2,67 т/га, или 267 кг углерода в год, что соответствует примерно 460 кг гу-

муса (0,6% от общего запаса гумуса в почве). В севообороте II 50% площади приходится на пропашные культуры, клевера нет совсем. Соответственно потери гумуса из почвы значительно возрастают и достигают 900 кг/га гумуса в год (1,2% валового запаса). В севообороте с 75% пропашных культур потери гумуса составили уже около 2 т/га в год (2,6% валового запаса). Увеличение доли пропашных культур в севообороте с 25 до 75% привело к увеличению потерь гумуса в 4 раза.

При сравнении трех примерно одинаковых плодосменных севооборотов с одним полем клевера или клеверо-злаковой смеси в 4—6-летней ротации можно видеть, что в таких севооборотах без применения удобрений гумусированность почвы не остается на исходном уровне. Потери органического вещества на севооборотных делянках несколько выше, чем под бессменными зерновыми культурами (0,6—1,1% валового исходного запаса в год), что объясняется повышенным эффективным плодородием почвы при севооборотном использовании. С учетом длительности опытов легкосуглинистая почва опытной станции полеводства Тимирязевской академии отличается более высокой минерализующей способностью, чем среднесуглинистая почва учхоза «Щапово». В длительном опыте ДАОС на тяжелосуглинистой почве повышенные потери гумуса в севооборотном поле можно связать с отсутствием многолетних бобовых растений.

Балансовые расчеты, выполненные на основе фактических данных о динамике органического вещества в среднесуглинистой почве длительных опытов в учхозе «Михайловское» (для слоя 0—40 см), характеризуют роль четырех экспериментальных севооборотов с различным сочетанием однолетних и многолетних культур в изменении запасов органического вещества почвы. В четырехпольном севообороте: ячмень с подсевом клевера — клевер 1-го года пользования — озимая пшеница — картофель — убыль углерода составила 190 кг/га в год; в севообороте: ячмень — вико-овсяная смесь — озимая пшеница — картофель — потери углерода почвы равны 250 кг/га в год. Таким образом, замена в ротации клевера на вико-овсяную смесь обусловила увеличение ежегодного дефицита углерода на 60 кг/га в год.

Возможность поддержания бездефицитного баланса

органического вещества почвы за счет только соотношения культур в ротации подтверждается данными, полученными для пятипольного севооборота: озимая пшеница с подсевом клевера — клевер 1-го года пользования — клевер 2-го года пользования — ячмень — вико-овсяная смесь. В данном севообороте баланс углерода в почве складывается с ежегодным плюсом в 100 кг/га. Как видно, при 40% в структуре посевных площадей доли многолетних трав (клевера) и отсутствия интенсивных пропашных культур даже без применения удобрений создаются условия для положительного гумусового баланса. Урожай озимой пшеницы в этой ротации составил 17,2 ц/га зерна, клевера 1-го и 2-го года пользования — 32,9 и 30,9 ц/га сена соответственно, ячменя — 19,6 ц/га зерна, вико-овсяной смеси — 27,3 ц/га сена.

В другом пятипольном севообороте: озимая пшеница с подсевом клевера — клевер 1-го года пользования — картофель — ячмень — вико-овсяная смесь — баланс углерода почвы уже отрицательный (250 кг/га убыли в год). Следовательно, уменьшение доли клевера в структуре посевных площадей до 20% и введение в ротацию одного поля картофеля привело к значительному изменению гумусового баланса, определив его четко выраженный отрицательный итог.

О большом значении многолетней пластовой культуры в балансе органического вещества почвы свидетельствуют данные, полученные в бессменных посевах люцерны в учхозе «Щапово». Ежегодный прирост почвенного гумуса в этом варианте составил 1 т/га в слое 0—10 см, что эквивалентно потере гумуса почвой картофельного поля. О роли многолетних бобовых трав в балансе органического вещества дерново-подзолистой почвы можно судить и по севообороту II длительного опыта в учхозе «Щапово», где вместо клевера введена пропашная культура. Потери гумуса в почве делянок этого севооборота в 2 раза выше, чем в севообороте I с одним полем клевера и одним полем пропашных.

Влияние органических и минеральных удобрений на динамику органического вещества почвы

Систематическое внесение органических и минеральных удобрений как при бессменных культурах, так и в

севооборотах разных типов решающим образом влияет на количественные превращения органического вещества. Однако роль органических и минеральных удобрений в гумусовом балансе, как показывают экспериментальные данные, принципиально различна. Органические удобрения могут оказывать прямое действие на баланс органического вещества почвы, переходя частично непосредственно в форму гумусовых веществ почвы (гумификация углерода органических удобрений). Минеральные удобрения таким эффектом не обладают, их положительное действие на гумусовый баланс только косвенное. С повышением урожая увеличивается количество отчуждаемой и оставляемой в поле растительной массы, значительная часть питательных веществ урожая возвращается в поле в виде органических удобрений. Возможно также затормаживающее действие минеральных удобрений (за счет отрицательного действия на биологическую активность почвы) на процессы минерализации гумуса почвы. Косвенное действие, естественно, свойственно и органическим удобрениям.

Минеральные удобрения в настоящее время — решающее условие быстрого подъема урожаев полевых культур. Однако урожай, как было показано ранее, еще не является абсолютно точным показателем плодородия почвы, поддержание и умножение которого, бесспорно, — важнейшее условие обеспечения высокой эффективности возрастающих доз минеральных удобрений. Учитывая это, необходимо дать исчерпывающую объективную оценку минеральным удобрениям как фактору плодородия почвы, и в частности их роли в гумусовом балансе интенсивно используемой почвы.

В новейшей литературе ряд исследователей отождествляют сильное положительное действие минеральных удобрений на урожай с действием их на плодородие и гумусированность почвы. При этом считают, что количество корневых и пожнивных остатков при интенсивном применении минеральных удобрений растет параллельно величине хозяйственных урожаев. Наблюдаемое часто в длительных опытах более высокое по сравнению с контрольными вариантами содержание в почве делянок, удобряемых НРК, углерода и общего азота объясняют, прежде всего, большим поступлением в почву этих вариантов растительных остатков.

Такая точка зрения недостаточно оспаривается в агрономической литературе, хотя обширный экспери-

ментальный материал о развитии корневой массы растений при разных системах удобрения дает повод для этого. Еще в 1925 г. Н. А. Качинский высказал предположение, что «чем благоприятнее для растений почва, тем относительно (относительно к надземным частям) слабее развита его корневая система». Последующие исследования подтвердили это предположение. По данным Е. И. Алиевой, зависимость между надземной и корневой массой с ростом урожаев изменяется следующим образом (табл. 30).

Таблица 30

**Отношение веса корней к весу надземной массы растений
в зависимости от величины урожая**

Культура	Урожай основной продукции (ц/га)				
	10—20	20—30	30—40	40—50	50—60
Озимая и яровая пшеница	1,3	0,8	0,6	0,56	—
Яровой ячмень	0,6	0,5	0,4	—	—
Однолетние бобовые		0,7	0,5—0,6	0,4	—
Клевер 1-го года пользования	2,7	1,4	1,6	1	0,8

Наряду с абсолютным количеством растительных остатков большое значение для баланса биогенных элементов в почве имеет химический состав корневой и пожнивной массы. Многочисленными исследованиями показано, что растительные остатки многолетних трав имеют повышенное содержание азота и зольных элементов, что обуславливает их высокую биологическую и агротехническую ценность.

Растительные остатки однолетних бобовых культур значительно беднее питательными элементами, поскольку эти культуры накапливают биогенные элементы в первую очередь в хозяйственно ценной части урожая, отчуждаемой с поля.

Применение удобрений оказывает влияние и на химический состав корневых и пожнивных остатков; содержание азота в них, фосфора и калия на удобренном фоне заметно увеличивается.

Таким образом, можно утверждать, что систематическое применение минеральных удобрений наряду с

ростом урожаев обуславливает поступление в почву абсолютно больших количеств растительных остатков. Вследствие же лучшего химического состава растительных остатков при внесении удобрений общее количество биогенных элементов, содержащихся в корневой и пожнивной массе, также несколько повышается. Тем не менее абсолютное увеличение количества растительных остатков и содержащихся в них углерода, азота и зольных элементов еще не может служить основанием для утверждений об одновременном обогащении почвы органическим веществом и общем умножении ее плодородия. Чтобы сделать такой вывод, надо тщательно учесть те изменения почвы (прежде всего ее гумусовых запасов), которые обусловлены выращиванием той или иной культуры.

Балансовые исследования показали, что количество растительных остатков, поступающих в почву на полях без внесения удобрений, зависит в основном от биологических особенностей культур.

В двух экспериментальных севооборотах наименьшее количество растительных остатков отмечено под картофелем. Под зерновыми культурами количество корневых и пожнивных остатков больше у озимых и меньше у яровых культур. Вико-овсяная смесь по оставляемым в почве растительным остаткам находится примерно на уровне озимых зерновых.

Наибольшее количество органического вещества, поступающего в почву, учтено в клеверном поле.

Систематическое применение минеральных и органических удобрений примерно в равной степени способствовало росту количества растительных остатков, что находится в соответствии с одинаковым влиянием этих удобрений на величину урожая культур в опыте. Внесение навоза и НК по суммарной дозе при одновременном росте урожая обеспечивало и большее поступление в почву растительных остатков.

Увеличение глубины вспашки с 20—22 до 30—32 см привело к некоторому снижению количества растительных остатков на контроле в плодосменном севообороте; в зернопропашном севообороте увеличение глубины обработки не вызывало уменьшения количества растительных остатков. В целом можно считать, что более глубокая обработка почвы не способствовала увеличению количества корневых и пожнивных остатков.

Состав растительных остатков, характеризующийся

соотношением корневой и пожнивной массы, имеет значительные различия по отдельным культурам. У ячменя и вико-овсяной смеси более половины растительных остатков приходится на долю корней, у озимой пшеницы и картофеля (при оставлении измельченной ботвы в поле), наоборот, на долю стеблевых и листовых остатков. Соотношение ботвы и корней у картофеля в пользу первой; корней по весу примерно в 3 раза меньше. При удалении ботвы с поля в почву под этой культурой поступает очень малое количество органического вещества. У клевера, наоборот, на долю корневой массы приходится значительно большая часть, чем на долю пожнивных остатков. Абсолютные количества пожнивных и корневых остатков у клевера наибольшие из всех культур севооборотов. Изменения массы растительных остатков при внесении минеральных и органических удобрений примерно одинаковы для стерни и корневых остатков. Углубление вспашки с 20—22 до 30—32 см не привело к видимым изменениям в составе растительных остатков.

Определение химического состава растительных остатков в опытах показало, что корневые остатки зерновых культур содержат значительно (примерно вдвое) больше азота и фосфора; калия, наоборот, больше в стерне. Корневая масса по содержанию азота и углерода биологически значительно более ценна, чем стеблевые остатки, отличающиеся широким отношением C:N. Применение удобрений способствовало в большей степени повышению содержания в растительных остатках азота и калия, менее — фосфора.

Следует отметить, что содержание азота в растительных остатках ячменя и озимой пшеницы в плодосменном севообороте, как правило, несколько выше, чем в зернопропашном. Этот факт, а также большее количественное поступление растительных остатков в почву в плодосменном севообороте обеспечивает в последнем более благоприятные, чем в зернопропашном севообороте, условия гумусового баланса.

Растительные остатки клевера имели высокий процент азота, фосфора и калия при относительно невысоком содержании углерода. Растительные остатки вико-овсяной смеси по содержанию азота значительно уступали растительным остаткам клевера. Тем не менее их химический состав более благоприятен в биологическом смысле, чем состав корневой и пожливной массы зерно-

вых культур. Применение удобрений, как и в случае зерновых культур, обусловило заметные изменения химического состава растительных остатков клевера и вико-овсяной смеси.

Скорость процессов превращения первичного органического вещества (растительные остатки) в почве зависит прежде всего от величины отношения С:N. Максимальная скорость разложения свойственна растительным остаткам клевера с узким соотношением С:N, менее интенсивно разлагаются растительные остатки ячменя и вико-овсяной смеси. Внесение органических и минеральных удобрений ускоряет процессы разложения растительных остатков; углубление вспашки в этом отношении играло меньшую роль. Скорость превращения растительных остатков в дерново-подзолистой почве весьма значительна: 30—60% органического вещества разлагается в течение года.

При сравнении количества питательных элементов, поступающих в почву с растительными остатками, с выносом элементов с хозяйственной частью урожая по мере увеличения последнего можно видеть общую тенденцию опережения выноса элементов с поля относительно к количествам, которые возвращаются в почву с корневыми и пожнивными остатками (табл. 31).

Таблица 31

Влияние удобрений на соотношение выноса питательных элементов с хозяйственным урожаем и поступающих в почву с растительными остатками

Культура севооборота	Без внесения удобрений			При внесении NPK		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Озимая пшеница	4,77	4,56	2,37	5,16	5,16	4,09
Ячмень	3,34	6,59	6,2	3,69	6,66	5,5
Картофель	0,83	1,61	1,47	0,9	2,06	1,4
Вико-овсяная смесь	1,98	1,11	1,3	2,29	1,44	1,4
Клевер 1-го года пользования	0,83	0,84	0,73	1,01	0,97	1,67

Вынос азота, фосфора и калия с хозяйственным урожаем для зерновых культур в 3—6 раз превышает количество этих элементов, остающихся в почве в

форме растительных остатков. При внесении полного минерального удобрения, а также навоза и навоза совместно с НРК величина отношения не только не уменьшается, а замтно возрастает. Из всех культур севооборотов только клевер характеризуется благоприятным соотношением НРК в хозяйственном урожае и растительных остатках, поступающих в почву.

Но и для этой культуры при систематическом применении удобрений соотношение питательных элементов, содержащихся в хозяйственном урожае и в растительных остатках, постепенно изменяется в пользу хозяйственного урожая. Узкое соотношение питательных элементов в хозяйственном урожае и растительных остатках картофеля объясняется, как уже было отмечено, полным оставлением ботвы картофеля в поле.

То, что по мере увеличения доз удобрений и роста хозяйственных урожаев растет разрыв в количествах питательных веществ, удаляемых с поля и поступающих в почву с растительными остатками, для зольных элементов еще не свидетельствует об их дефиците в системе почва — растение. Известно, что эти элементы, внесенные с удобрениями, могут в течение длительного времени сохраняться и даже накапливаться в почве, преимущественно через взаимодействие с ее минеральной частью. Совершенно иначе складывается баланс азота, превращения и закрепление которого в почве осуществляются преимущественно посредством биологических циклов и связывания его в форме органического вещества. С этой точки зрения растительные остатки представляют собой важнейшую статью азотного (и гумусового) баланса почвы. Нельзя, конечно, не учитывать другого источника органически связанного азота в почве, микрофлору и фауну почвы, но практическое значение этой статьи азотного баланса в интенсивном земледелии, по-видимому, будет относительно небольшим.

С другой стороны, формирование урожая даже при полном обеспечении растений минеральным азотом, как показали наши исследования с использованием стабильного изотопа N^{15} , а также работы других авторов в значительной мере (на 40—60%), осуществляется за счет собственно почвенного азота, происходящего из гумусовых веществ почвы.

Следовательно, особая роль органического вещества

почвы основывается, с одной стороны, на том, что без связывания азота в органической форме невозможен устойчивый режим и бездефицитный баланс азота в системе почва — растение — удобрение, а с другой стороны, на факте, что обеспечение растений минеральным азотом, особенно при высоком уровне урожая, невозможно за счет азота только минеральных туков. Создание бездефицитного и тем более положительного баланса органического вещества и азота в почве и максимально полное обеспечение растений этим элементом, по существу, неразрывно связаны между собой и представляют обязательное условие интенсивного земледелия на дерново-подзолистых почвах.

Исходя из сказанного, при использовании исключительно минеральных удобрений при абсолютно большом поступлении в почву растительных остатков (и связанного в них азота) не происходит полной компенсации азота, образовавшегося при минерализации органического вещества почвы и вынесенного с хозяйственным урожаем. Если исключить повторное возвращение в почву части питательных веществ в форме навоза и других органических удобрений, то даже при интенсивном применении минеральных удобрений баланс азота (и органического вещества) почвы будет неизбежно отрицательным.

В связи с этим внесение органических удобрений всех видов, структура посевных площадей в севообороте, учитывающая интересы «гумусового хозяйства», как и все приемы, направленные на максимально бережное отношение к почвенному гумусу и сокращение его непроизводительных потерь, — обязательные условия расширенного воспроизводства почвенного плодородия и постоянного повышения производительности почвы.

Тот факт, что при длительном внесении минеральных удобрений ряд исследователей отмечает несколько более высокое по сравнению с почвой неудобряемых делянок содержание гумуса в почве, удобряемой НК, свидетельствует, по-видимому, о некотором торможении биологических процессов почвы (и, следовательно, минерализации гумуса), обусловленном отрицательным влиянием на почвенную биоту минеральных туков. В этой связи можно сослаться на поле бессменного пара длительного опыта ТСХА, на котором растения не выращиваются, а содержание гумуса в поч-

ве на НРК-делянке заметно выше, чем в почве контрольной деланки. Некоторые исследователи считают, что при систематическом внесении минеральных удобрений повышается коэффициент гумификации органических остатков.

Подтверждением развитых выше теоретических положений являются материалы по фактической динамике органического вещества почвы в длительных опытах при систематическом внесении удобрений. Так, в почве бессменной ржи длительного опыта ТСХА минеральные удобрения значительно снижают потери гумуса (табл. 32), но баланс органического вещества остается все же дефицитным. Только ежегодное уна-

Таблица 32

Влияние систематического применения органических и минеральных удобрений на содержание и запасы углерода в почве длительного опыта ТСХА, 1972 г.

Вариант опыта	Относительное содержание (С%) в слое (см)				Абсолютные запасы (т/га) в слое 0—40 см	
	0—20	20—40	0—20	20—40	без известки	по известки
	без	известки	по	известки		
Рожь бессменно:						
0	0,97	0,37	0,96	0,35	31,67	29,43
НРК	1,07	0,44	1,04	0,48	36,91	34,59
навоз	1,56	0,52	1,48	0,53	46,34	46,54
Севооборот, 132-е поле:						
0	0,77	0,42	0,76	0,4	34,38	29,64
НРК	0,95	0,49	0,97	0,44	34,58	35,73
навоз + НРК	1,16	0,56	1,04	0,57	41,58	38,69

воживание обеспечивает положительный баланс углерода в почве. Те же закономерности характерны и для севооборотного 132-го поля.

Одним из спорных вопросов при изучении динамики гумуса в интенсивно используемых почвах остается вопрос о действии известкования на содержание органического вещества почвы. Исследования, проведенные в начале XX века, как и более поздние работы, свидетельствуют о том, что известкование почвы спо-

способствует сохранению в ней органического вещества вследствие торможения процессов его минерализации грибной микрофлорой. Этим, в частности, объясняется накопление большого количества гумуса в черноземах и перегнойно-карбонатных почвах.

В отличие от этого мнения существует другая точка зрения по данному вопросу. Ряд исследователей показал, что разложение органического вещества в почве усиливается по мере изменения реакции почвы от кислой к нейтральной и слабощелочной. При этом изменяется групповой состав микрофлоры; вместо грибов усиленно развиваются бактериальная флора и актиномицеты. Вместе с тем в условиях высокой биологической активности почвы с высоким содержанием кальция благодаря коагулирующему действию ионов этого элемента происходит более активное закрепление гумусовых веществ минеральной частью почвы. На первых стадиях гумификации растительных остатков известь значительно ускоряет процессы разложения свежего органического материала.

Наши экспериментальные данные не позволяют дать окончательную оценку известкованию в балансе гумусовых веществ почвы.

Что касается содержания в почве общего азота, то, как правило, оно выше в известкованной почве. Объяснением этого факта может быть значительное изменение группового состава гумуса в почве в результате ее известкования, а именно более высокое содержание в гумусе гуминовых кислот и гуминов.

В севооборотах с разной степенью насыщения пропашными культурами (опыт в учхозе «Щапово») влияние десятилетнего применения навоза и минеральных удобрений на баланс органического вещества в среднесуглинистой почве было неодинаковым.

При ежегодном внесении 52,5 кг азота, 77,5 кг фосфора, 82,5 кг калия и 12,5 т навоза на 1 га в почве севооборотов I и II был достигнут положительный баланс органического вещества. Возделывание в севообороте III преимущественно пропашных культур при той же системе удобрений привело к потере органического вещества почвы. По нашим расчетам, при 50% пропашных культур в структуре посевных площадей для создания бездефицитного баланса органического вещества должно ежегодно вноситься не менее 10—15 т/га навоза. При увеличении в севообороте доли

пропашных культур необходимо соответственно повышать количество органических удобрений на 1 га пашни.

В почве под бессменным картофелем ежегодное унавоживание способствовало увеличению запаса гумуса против исходного. Под люцерной во всех вариантах отмечалось значительное обогащение почвы углеродом.

Применение в длительном опыте ДАОС эквивалентных доз навоза и минеральных удобрений, а также наличие варианта с совместным внесением по половинной дозе навоза и НРК дает возможность методически более правильно сравнить действие тех и других удобрений на динамику органического вещества почвы. В этом опыте применение минеральных удобрений привело к значительному повышению гумусированности почвы по сравнению с контролем. Однако действие навоза на запасы гумуса было значительно более сильным. Вариант с внесением навоза и минеральных удобрений по половинной дозе занимал среднее положение.

В длительных опытах в учхозе «Михайловское» минеральная, навозная и минерально-навозная системы удобрения в севооборотах разных видов оказывали в целом такое же влияние, как и в других рассмотренных выше длительных опытах.

В зернопропашном севообороте в варианте с внесением минеральных удобрений происходит заметное снижение содержания гумуса в пахотном слое.

Плодосменный севооборот в условиях применения минеральных удобрений обеспечивает бездефицитный баланс органического вещества почвы.

Ежегодное внесение в обоих севооборотах навоза создает условия положительного баланса гумуса. Совместное применение навоза и минеральных удобрений имело следствием ту же направленность динамики гумуса и те же размеры накопления его в почве, что отмечены при использовании одного навоза.

Увеличение глубины вспашки с 20—22 до 30—32 см привело в обоих севооборотах к заметному снижению содержания гумуса в слое 0—20 см, однако абсолютные запасы гумуса в слое 0—40 см находились примерно на том же уровне, что и при обработке почвы на 20—22 см. Содержание общего азота в почве экспериментальных севооборотов в учхозе «Михайловское» наглядно иллюстрирует причинную связь его содержания с содержанием органического вещества.

Результаты длительных опытов со всей очевидностью свидетельствуют о решающем значении внесения навоза в дерново-подзолистую почву для поддержания в ней высокого и устойчивого содержания органического вещества и азота. Вместе с тем (табл. 33) закрепление органического вещества навоза в почве опыта

Таблица 33

**Закрепление органического вещества
навоза почвой, 1972 г.**

Вариант	С в слое 0—40 см (т/га)			Внесено С с навозом за время опыта (т/га)	Закреп- лено С почвой (% к внесен- ному)
	в контроле	по навозу	прибавка от навоза		
<i>Длительный опыт ТСХА</i>					
Бесменный пар	22,08	35,33	13,25	59,2	22,4
Бесменная рожь	31,67	46,34	14,67	59,2	24,8
Севооборот, 132-е поле	34,58	41,58	7	31,1	22,5
<i>Длительный опыт ДАОС</i>					
	25,2	34	8,8	30	29,8

незначительно, составляет 20—25% от внесенного, и не различается существенно по вариантам бесменных культур и севооборотного поля. Наши данные о степени гумификации навоза несколько ниже аналогичных показателей по другим длительным опытам. Закрепление органического вещества навоза в форме гумусовых веществ во времени имеет тенденцию к уменьшению. Применение одного навоза, как это практикуется под бесменными паром и рожью или совместно с NPK в севообороте, характеризуется примерно одинаковой эффективностью его гумификации в почве (20—30% от внесенного количества).

На почве тяжелого механического состава (опыт ДАОС) степень гумификации навоза несколько выше. Определение степени гумификации навоза, проведенное в длительных опытах в разные годы, свидетельствует о том, что по мере увеличения периода унавоживания коэффициенты закрепления органического вещества удобрений в почве несколько уменьшаются.

Исследования, проведенные в нашей лаборатории Б. П. Боинчаном с использованием меченой C¹⁴ соломы

и включением продуктов разложения в гумусовые вещества показали, что на начальных стадиях разложения (первые месяцы) скорость минерализации и эффективность гумификации незначительно зависят от глубины локализации органических остатков в пределах пахотного слоя, а также от уровня плодородия почвы. Однако уже через один год компостирования проявляется заметная тенденция увеличения содержания C^{14} в составе гумусовых веществ с увеличением глубины заделки растительных остатков. Максимальная величина включения продуктов разложения соломы в гумусовые вещества почвы была достигнута за период осенне-весеннего разложения и составляла 15—16% при средних значениях около 7—8%. Включившиеся в гумусовые вещества органические фрагменты, обладая умеренной микробиологической устойчивостью, за последующий летний период в значительной степени минерализуются.

Низкие дозы растительных остатков обеспечивают больший «выход» гумусовых веществ по сравнению с высокими дозами. Однако абсолютно большее количество новообразованных гумусовых веществ формируется при внесении более высоких доз органических удобрений. Это способствует увеличению доли восполнимых ежегодных минерализационных потерь. Размеры ежегодно обновляемого гумуса в пахотных почвах обычно пропорциональны абсолютным запасам гумусовых веществ в них. При одинаковых значениях коэффициента гумификации соломы ячменя для почв с разным содержанием гумуса более гумусированные почвы нуждаются в большем количестве растительных остатков для устранения дефицита органического вещества.

Соотношение между процессами минерализации и гумификации растительных остатков сильно различается в почвах и в «безгумусных» породах. Если доза 2,5 т/га (по С) соломы ячменя при компостировании в течение двух лет с «безгумусной» породой (суглинком и песком) минерализовалась только на 4—5%, то внесение примерно такой же дозы в почву привело к минерализации 95% и закреплению 5% внесенной органической массы.

При соотношении доз соломы, вносимых на «безгумусных» субстратах как 1:10:20, количество новообразованного гумуса соотносится как 1:3,4:5,8. На

почвах соотношение вносимых доз соломы составляет 1:2:3:6, а новообразованного гумуса -- 1:1,7:1,8:4,9. Следовательно, внесение высоких доз растительных остатков резко увеличивает их нерациональные минерализованные потери, обусловленные усилением микробиологической активности, а также увеличением соотношения между количеством новообразованных гумусовых веществ и минеральной частью почвы.

В целях оптимизации гумусового режима пахотных дерново-подзолистых почв целесообразно рекомендовать при локализации соломы в верхнем десятиметровом слое почвы дозы внесения не выше 1,2—2,5 т/га. При равномерном распределении соломы во всем пахотном слое мощностью 20 см дозы можно увеличить до 2,5—5 т/га.

В расчетах гумусового баланса пахотных дерново-подзолистых почв можно принять, что внесение 1 т сухой массы соломы и навоза равнозначно образованию 100 и 50—60 кг гумусовых веществ соответственно при условии, что доза их внесения составляет не более 2,5 т/га сухого вещества в слое почвы 10 см.

Эффективность гумификации органических удобрений зависит как от их вида, так и от величины применяемых доз. Низкие дозы всех видов органических удобрений (навоз, солома, горчица), вносимые на «безгумусных» субстратах, имеют наивысшую эффективность гумификации (закрепляется 95—96% внесенной органической массы). Внесение высоких доз органических удобрений приводит к резкому снижению эффективности гумификации соломы и горчицы в отличие от навоза, особенно при компостировании с суглинком. Так, при одинаковом соотношении доз вносимых органических удобрений 1:10:20 количество новообразованного гумуса навоза соотносится соответственно как 1:6,2:12,2, а для соломы и горчицы как 1:3,1:4,9.

Минеральные удобрения снижают эффективность гумификации низких доз органических удобрений (2,5 т/га С) при их компостировании с песком, но не изменяют данный показатель на суглинке. Навоз независимо от минерального субстрата и доз вносимых минеральных удобрений сохраняет высокую способность переходить в гумусовые вещества. Минеральные удобрения повышают эффективность гумификации соломы в дозе 25 т/га при ее компостировании как с суглинком, так и с песком.

Разложение растительных остатков в регулируемых условиях температуры (28°C) и влажности (70% ППВ) идет с максимальным «выходом» гумусовых веществ. Количество закрепленного почвой органического вещества меченой по C^{14} соломы ячменя в лабораторном опыте более чем в 5 раз превышает таковое для полевого эксперимента.

Внесение элементов минерального питания как отдельно, так и в разнообразных сочетаниях не оказывает существенного влияния на интенсивность процессов синтеза-распада растительных остатков. Наблюдается тенденция увеличения закрепляемости органической массы соломы при внесении высокой дозы азотных удобрений.

Обработка почвы как фактор гумусового баланса

Механическая обработка почвы — один из наиболее сильных факторов, обуславливающих отрицательный баланс органического вещества почвы при экстенсивном ведении земледелия.

Разрыхление и свободный доступ кислорода к почвенным агрегатам и неагрегированным механическим частицам, обязанным этому бурная микробиологическая деятельность — вмешательство в почвообразовательный процесс, не имеющее аналога в естественных условиях. Процессы превращения органического вещества в этом случае утрачивают аккумуляционную направленность и приобретают диаметрально противоположный характер — энергичную минерализацию с последующим вымыванием образовавшегося минерального азота или восстановлением его до свободного азота.

Влияние механической обработки дерново-подзолистой почвы при отсутствии растений на содержание в ней органического вещества особенно отчетливо проявляется в таком варианте длительного опыта ТСХА, как поле бессменного пара.

Бессменное парование, при котором почва подвергается максимально интенсивной обработке, за 60 лет опыта на делянке без применения удобрений привело к утрате примерно половины запасов органического вещества и азота. В среднем за весь период опыта ежегодные потери гумуса из почвы составили 6—9 ц/га.

Механическая обработка по своему воздействию на содержание органического вещества почвы значительно более сильный фактор, чем культура полевых растений. Особенно сильное отрицательное влияние обработка почвы оказывает при распашке целинной почвы или пласта многолетних трав.

В одном из опытов были использованы почва многолетней залежи межи длительного опыта ТСХА и почва бессменного пара. Возделывание на этих почвах в течение двух лет однолетних культур обусловило одинаковое по направлению, но количественно весьма разное превращение органического вещества почвы.

Применение высоких доз минеральных удобрений на почве бессменного пара не привело к увеличению содержания в почве органического вещества и азота. Тенденция к уменьшению в почве содержания углерода и азота также выражена весьма слабо. Совместное применение NPK и травяной муки способствовало повышению содержания в почве углерода и азота. Отношение C:N уменьшалось в вариантах с применением NPK и несколько расширялось при внесении NPK совместно с травяной мукой.

Иной была динамика углерода и азота в почве целинной межи. Культура полевых растений в течение двух лет вызвала резкое уменьшение запасов в почве органического вещества и азота. Убыль углерода в варианте с повышенной дозой NPK составила 0,3% к весу почвы (что эквивалентно примерно 14—15 т/га органического вещества). Применение органического удобрения совместно с минеральными значительно сократило потери, но не устранило их полностью. Аналогичные данные получены и по общему азоту.

Приведенные экспериментальные данные показывают, что размеры потерь органического вещества почвы из-за механической обработки могут в 10—15 раз превосходить размеры потерь, обусловленные минерализацией гумуса для удовлетворения потребностей культур в азоте.

Экспериментальные результаты, отражающие динамику урожаев, эффективность удобрений, изменение биологических и физических свойств почвы после завершения первой ротации севооборота в стационарном опыте VII (учхоз «Михайловское»), опубликованы в работах Б. А. Доспехова. Показано, что эффективность разных систем обработки почвы в значительной

мере зависит от погодных условий вегетационного периода, однако по сравнению с традиционной системой обработки эффективность сочетания трехъярусной вспашки на 40 см с глубокой отвальной вспашкой в среднем за ротацию севооборота (1970—1974 гг.) была выше на 15%, а эффективность фрезерной обработки — на 7%. Последняя по сравнению с традиционной обработкой почвы повышала эффективность использования удобрений (70 т навоза + N₄₂₀P₅₄₀K₂₇₀) за ротацию на 28%. По мнению Б. А. Доспехова, положительное влияние указанных систем обработки объясняется значительно более высокой биологической активностью почвы, улучшением физических свойств почвы, а также меньшим засорением посевов.

Проведенные в этом опыте исследования показали также, что большая продуктивность растений при фрезерной системе обработки и сочетании глубоких вспашек с фрезерованием основывается еще и на дополнительном, более интенсивном использовании плодородия почвы, ее гумусовых запасов.

Как видно из табл. 34, в среднем по контрольному и трем фонам удобрений за пятилетнюю ротацию

Таблица 34

Динамика запасов органического вещества (по углероду)
в зависимости от системы обработки почвы.
Стационарный опыт VII на экспериментальной базе
«Михайловское»

Вариант обработки почвы	Слой почвы (см)	Изменение запасов углерода за ротацию севооборота (1970—1974 г.)	Ежегодное изменение запасов углерода почвы (т/га)	Ежегодная минерализация с учетом новообразованного гумуса (т/га)	Доля новообразования гумуса в общих потерях (%)
Вспашка на 20—22 см	0—20	—3,2	—0,64	—	—
	20—40	—1,8	—0,36	—	—
	0—40	—5	—1	1,43	30,1
Вспашка на 30—32 см	0—20	—2,1	—0,42	—	—
	20—40	—1,4	—0,28	—	—
	0—40	—3,5	—0,7	1,14	38,6
Трехъярусная вспашка на 40 см в сочетании с глубокой вспашкой и фрезерованием	0—20	—4	—0,8	—	—
	20—40	+1	+0,2	—	—
	0—40	—3	—0,6	1,04	42,3

севооборота наибольшие потери углерода отмечены в варианте со вспашкой на 20--22 см. Основная обработка по типу глубокой отвальной и трехъярусной вспашки обусловила более экономное потребление запасов органического вещества почвы.

Для выявления роли в балансе органического вещества почвы разных технологий обработки, обусловленных культурой, мы применили методику, сущность которой сводится к следующему: данные по фактической динамике гумуса сопоставлены с теоретически минимальным количеством гумуса, минерализация которого покрывает вынос азота с урожаем культуры. Одновременно учитывали возможное количество новообразованного гумуса, исходя из количества растительных остатков, определенных по уравнениям регрессии и изогумусовым коэффициентам.

При отнесении суммарной фактической минерализации гумусовых веществ почвы к количеству минерализованного гумуса почвы в расчете по выносу азота урожаем получили показатель, который нами назван «фактором минерализации». Этот фактор показывает, насколько производительно расходуется гумусовый фонд почвы. Уменьшение величины фактора минерализации свидетельствует о более рациональном использовании органического вещества почвы в условиях той или иной технологии возделывания полевых культур.

Данные табл. 35 однозначно свидетельствуют о том, что культура и технология ее возделывания решающим образом определяют характер, направление и темпы превращения органического вещества почвы. Так, культура сплошного сева с ограниченной обработкой почвы характеризуется самой малой величиной фактора минерализации (1,4). Пропашные культуры мало оставляют растительных остатков и покрывают свои потребности в азоте большей частью за счет запасов гумуса. В связи с многократными междурядными обработками пропашных культур происходит интенсивная нерациональная минерализация органического вещества, и значительная часть минерализовавшегося азота теряется из почвы. Непроизводительные потери органического вещества почвы под бессменным картофелем на 32% выше, чем под бессменной рожью.

Шестипольный севооборот с одним полем чистого пара в ротации обуславливает значительно менее производительное использование органического вещества

Оценка технологий обработки по влиянию на динамику органического вещества почвы.

Длительный опыт ТСХА,
слой 0—20 см, средние данные за 1972—1977 гг.

Вариант опыта	Ежегодная минерализация гумуса по выносу азота урожаем	Фактическая динамика гумуса (±)	Новообразование гумусовых веществ	Суммарная минерализация гумусовых веществ	Фактор минерализации
Бессменная рожь	364	—250	247	497	1,4
Бессменный картофель	368	—650	28	678	1,84
Севооборот, 132-е полс:					
неполная ротация	396	—350	215	565	1,43
полная ротация	330	—485	179	664	2,01

почвы, чем бессменная культура зерновых, льна и даже картофеля.

Пользуясь величиной фактора минерализации, можно вычленить роль обработки, характерной для возделывания соответствующей культуры. Величина фактора минерализации укажет на эффективность принятой технологии возделывания культуры относительно гумусового баланса почвы.

Исследования, проведенные в 20-летнем опыте опытной станции полеводства ТСХА, показывают, что самое высокое содержание гумуса в слое 0—20 см отмечено в варианте с поверхностной дисковой обработкой почвы. При вспашке на 25 см и вспашке на 25 см + подпахотное рыхление на 15 см оно было несколько ниже, чем в варианте с дисковой обработкой. Безотвальное рыхление привело к заметному снижению гумусированности в слое 0—20 см.

Исходное содержание углерода в почве опыта в слое 0—20 см равно 1,45% С. Следовательно, за 20 лет опыта при принятой системе удобрений (за время опыта ежегодно вносили: N — 51 кг/га, P₂O₅ — 51 кг/га, K₂O — 68 кг/га и навоза — 9,5 т/га) — содержание гумуса в почве в слое 0—20 см при вспашке на 25 см и вспашке на 25 см + почвоуглубление на 15 см не изменилось. Наоборот, безотвальное рыхле-

ние и дискование оказали существенное влияние на гумусированность почвы в слое 0—20 см; в первом случае содержание углерода снизилось до 1,3%, во втором — повысилось до 1,59%.

Значительно более высокое содержание гумуса в слое почвы 0—20 см при поверхностной дисковой обработке по сравнению с гумусированностью почвы в других вариантах опыта, по нашему мнению, объясняется резкой дифференциацией в этом варианте плодородия почвы в слоях 0—20 и 20—40 см. Последнее обусловлено преимущественным поступлением растительных остатков, минеральных и органических удобрений в слой почвы 0—20 см. Такое объяснение подходит, однако, для тех случаев, когда дозы органических удобрений низкие. При лучшем обеспечении почвы органическим веществом его закрепление в почве может значительно сдерживаться вследствие малого объема обрабатываемого слоя почвы.

Величина фактора минерализации (табл. 36), рассчитанная для разноглубинных способов обработки почвы, достаточно хорошо согласуется с уровнем гумусированности дерново-подзолистой почвы в слое 0—20 см.

Таблица 36

Влияние глубины основной обработки на динамику органического вещества дерново-подзолистой почвы.
Длительный опыт опытной станции полеводства ТСХА,
слой 0—20 см, средние данные за 1967—1976 гг.

Вариант опыта	Ежегодная минерализация гумуса почвы по выносу азота в г/га	Фактическая динамика гумуса (±)	Новообразование гумусовых веществ	Суммарная минерализация гумусовых веществ	Фактор минерализации
Вспашка на 25 см	412	+ 26	607	581	1,41
Вспашка на 25 см + подпахотное рыхление на 15 см	403	+ 66	608	542	1,34
Дискование на 10—12 см	397	+ 190	603	413	1,04

В вариантах «вспашка на 25 см», «вспашка на 25 см + подпахотное рыхление на 15 см» почва содержит примерно одинаковое количество гумуса: значе-

ния величин фактора минерализации также примерно одинаковы (1,41 и 1,34). Наоборот, мелкая малointенсивная обработка почвы по типу «дискования» способствовала снижению величины фактора минерализации до 1,04. Минимальное значение величины фактора минерализации при поверхностном дисковании указывает на более рациональное использование продуктов минерализации органического вещества почвы полевыми культурами.

Состояние гумусированности почвы в изучаемых вариантах согласуется с уровнем биологической активности и содержанием в ней подвижных форм азотистых соединений.

Проведенные исследования позволяют утверждать, что удобрение почвы значительно изменяет направленность процессов накопления — разложения гумусовых веществ при разных технологиях обработки дерново-подзолистой почвы. Систематическое применение минеральных удобрений уменьшает величину фактора минерализации. Если в почве под бессменной рожью величина фактора минерализации на контрольном варианте составила 1,4, то по фону НРК — 1,3. Длительное применение минеральных удобрений под бессменный леп и в севообороте тоже снижает величину фактора минерализации. В том же направлении действует периодическое известкование дерново-подзолистой почвы.

Внесение органических удобрений (навоза) способствует интенсивному окультуриванию дерново-подзолистой почвы. В результате этого почва приобретает благоприятные физические, химические и биологические свойства. Однако ежегодные абсолютные размеры минерализации гумуса почвы возрастают по мере повышения плодородия и окультуренности почвы.

Анализ экспериментальных данных, полученных в опытах на разногумусированных почвах, позволяет установить принципиальное положение о том, что окультуренные высокогумусированные почвы расходуют больше органического вещества не только для удовлетворения потребности растений в азоте, но и для поддержания высокого биологического потенциала. Таким образом, равные условия гумусового баланса на разногумусированных почвах требуют неодинакового возмещения органического вещества: на малогумусированных почвах бездефицитный баланс гумуса достигается с гораздо меньшими усилиями, чем на высокогумусирован-

ных почвах. В этой связи приемы обработки почвы по своему воздействию на превращения органического вещества в разногумусированных почвах будут существенно различаться: на окультуренных почвах отрицательная роль обработки в изменении гумусового баланса значительно больше.

Подтверждением вышеуказанного являются результаты определения фактора минерализации по вариантам мелкоделяночных опытов. Если в опыте на малогумусированной почве в среднем по четырем способам обработки величина фактора минерализации составила 1,16, то в опыте на высокогумусированной почве она была равна 1,35.

Расчетная величина фактора минерализации изменяется также в зависимости от глубины обработки дерново-подзолистой почвы. Безотвальное рыхление на 30 см и вспашка на 25 см, применяемые в опытах, обусловили увеличение фактора минерализации. В данных вариантах отмечена и большая убыль абсолютных запасов гумуса в слое 0—20 см. Наоборот, дискование на 10—12 см и «нулевая» обработка сократили значение этого показателя, что связано с более экономным расходованием гумусовых запасов почвой. Таким образом, изменение величины фактора минерализации вполне согласуется с уровнем гумусированности дерново-подзолистой почвы.

Применение высоких доз минеральных удобрений, как правило, снижает величину фактора минерализации, поскольку доля использования культурными растениями почвенного азота значительно снижается, при этом часть азота потребляется растениями из удобрений.

Как уже отмечалось, увеличение потерь гумуса на окультуренной почве зависит не только от уровня интенсивности биологических процессов, но и в значительной степени обусловлено большим выносом почвенного азота с урожаем полевых культур. Так, в наших опытах величина урожая на высокогумусированной почве была в 1,5—2,5 раза выше, чем на слабоокультуренной, с низким содержанием гумуса в почве. В связи с этим расход гумуса для удовлетворения потребности полевых культур в азоте из окультуренной почвы без применения удобрений в 2, а по фону минеральных удобрений в 1,6 раза выше, чем из слабоокультуренной почвы.

Проведенные двухлетние вегетационно-полевые опыты с использованием N¹⁵ показывают, что окультурен-

ность и степень уплотнения почвы (через последнюю мы пытались моделировать интенсивность обработки почвы) оказывают большое влияние на превращение азота удобрений и почвы. Например, в среднем за 1976—1977 гг. уплотнение почвы с 1 г/см^3 до $1,4 \text{ г/см}^3$ способствовало значительному увеличению коэффициента использования меченого азота удобрений.

Аналогично уплотнению действовало на коэффициент использования азота применение ингибитора нитрификации.

Большие масштабы использования азота удобрений в вариантах с уплотнением и применением ингибитора нитрификации обуславливают уменьшение потребления азота собственно почвой, т. е. способствуют более экономному потреблению гумусовых запасов почвы. Таким образом, данные, полученные с N^{15} , подтверждают сделанные ранее выводы о больших потерях гумуса при интенсивной механической обработке почвы.

Расчеты баланса азота удобрений, меченого N^{15} , свидетельствуют о меньших потерях азота-удобрений из уплотненной почвы, а также при использовании ингибитора нитрификации. Потери азота удобрений заметно ниже на более плодородной почве. Последнее логично увязывается с высокой биологической активностью высокогумусированной почвы и, следовательно, интенсивным включением азота удобрений в биологические циклы почвы, иммобилизации посредством почвенной биоты.

Причина же снижения потерь азота удобрений из уплотненной почвы, как уже подчеркивалось, кроется в лучшем усвоении растениями из такой почвы внесенного азота.

РОЛЬ ДЛИТЕЛЬНОГО ПРИМЕНЕНИЯ СЕВООБОРОТА УДОБРЕНИЙ И ОБРАБОТКИ В ИЗМЕНЕНИИ КАЧЕСТВЕННОГО СОСТАВА И ПРИРОДЫ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА ПОЧВЫ

В интенсивном земледелии органическое вещество как основной посетитель ее плодородия наряду с количественными превращениями испытывает и значительные качественные изменения. Собственно гумусовые вещества по сравнению с отмершими растительными остатка-

ми и соединениями неспецифической природы химически стабильны, более устойчивы к биологическому расщеплению и благодаря этому являются основными компонентами органической части почвы. Тем не менее и эти вещества претерпевают заметные изменения, масштабы которых зависят от интенсивности агротехнических мероприятий.

Наиболее ценная с агрономической точки зрения фракция гумусовых веществ — гуминовые кислоты. В дерново-подзолистых почвах доля гуминовых кислот в составе гумуса не превышает 15—20%, преобладающей фракцией являются агрономически менее ценные и более подвижные соединения типа фульвокислот. Специфические гумусовые вещества, прежде всего гуминовые соединения, оказывают исключительно большое влияние на физические и сорбционные свойства почвы, тогда как неспецифические органические вещества и соединения типа фульвокислот активно воздействуют на биологические свойства почвы и питательный режим. Направленное изменение группового состава гумуса в интенсивном земледелии может быть весьма важным агрономическим приемом. Вместе с тем при интенсивном использовании почвы могут создаваться и условия, вызывающие нежелательные изменения в составе гумуса.

По нашим данным, возделывание полевых культур в течение 60 лет без применения удобрений на почвах разного механического состава не привело к существенным различиям в качественном составе гумуса.

Содержание гуминовых кислот и фульвокислот в почве всех длительных опытов было примерно одинаковым (некоторое увеличение гуминовых кислот отмечено под бессменной рожью длительного опыта ТСХА). Соответственно этому соотношение углерода гуминовых кислот и фульвокислот ($C_{гк} : C_{фк}$) находилось в пределах 0,35—0,59.

Известно, что при типе гумусообразования, характерном для подзолистых почв, отношение углерода гуминовых кислот к углероду фульвокислот в составе гумуса обычно меньше единицы. Наоборот, для типа гумусообразования, характерного для черноземов, это отношение больше единицы. Поэтому увеличение отношения $C_{гк} : C_{фк}$ при окультуривании дерново-подзолистой почвы можно объяснять изменением типа гумусообразования, некоторым смещением его к типу, характерному для черноземов.

Весьма характерно для подзолистых почв наличие в них фракции гумусовых веществ, извлекаемых из почвы слабыми растворами минеральных кислот. Некоторые исследователи считают наличие этой фракции показателем оподзоленности почвы и общего неблагоприятия свойств почвы. Нами установлено, что с увеличением содержания общего гумуса в почве длительного опыта ТСХА содержание фракции, извлекаемой слабыми растворами кислот, снижается.

Все количество гуминовых кислот, содержащееся в почве изучаемых длительных опытов, как правило, находится либо в свободном состоянии, либо в форме непрочных комплексных соединений с железом и алюминием. В плодородных от природы почвах, например черноземах, большая часть гуминовых кислот прочно связана с катионами кальция и магния. При таком состоянии гуминовые кислоты очень устойчивы к минерализации. В почвах наших опытов гуматов кальция и магния обнаружено не было.

Наиболее устойчивая и прочно связанная с минеральной частью почвы фракция гумуса — гумины. По своей природе они являются денатурированными гуминовыми кислотами. Их доля в составе гумуса изучаемых почв, не получающих удобрений, несколько выше для опытов в «Щапове» и ДАОС, что может объясняться более тяжелым механическим составом почвы. Величина оптической плотности растворов гуматов натрия ($E_4:E_6$), по общему мнению характеризующая степень сложности и конденсированности агоматических ядер гумусовых веществ, также не различалась существенно по вариантам всех трех опытов.

Следовательно, возделывание полевых культур в севообороте или бессменно оказывает по направлению и масштабу однозначное влияние на групповой состав гумуса. Несколько иной групповой состав гумусовых веществ отмечен нами для почвы целинной межи длительного опыта ТСХА. В этой почве заметно выше содержание гуминовых кислот, соответственно меньшее фульвокислот. Как результат этих изменений, отношение $C_{гк}:C_{фк}$ расширяется до 0,81, что указывает на лучшую выраженность дернового типа гумусообразования в целинных почвах. Однако отсутствие в групповом составе гумуса гуматов Са и малая оптическая плотность гуминовых кислот остается характерной для почв дерново-подзолистой зоны.

Дополнение методики И. В. Тюрина — М. М. Кононовой принципиально отличной от нее схемой Шпрингера позволило подтвердить установленное ранее положение об отсутствии существенных различий между отдельными полевыми культурами как при бессменном, так и при севооборотном возделывании по их влиянию на групповой состав почвенного гумуса. Установлено, что общее содержание гуминовых веществ несколько ниже в севооборотном поле: в почве этого поля заметно меньше коричневых гуминовых кислот, больше гумусового угля. Серые гуминовые кислоты, отличающиеся от коричневых более высоким содержанием азота и высокой поглотительной способностью, отмечены в небольшом количестве только под бессменным клевером. Содержание гумусового угля в почве бессменного клевера, наоборот, было заметно меньшим, чем под бессменной рожью и в севооборотном поле.

Систематическое применение навоза обусловило значительное изменение качественного состава гумуса дерново-подзолистой почвы.

На всех почвенных разновидностях в составе гумуса увеличилось содержание гуминовых кислот при одновременном уменьшении доли фульвокислот. Намечается тенденция к повышению содержания гуминов и уменьшению оптической плотности. Последнее свидетельствует о химически «незрелой» стадии новообразованных гуминовых соединений. Несмотря на некоторое изменение группового состава гумуса, гуматов Са в почве обнаружено не было.

Одностороннее применение азота и фосфора, как и внесение полного минерального удобрения, способствует незначительному расширению соотношения гуминовых кислот и фульвокислот в составе гумуса. В контроле это соотношение равно 0,32, в варианте N — 0,42, на делянке с применением P—0,43, в варианте NPK—0,43. При одностороннем калийном удобрении составило 0,29.

Несмотря на некоторое улучшение состава гумуса при длительном применении минеральных удобрений, все же, как это следует из величин соотношения $S_{гк}:S_{фк}$, основные черты органического вещества почвы изученных вариантов остаются характерными для дерново-подзолистых почв. Это подтверждается также формой связи гумусовых веществ с минеральной частью почвы. Нашими исследованиями не удалось обнару-

жить гуминовых кислот, прочно связанных с катионами Са. Все гуминовые кислоты представлены подвижными формами и гуминовыми кислотами, находящимися в непрочной связи с полуторными окислами.

Современные методы изучения качественного состава гумусовых веществ, как правило, предполагают физико-химическую характеристику этих веществ. Одной из таких характеристик являются оптические свойства гумусовых веществ, зависящие обычно от их химической структуры. Принято считать, что интенсивность и тон окраски гумусовых веществ, извлекаемых из почвы щелочными растворами, находятся в положительной коррелятивной связи со степенью конденсированности ароматического ядра гумусовых веществ. Химически более «зрелые» соединения, образующиеся при дерновом типе гумусообразования, дают более интенсивно окрашенные растворы, которые характеризуются и более высокой оптической плотностью, и, наоборот, окраска гуминовых веществ подзолистых почв, как правило, светлее, а их растворы отличаются меньшей оптической плотностью. Другими словами, гумусовые вещества подзолистых почв являются химически менее «зрелыми», находятся на низших стадиях процессов конденсации и полимеризации.

Кривые абсорбции света растворами гумусовых веществ, выделенных из почвы изученных вариантов, довольно наглядно свидетельствуют о качественной разнородности этих веществ.

Оптическая плотность гумусовых веществ является минимальной в вариантах с наименьшей величиной рН (водной и солевой вытяжки) и наибольшей гидролитической кислотностью (контроль, НРК). В этих вариантах отмечается соответственно самое низкое содержание поглощенных оснований (8,4 мэкв/100 г почвы). То же можно сказать и о степени насыщенности почвенного иоглощающего комплекса основаниями (58,8 и 57,1%). В вариантах с длительным применением азотных, фосфорных и калийных удобрений, особенно по фону извести, оптическая плотность растворов гумусовых веществ значительно выше.

Очевидно, что реакция почвы, ее кислотные и поглощательные свойства оказывают непосредственное влияние на природу гумусовых веществ почвы. К этому следует добавить, что и качественный состав гумусовых веществ почвы изученных вариантов хоро-

шо согласуется с показателями кислотных и поглощительных свойств почвы. Наиболее кислые почвы с низким содержанием поглощенных оснований характеризуются повышенным содержанием в составе гумуса агрономически менее ценной фракции фульвокислот и меньшим содержанием гуминовых кислот. Из-за этих изменений суживается и величина отношения $S_{гк}:S_{фк}$.

Приведенные экспериментальные данные свидетельствуют о неодинаковом значении культуры растений и удобрений в изменении группового состава гумуса дерново-подзолистых почв. Если первые при бессменном или севооборотном возделывании влияют на состав гумуса примерно одинаково, то действие удобрений зависит от их вида. Систематическое применение минеральных удобрений по сравнению с неудобренной почвой не обусловило твердо констатированных положительных изменений в составе гумуса. Органические удобрения, особенно известкование почвы, оказывают значительное положительное воздействие на состав гумуса, увеличивая содержание в нем гуминовых кислот и гуминов, расширяя соотношение гуминовых кислот и фульвокислот. Унавоживание и известкование дерново-подзолистой почвы, таким образом, в некоторой мере изменяют тип гумусообразования, приближают его к дерновому типу. Говоря словами И. А. Стебута, «известкованные почвы приобретают черты известковых почв».

Однако, с другой стороны, гумусовые вещества дерново-подзолистой пахотной почвы продолжают сохранять ряд свойств, характерных для почв этого типа. Так, ни длительное унавоживание, ни известкование не изменило формы связи гуминовых кислот с минеральной частью почвы. Все количество гуминовых кислот находилось в почве либо в свободном состоянии, либо в состоянии непрочной связи с полуторными окислами. Нам не удалось обнаружить гуминовых кислот, прочно связанных с катионом кальция. Этот факт созвучен с выводами И. В. Тюрина и О. А. Найденовой, которые указывают, что гуминовые кислоты первой фракции сохраняют «свою растворимость при непосредственной обработке 0,1 н. раствором щелочи (NaOH) и после насыщения почв кальцием в условиях нейтральной или даже слабощелочной реакции».

Определение оптической плотности растворов гуматов тоже подтверждает малую степень конденсирован-

ности ароматических ядер, образующихся при унавоживании и известковании дерново-подзолистой почвы гуминовых кислот, относительную простоту строения их молекул. Последнее является характерным и для гуминовых кислот типично подзолистых почв.

Сравнение качественного состава пахотного (0—20 см) слоя почвы с таковым подпахотного (20—40 см) дает возможность выявить ряд особенностей гумуса в слое 20—40 см.

Прежде всего следует отметить довольно резкое изменение группового состава гумуса на контрольной и НРК-делянках, которое выражается в снижении доли гуминовых соединений и возрастании содержания фульвокислот. Гумус подпахотного слоя этих вариантов более подвижен; его состав типичен для кисловатых подзолистых почв, где процессы гумусообразования протекают по агрономически нежелательному типу. В унавоженных почвах картина заметно иная. Положительная роль унавоживания в изменении типа гумусообразования проявляется и в слое 20—40 см. В этом слое унавоженной почвы гумус по своему составу мало отличается от гумуса слоя 0—20 см, что подтверждает исключительно важное значение унавоживания в окультуривании почвы подзолистого типа, изменении ее плодородия.

Поскольку ранее мы использовали «вечный» пар для выяснения в чистоте действия обработки почвы на количественную динамику органического вещества почвы, то аналогичным образом можно использовать этот участок и для характеристики качественных изменений гумуса при интенсивной обработке почвы.

Полувековое парование при резком снижении запасов общего углерода в почве привело к значительному уменьшению абсолютного содержания гуминовых кислот в почве. Однако относительное содержание гуминовых кислот в составе гумуса выше, чем в почвах бессменных культур и севооборотного поля.

Данные, полученные по методике Шпрингера, также свидетельствуют о том, что доля гуминовых веществ в составе гумуса бессменного пара значительно больше, чем в одноименных вариантах бессменных культур и севооборотного поля. Наиболее вероятное объяснение относительно высокому содержанию гуминовых веществ в почве «вечного» пара заключается в том, что в условиях интенсивной минерализации орга-

нического вещества, создающихся при интенсивной обработке почвы, в первую очередь минерализуются более подвижные и простые по строению соединения типа фульвокислот. Соединения типа гуминовых кислот и гуминов с более сложным строением значительно устойчивее к микробиологическому расщеплению.

В результате при уменьшении содержания фульвокислот отношение углерода гуминовых кислот к углероду фульвокислот значительно увеличивается.

Одной из задач наших исследований было установление скорости изменений состава гумуса при интенсивном использовании почвы и возможности фиксировать эти изменения с помощью метода М. М. Кононовой — Н. П. Бельчиковой.

Установлено, что десятилетний период опыта недостаточен для выявления с помощью схемы М. М. Кононовой — Н. П. Бельчиковой изменений в составе гумуса, обусловленных влиянием севооборота и удобрений. Качественный состав гумуса — весьма постоянный показатель, стабильность которого обусловлена комплексом почвообразовательных факторов.

Применяемые схемы фракционирования гумусовых веществ позволяют выявить изменения группового состава гумуса пахотной почвы только при длительном воздействии на почву того или иного земледельческого приема. Что же касается изменения природы гумусовых веществ при пахотном интенсивном использовании почвы, то они этими методами практически не раскрываются.

Изучение же природы гумусовых веществ позволяет лучше понять механизм превращения органического вещества в почве, дополнить характеристику группового состава гумуса и в конечном счете дает возможность оценить отдельные приемы интенсивного земледелия по воздействию на режим органического вещества не только количественно, но и качественно.

Мы провели комплексное физико-химическое изучение гуминовых кислот, выделенных препаративно из почв длительного опыта ТСХА.

Элементный состав гуминовых кислот, выделенных из почвы вариантов длительного опыта ТСХА, характеризует качественные особенности гумусовых веществ разнокультурных почв. Почвы контрольных делянок бессменного пара и севооборотного поля отличаются острой дефицитностью гумусового баланса, обусловлен-

ной интенсивной обработкой почвы. В условиях высокой биохимической активности обрабатываемой дерново-подзолистой почвы гумусовые вещества менее сложной природы минерализуются быстрее, чем более «зрелые» гуминовые соединения. В результате происходит относительное накопление в составе гумуса более сложных по химическому составу гуминовых веществ.

Установлено, что гуминовые кислоты почвы пара и севооборотного поля содержат повышенное количество углерода и азота и соответственно меньше водорода и кислорода. Исходя из современных представлений о молекулярном строении гумусовых веществ, гуминовые кислоты данных вариантов длительного опыта при общих чертах строения, характерных для подзолистого типа гумусообразования, имеют вместе с тем ряд важных особенностей. В них меньше участие боковых алифатических структур при повышенной доле углерода ароматических колец; гуминовые кислоты почвы этих вариантов опыта относительно более окислены.

Под бессменной рожью на контроле и НРК — варианте условия гумусового баланса значительно лучше, а при унавоживании происходит прогрессивное накопление в почве органического вещества.

Гуминовые кислоты почв данных вариантов менее обуглерожены, в них меньше азота, больше водорода. Ароматические структуры молекул гуминовых кислот менее конденсированы, боковые радикалы, наоборот, более развиты. В целом, гуминовые кислоты почв бессменной ржи значительно более гидратированы, чем гуминовые кислоты «вечного» пара и севооборотного поля. Применение минеральных удобрений способствует гидратации гуминовых кислот почвы, тогда как унавоживание при перлодическом известковании, наоборот, способствует дегидратации их молекул.

Согласно графостатистическому анализу гуминовые кислоты почв длительного опыта соответствуют примерно классу циклоалканов с приближением в вариантах пара и севооборотного поля к классу ароматических углеводов. Основными реакциями превращения гумусовых веществ в почвах опыта являются дегидратация, окисление и декарбоксилирование.

Степень окисленности гуминовых кислот изучаемых почв незначительна; она несколько выше для почвы пара и севооборотного поля.

Графостатистический анализ позволяет до извест-

ной степени точности разделить углерод гуминовых кислот на углерод ароматической сетки молекулы и боковых радикалов. Наименьшее содержание углерода алифатических цепей свойственно гуминовым кислотам почвы бессменного пара, наибольшее — почве бессменной ржи, удобряемой НРК. Повышенное содержание азота в гуминовых кислотах почвы пара и севооборотного поля следует объяснять значительной долей азотсодержащих гетероциклических соединений в ароматическом ядре гуминовых кислот.

Методом инфракрасной спектроскопии возможно идентифицировать важнейшие атомные группировки и элементы структуры молекулы гуминовых веществ. Для исследованных гуминовых кислот характерно наличие полос поглощения почти во всем диапазоне от 400 до 4000 см^{-1} . Интенсивная полоса поглощения при 3300 см^{-1} обусловлена валентными колебаниями групп ОН, связанных межмолекулярными водородными связями. Для гуминовых кислот бессменного пара характерна полоса поглощения при 3150 см^{-1} за счет группировки NH. Уменьшение интенсивности полос поглощения при 2940 и 2850 см^{-1} обязано валентным колебаниям в CH_3 и CH_2 -группах, что свидетельствует о снижении доли алифатических цепей в молекуле гуминовых веществ. Полоса поглощения, обусловленная карбоксильными группами (1700 см^{-1}), во всех вариантах проявляется очень слабо. Полосы поглощения при 1650 и 1530 см^{-1} характерны для амидной группы. Хорошо заметна для гуминовых кислот бессменного пара и севооборотного поля полоса поглощения при 1610 см^{-1} , которая в сочетании с полосой поглощения при 1530 см^{-1} свидетельствует о наличии в молекуле ароматических компонентов. Полоса поглощения при 1230 см^{-1} , относимая за счет деформационных колебаний О—Н и валентных колебаний С—О карбоксильной группы, наиболее интенсивна для гуминовых кислот севооборотного поля. Полоса поглощения при 860 см^{-1} в ИК-спектре гуминовых кислот пара служит подтверждением высокой степени бензоидности их.

Дифференциально-термические (ДТА) и дифференциально-термогравиметрические (ДТГ) кривые показывают характер физико-химических превращений гуминовых кислот в процессе пиролиза в неизотермическом режиме. Полученные нами данные выявляют

трехчленный характер структур гуминовых соединений почвы длительного опыта ТСХА.

На всех ДТА-кривых отмечен один эндотермический эффект при 115—130°C (реакция дегидратации) и один экзотермический эффект, растянутый в температурном интервале. Последний разграничен на две части: низкотемпературный эндотермический эффект (разрушение алифатических группировок молекулы гуминовых кислот) и высокотемпературный экзотермический эффект, обязанный разрушению ароматического ядра молекулы. Сопоставление данных ДТА и ДТГ позволяет заключить, что на одну весовую часть циклических структур молекул гуминовых кислот приходится несколько меньшая часть периферийных алифатических структур молекулы. Наибольшей степенью участия в молекуле гуминовых соединений ароматических группировок характеризуются гуминовые кислоты, выделенные из почвы бессменного пара. Гуминовые кислоты почвы бессменной ржи более богаты алифатическими структурами молекул.

Несмотря на большое значение изложенных выше экспериментальных данных, их использование при практическом воспроизводстве благоприятного качественного состава органического вещества почвы в зональных системах земледелия весьма затруднительно. Поэтому в последние годы предприняты попытки разработать менее сложные, широкодоступные и, главное, агрономически более обоснованные методы характеристики качественного состояния органического вещества почвы.

Один из подходов к проблеме диагностики изменения качественного состояния органического вещества почвы под воздействием земледельческих мероприятий основан на теоретическом положении, подтверждаемом в последнее время обширным экспериментальным материалом о существовании в почве двух форм органического вещества, стабильного и лабильного. Именно лабильная часть органического вещества почвы наиболее чувствительна к воздействию различных технологических приемов и наиболее регулируема. Причем земледельческие приемы позволяют регулировать процессы синтеза — распада органического вещества почвы в самый ответственный период гумусообразования — при превращении исходного энергетического материала. Говоря о лабильной и стабильной формах органи-

ческого вещества почвы мы подразумеваем, согласно результатам наших исследований, что лабильное органическое вещество в отличие от стабильного обладает выраженной минерализационной способностью из-за менее прочной связи с минеральной частью почвы и относительно более низкой микробиологической устойчивости.

Для характеристики лабильной части гумуса, ее изменений под влиянием приемов интенсивного земледелия использовали следующие показатели.

1. Содержание углерода в водной вытяжке, а также разделение почвы по плотности в тяжелой жидкости с дополнительным диспергированием ее ультразвуком в соответствии с методикой лаборатории биохимии гумуса Почвенного института имени В. В. Докучаева.

2. Содержание углерода в щелочной (0,1 н. NaOH) вытяжке без разделения щелочного экстракта на гуминовые кислоты и фульвокислоты с определением коэффициента цветности раствора.

3. Термический анализ образцов почвы без препаративного извлечения гумусовых веществ.

4. Содержание липидов и хлорофилла.

5. Определение ферментативной активности и др.

Полученный в нашей лаборатории Б. П. Болнчаном экспериментальный материал позволяет охарактеризовать влияние культуры растений и способов их возделывания, длительного применения удобрений (органических и минеральных), периодического известкования на качественное состояние органического вещества почвы.

Выявлена положительная роль культуры растений, удобрений и известкования в изменении качественного состояния органического вещества почвы. Установленные изменения касаются прежде всего лабильной части органического вещества почвы как наиболее чувствительной к земледельческим приемам.

Длительное парование почвы в отсутствие культурных растений обусловило резкое абсолютное уменьшение лабильной части органического вещества. О небольших размерах последней свидетельствует низкое абсолютное содержание углерода в водной, пирофосфатной, щелочной, совместной щелочной и пирофосфатной вытяжках, а также результаты разделения органического вещества по удельной массе с дополни-

тельным диспергированием почвы ультразвуком и по методике Шпрингера. Близкое к другим вариантам опыта относительное содержание углерода в пирофосфатной, щелочной и совместной щелочной и пирофосфатной вытяжках бессменного пара указывает на ослабление прочности связи лабильного органического вещества с минеральной частью почвы. На возможное ослабление прочности связи не только лабильного, но и стабильного органического вещества с минеральной частью почвы указывает большая величина кислотно-солевого отношения. При этом смесь щелочи и пирофосфата натрия извлекает из почвы почти столько же гумусовых веществ (по углероду), сколько извлекает ацетилбромид (по Шпрингеру) и смесь спирта и бромформа с удельной массой ≤ 2 г/см³.

Небольшой размер лабильной части органического вещества почвы бессменного пара определяет низкую интенсивность трансформационных процессов в ней. В частности, высокое содержание липидов отражает низкую относительную скорость разложения органических остатков.

Под культурными растениями, независимо от способа их возделывания, содержание гумуса в 2 раза и более выше, чем в бессменном пару.

Возделывание культур в севообороте и бессменно оказывает неравнозначное влияние на качественное состояние органического вещества. Оно проявляется в большей интенсивности и напряженности биологических и биохимических процессов почвы в севообороте в отличие от почвы бессменных посевов озимой ржи. Доказательство тому — большая подвижность органического вещества во всех изученных вытяжках, и особенно в водной; низкое значение коэффициента цветности и более узкое соотношение C:N.

Органические и минеральные удобрения оказывают различное влияние на качественное состояние органического вещества.

Органические удобрения в большей степени, чем минеральные, увеличивают общее содержание органического вещества, а также размер его лабильной части. О величине последней можно судить по аналогичным перечисленным ранее показателям. Возрастает соотношение лабильного к стабильному органическому веществу. Более низкое значение данного показателя в

унавоженном варианте бессменной озимой ржи при фракционировании органического вещества по схеме Шпрингера объясняется большим содержанием неизвлекаемых с помощью ацетилбромида промежуточных (негумифицированных) продуктов разложения растительных остатков.

Важным обстоятельством является увеличение стабильности органо-минерального комплекса почвы под воздействием систематического применения органических удобрений. Об этом свидетельствует более низкое относительное содержание углерода в пирофосфатной, щелочной и совместной щелочной и пирофосфатной вытяжках при близких абсолютных количествах извлекаемых гумусовых веществ для соответствующих вытяжек. Внесение навоза усиливает процессы новообразования гумусовых веществ и в то же время разложения органических остатков. Это подтверждается, с одной стороны, более высокими значениями коэффициентов цветности в унавоженном варианте и, с другой стороны, более низким относительным содержанием липидов и хлорофилла. В севообороте такая закономерность не соблюдается, что связано с большими различиями в количестве и характере поступления растительных остатков, а также в скорости их разложения.

Действие органических удобрений на качественное состояние органического вещества зависит и от способа возделывания культур. Большой положительный эффект достигается в севообороте, причем как на унавоженном фоне, так и на фоне применения исключительно минеральных удобрений. Оценка проводилась по тем же показателям, что и на неудобренном фоне. Высокая интенсивность и напряженность биологических и биохимических процессов в севообороте приводит к уменьшению абсолютного размера лабильной части органического вещества почвы.

Периодическое известкование дерново-подзолистой почвы в большинстве случаев обуславливает увеличение стабильности и прочности органо-минеральных соединений почвы, не поддающихся воздействию применяемых пептизаторов. Совместное внесение извести и органических удобрений является наиболее результативным. В этих же вариантах отмечен более ценный с агрономической точки зрения состав гумусовых веществ, а именно преобладание гуматов над гумусо-

выми кислотами особенно в почве бессменной озимой ржи.

В вариантах с известкованным фоном создаются более благоприятные условия для новообразования гумусовых веществ, о чем свидетельствуют большие значения коэффициентов цветности по сравнению с неизвесткованным фоном. Параллельно возрастает относительная скорость разложения органических остатков. Она ниже в бессменном пару и возрастает под полевыми культурами, особенно при внесении органических удобрений.

На известкованном фоне в большей степени проявляется положительная роль севооборота в изменении качественного состояния органического вещества дерново-подзолистых почв. На большую скорость разложения органических остатков в севообороте указывают более низкие значения коэффициентов цветности, большая подвижность гумусовых веществ, меньшее абсолютное содержание хлорофилла и практическое его отсутствие на фоне совместного внесения навоза и минеральных удобрений. Кроме того, уменьшается абсолютный размер лабильной части органического вещества почвы. Замеченные несоответствия в относительном содержании липидов еще раз подтверждают необходимость получения данного показателя в динамике, с учетом поступающих липидов с растительными остатками и их содержанием в лабильной части органического вещества почвы. Таким образом, максимальный положительный эффект получен от совокупного действия севооборота, органических и минеральных удобрений на фоне известкования. Этому варианту соответствует также максимальная продуктивность растений.

Минимальная обработка почвы способствует переводу работы системы «гумусового хозяйства» в накопительный режим, особенно для верхнего (0—10 см) слоя почвы. Увеличение абсолютных запасов органического вещества дерново-подзолистых почв происходит в большей степени за счет лабильных, чем стабильных его форм. Об этом свидетельствует относительно стабильное количество органического вещества, связанное с минеральной частью почвы, независимо от уровня окультуренности почв. Последнее установлено как при использовании термического метода анализа почв, так и при денсиметрическом разделении образцов почвы с дополнительным воздействием ультразвука.

Количественные связи урожайности культур с качественным состоянием органического вещества почвы свидетельствуют о том, что направленное воздействие с помощью агротехнического комплекса на лабильную часть органического вещества обеспечивает значительное увеличение производительности почвы.

Для оценки качественного состояния органического вещества интенсивно используемых дерново-подзолистых почв в результате проведенных в длительных опытах исследований рекомендуются следующие показатели: содержание углерода в водной и щелочной (0,1 н. NaOH) вытяжках, определение коэффициента цветности щелочной вытяжки, биогенность почвы (продуцирование CO_2 и поглощение O_2 в расчете на единицу массы органического вещества), абсолютное содержание углерода во фракции $\geq 2 \text{ г/см}^3$ и соотношение $\text{C} : \text{N}$ в этой фракции.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ГУМУСОВОГО БАЛАНСА ПОЧВЫ В СЕВООБОРОТЕ

Возрастающее значение органического вещества почвы при ее интенсивном использовании, низкая от природы гумусированность дерново-подзолистых почв и одновременно практические трудности, связанные с регулированием в них содержания и качества гумуса, обуславливают особую актуальность, с одной стороны, научно обоснованного и приемлемого с производственной точки зрения абсолютного уровня гумусированности почвы, а с другой — характера системы мероприятий по регулированию баланса и режима органического вещества почвы.

Принципиальное значение имеет теоретическое обоснование минимально допустимого (критического), оптимального при современных условиях ведения земледелия, оптимального перспективного уровней содержания органического вещества почвы. Соответственно принятому уровню гумусированности определяется характер гумусового баланса в севообороте, точная мера его интенсивности и емкости, т. е. абсолютные размеры круговорота органического вещества в почве.

Типы и виды освоенных в хозяйстве севооборотов,

их специализация и степень интенсивности, различия отдельных почвенных массивов в хозяйстве по плодородию и содержанию гумуса предполагают абсолютно различающиеся запасы гумуса почвы в этих севооборотах и неодинаковые темпы и конечные размеры гумусовых балансов.

Воздействие на органическое вещество почвы, как было уже показано, может быть реальным только при условии применения комплекса агротехнических приемов. Это важнейшее исходное положение при разработке системы «гумусового хозяйства» почвы. Оно основывается на глобальной роли органического вещества в почвенных процессах, многообразии его превращений, а также на том, что любое воздействие на почву в конечном счете приводит к соответствующим изменениям органического вещества почвы.

Необходимо видеть разницу между уровнем гумусированности почвы (характером баланса гумуса) и режимом органического вещества в ней. Последний характеризует промежуточное состояние «гумусового хозяйства» почвы, высокое эффективное плодородие почвы в данный момент, устойчивость эффективного плодородия (спелости почвы) во времени. При одинаковом балансе гумуса и одинаковых абсолютных уровнях гумусированности почвы режим органического вещества, обусловленный характером поступления его в почву, химическим составом и сопутствующими агротехническими приемами, может быть различным. Теоретически наиболее благоприятным для плодородия почвы следует считать такой режим, когда поступление в почву свежего органического вещества во времени происходит равномерно, а биохимические превращения его осуществляются со скоростью и характером, наиболее благоприятными как для поддержания высокого плодородия почвы, так и для продуктивной гумификации и закрепления его в почве. При этом исключаются процессы значительной иммобилизации внесенных в почву удобрений и пестицидов при одновременной высокой общей активности биологических процессов в почве.

Реализация в производстве теоретически обоснованных гумусовых балансов, несмотря на их абсолютное значение, должна тем не менее иметь конкретную экономическую оценку. Затраты на поддержание заданного баланса органического вещества возрастают

прямопропорционально абсолютному уровню гумусированности почвы. Это обстоятельство вынуждает соразмерять эффективность принятого в хозяйстве баланса гумусовых веществ с затратами на его практическое осуществление. Рациональное регулирование балансов и режимов органического вещества в пахотных дерново-подзолистых почвах должно поэтому носить ступенчатый характер. В каждом отдельном случае производственная модель «гумусового хозяйства» почвы зависит от уровня интенсификации земледелия.

Однако независимо от уровня интенсификации и культуры земледелия во всех хозяйствах на первой стадии должен быть обеспечен как минимум бездефицитный баланс органического вещества почвы, т. е. безусловное прекращение потерь органического вещества почвы. Соблюдение этого условия создает основу для осуществления дальнейших, более эффективных систем регулирования «гумусового хозяйства» почвы.

Планомерное развитие земледелия в нашей стране, уменьшение зависимости его от погодных условий обуславливают необходимость не только теоретического обоснования оптимального баланса и режима органического вещества почвы, но и ставят задачи конкретного прогнозирования наиболее эффективных моделей «гумусового хозяйства».

Прогнозирование гумусовых балансов в интенсивном земледелии — вопрос новый, требующий глубоких методических разработок. В предложенном далее расчетном методе мы исходим из новейших представлений о количественных превращениях органического вещества в интенсивно используемых почвах и собственных экспериментальных результатов.

Экспериментальное обоснование моделей «гумусового хозяйства» среднесуглинистой дерново-подзолистой почвы проведено на основе длительных опытов в учхозе «Михайловское» Подольского района Московской области, схема и методика проведения которых были нами описаны. Однако на некоторых методических положениях, имеющих отношение к рассматриваемому вопросу, следует кратко остановиться.

Первое положение касается методики учета корневых и пожнивных остатков растений, их участия в балансе органического вещества почвы.

Разные исследователи приводят неодинаковые опи-

сания приемов отбора образцов, определение их размера, формы и кратности. Весьма условна методика разделения корневых остатков на корни возделываемой культуры, корневые остатки предшествующей культуры и остатки органических удобрений. Не регламентирована методика размачивания и отмыва корневых остатков из почвенного образца или монолита. То же относится и к очистке корневых остатков от почвенных частиц, которые в ряде случаев приводят к заметному искажению результатов анализа.

Определение корневой массы растений, проведенное даже в фазу наибольшего развития вегетативной массы, не отражает реального поступления органического вещества в почву, поскольку в течение всей вегетации растений наряду с образованием новых корней происходит частичное отмирание корневой системы с быстрой минерализацией отмерших остатков.

Получение независимых друг от друга, случайных (рэндомизированных) и достаточных по числу проб растительных остатков часто противоречит интересам сохранения полевого опыта и возможностям экспериментатора. Обычно при отборе проб считают обязательным придерживаться систематического начала, причем пробные деланки по урожаю должны строго соответствовать средней урожайности опытного участка.

Очень часто в публикуемых работах приводятся общие количества растительных остатков после возделывания той или иной культуры. На самом же деле кроме пожнивных и корневых остатков данной культуры в общую массу органических остатков ошибочно заносят (не исключают) растительные остатки предшествующей культуры, которые обязательно содержатся в почве.

Требует значительного уточнения и методика отбора проб корневых и пожнивных остатков для определения содержания углерода, азота и зольных элементов.

Все сказанное плюс необходимость распространения результатов анализа относительно небольших проб корневых и пожнивных остатков на большую площадь приводит к появлению больших ошибок, а следовательно, и к разноречивости экспериментальных данных, пестроте абсолютных количеств растительных остатков, оставляемых той или иной культурой в почве. Дополнительные трудности возникают и потому,

что часто сравниваемые количества растительных остатков получены при неодинаковых урожаях культур, на разных почвах, при неодинаковом внесении удобрений, уровне увлажнения почвы и т. п.

Сказанное обязывает достаточно подробно приводить описание методики учета растительных остатков, а также расчетов абсолютных количеств их, поступающих в почву. При таком подходе полученные параметры баланса растительных остатков хотя и остаются достаточно условными, но все же могут быть использованы для сравнительного анализа, а не иметь чисто познавательный характер.

В наших исследованиях режима растительных остатков в стационарных полевых опытах принята следующая методика. Массу корней, оставляемых в почве культурой, и корневые остатки прошлых лет определяли рамочным способом. Размер рамки — 20×30 см. Рамку накладывали на почву таким образом, чтобы длинная сторона располагалась поперек рядков культуры. При этом в зону рамки попадали два рядка зерновой культуры, а также по половине междурядья с каждой стороны. Глубина отбора почвенных проб 0—20 и 20—40 см, повторность — четырехкратная. Выемку почвенного образца осуществляли с помощью прямоугольной лопаты с шириной штыка 15 см. Образцы почвы, содержащие корневые остатки, размачивали в воде в течение 30 мин. Отмывку корней производили в проточной воде на сите с отверстиями 1 мм. Отделение корневых систем сорных растений осуществляли при неполном разрушении монолита, эта часть в корневые остатки возделываемой культуры не включалась. Разделение живых корней и корневых остатков предшествующей культуры, а также органических остатков навоза проводили путем декантации. Окончательное разделение органических остатков практиковали в лаборатории. При этом особое внимание уделяли очистке остатков от минеральных частиц почвы. После высушивания растительных остатков до постоянного веса их размалывали и образцы хранили в пакетах из пергаментной бумаги.

Брали почвенные образцы на содержание корневых и пожнивных остатков в течение вегетационного сезона дважды: весной, до начала полевых работ, и в момент уборки культуры. Это давало возможность опре-

делить скорость разложения растительных остатков в почве.

Перед отбором почвенной пробы на площадках, ограниченных рамками, до уровня почвы срезали стерню и тщательно собирали растительный опад (листья, остатки стеблей и др.). Высота стерни для зерновых культур была принята равной 15 см, ботву картофеля перед уборкой измельчали КИР-1,5, а уже потом приступали к учету надземных и корневых остатков растений. Определение С, N, P, K в растительных остатках проводили отдельно для корневых и надземных остатков.

При моделировании режима органического вещества в севооборотах исходили из количественной оценки в «гумусовом хозяйстве» почвы отдельных культур, причем баланс гумуса подсчитывался на основе азотного баланса. Использование полных ротаций севооборотов для установления баланса гумуса не только значительно усложняет исследования, но и ограничивает применение полученных результатов. Исследования отдельных культур проводились тем не менее в одном-двух севооборотах, что позволяет устранить возможные отрицательные эффекты экологического характера. Надо также иметь в виду, что роль той или иной культуры в балансе органического вещества почвы включает в себя некоторую долю влияния предшествующей культуры. Этот переходящий эффект, присущий отдельным культурам, в модели «гумусового хозяйства» почвы в севообороте вполне допустим, поскольку чередование культур в севообороте осуществляется по замкнутому циклу.

Баланс и режим органического вещества почвы опытных севооборотов формируются как результат взаимодействия эффектов отдельных культур севооборота во времени. Изучаемые культуры вследствие своих биологических особенностей по-разному используют минеральные элементы почвы и удобрений. Зерновые культуры характеризуются умеренным выносом элементов почвенного питания при одновременном оставлении в почве относительно больших количеств растительных остатков. Режим органического вещества под зерновыми не испытывает акселерирующего влияния обработки почвы, поскольку интенсивность ее при возделывании зерновых невелика. Картофель как культура интенсивного типа потребляет большое количество элементов питания при малом количестве растительного

материала, оставляемого в почве. Интенсивная обработка почвы при возделывании картофеля обуславливает быстрое превращение органического вещества почвы.

Растительные остатки — важнейшая статья баланса и режима органического вещества в пахотной почве. Несмотря на то что наши экспериментальные данные не подтверждают имеющего широкое распространение мнения о возможности поддержания запасов гумуса в почве исключительно за счет корневых и пожнивных остатков высоких урожаев полевых культур, тем не менее реальный учет растительных остатков бесспорно необходим при всех системах регулирования «гумусового хозяйства» пахотной почвы.

С помощью корреляционного и регрессионного анализов собственных и опубликованных другими исследователями данных урожаев и количеств растительных остатков, поступающих при этом в почву, нами установлена прямая положительная средней тесноты связь между изучаемыми показателями. Для широкого диапазона урожаев зерновых культур (от 10 до 50 ц/га), картофеля (от 70 до 250 ц/га), кукурузы (от 120 до 360 ц/га), вико-овсяной смеси (от 15 до 65 ц/га сена) и многолетних трав (от 20 до 100 ц/га сена) рассчитаны уравнения линейной регрессии.

Использование этих уравнений совершенно необходимо при прогнозировании баланса и режима органического вещества в севооборотах и в целом обеспечивает получение достаточно достоверных данных. Что касается азота, то его содержание в получаемых в практических условиях урожаях изменяется незначительно и условно может быть принято неизменным.

Как было уже показано, наибольшее влияние на баланс органического вещества в почве оказывают культура растений и систематическое применение удобрений. Уровень урожаев и система удобрения могут значительно изменять роль отдельных культур в балансе органического вещества.

Выбор меры разложения гумуса почвы при возделывании полевых культур сопряжен со значительными трудностями, обусловленными разнообразием почвенных, гидротермических и агротехнических условий местообитания. В литературе имеются лишь единичные указания по этому вопросу. Наши расчеты скорости минерализации гумусовых веществ почвы выполнены

на двойной основе. С одной стороны, мы руководствовались по выносу азота урожаями культур (содержание последнего, как известно, причинно связано с содержанием органического вещества в почве). Этот путь дает надежные результаты при внесении хозяйственно принятых доз удобрений. Следует иметь в виду, что при внесении высоких доз минерального азота эти расчеты должны обязательно корректироваться постоянным определением коэффициентов использования этого элемента. И только внося соответствующие поправки по выносу азота растениями, можно судить о потреблении гумуса почвы.

С другой стороны, расчеты минерализации гумуса по выносу растениями азота мы контролировали также результатами прямого экспериментального определения потерь гумуса из дерново-подзолистой почвы при длительном возделывании разнородных полевых культур в длительных полевых опытах.

Эффективность трансформации свежевнесенного в почву органического вещества удобрений и растительных остатков в гумусовые вещества зависит от многих факторов: химического состава свежего органического вещества, биологической активности почвы, гидротермических условий в почве и др. Для навоза рядом исследователей приводятся данные о размерах его гумификации в почве; они колеблются от 15—20 до 40—50%. Установлено, что по мере увеличения длительности утаивания закрепление его в почве в форме гумусовых веществ уменьшается. Что касается гумификации растительных остатков, то экспериментальных данных по этому вопросу опубликовано значительно меньше. По данным иностранных авторов, гумификация растительных остатков озимой пшеницы составляет: во Франции — 18%, Бельгии — 20, Швейцарии — 32%. Растительные остатки многолетних бобовых трав гумифицируются на 15—20%, для сидеральных культур и картофеля коэффициенты гумификации близки к нулю.

При оценке роли отдельных культур в гумусовом балансе почвы количество азота, содержащегося в растительных остатках, используется не культурой, которая их оставляет, а только на второй год, очередной культурой севооборота. Несмотря на логичность такого расчета, оценка культуры растягивается на два вегетационных периода, а главное, искажаются сами результаты оценки. Так, скажем, при размещении картофеля

по пласту многолетних трав пропашная культура использует большое количество азота, минерализующегося из растительных остатков предшествующей культуры. Минерализация гумусовых веществ собственно почвы может иметь место только тогда, когда потребности культуры в доступном азоте не будут удовлетворены за счет азота пласта. При недостатке азота, образующегося из пласта, может использоваться азот собственно гумусовых веществ почвы, но размеры этого использования будут незначительными. В результате под картофелем минерализуется небольшое количество гумуса почвы. В то же время при размещении по картофелю, например, зерновой культуры последняя будет использовать азот прежде всего собственно почвы, так как в небольшом количестве растительных остатков картофеля содержится мало азота. Следовательно, на основании проведенной оценки культур по их роли в гумусовом балансе почвы картофель может быть неправильно отнесен к культурам, мало влияющим на содержание органического вещества почвы, а зерновая культура, наоборот, к растениям, оказывающим сильное влияние на запасы гумуса.

Отмеченное противоречие может быть полностью устранено, если учет и оценку количества азота, содержащегося в растительных остатках культуры, не отрывать от оценки культуры. В таком варианте расчета учитывается все количество доступного азота почвы в течение вегетационного периода; потребности культуры сопоставляются с потенциально возможным количеством доступного азота, образующегося из удобрений и растительных остатков. Недостающее для получения заданного урожая количество азота относится за счет собственно почвы (гумуса). Поскольку отдельные полевые культуры возделываются в севообороте, постольку конечное влияние севооборота на содержание органического вещества почвы во всех случаях является равнодействующей частных эффектов культур.

В этом смысле конечный эффект севооборота не изменится от того, растянут ли эффект отдельной культуры на два года или учтен в течение одного вегетационного периода. С практической точки зрения, однако, гораздо проще рассчитывать суммарное влияние культуры на баланс гумуса, относя его на один год ротации (одно поле).

Использование полных ротаций севооборота для

определения гумусового баланса почвы не только значительно усложняет исследования, но и ограничивает применение полученных при этом результатов. С другой стороны, изучение роли в гумусовом балансе отдельных культур должно проводиться в нескольких звеньях, что позволяет избежать возможных отрицательных эффектов экологического порядка.

Прежде чем использовать полученные данные для практического моделирования баланса гумуса почвы в том или ином севообороте, необходимо убедиться в объективности предлагаемого метода, в его достаточной точности. С этой целью мы рассчитали теоретическую модель баланса органического вещества для двух четырехпольных и двух пятипольных севооборотов стационарного опыта № 1 в учхозе «Михайловское». Наличие в упомянутых опытах четырех вариантов удобрений должно было, по нашему мнению, обеспечить всестороннюю проверку модели.

Сравнение расчетной модели «гумусового хозяйства» почвы в двух четырехпольных плодосменных севооборотах с фактическим, экспериментально определенным балансом гумуса показало высокую сходимость обоих вариантов баланса органического вещества почвы. Расхождения в запасах гумуса в слое 0—40 см в конце ротации не превышали, как правило, 200—250 кг углерода, и только в севообороте с вико-овсяной смесью в варианте смешанной системы удобрения разница составила около 900 кг углерода. Учитывая допустимую точность методов определения содержания и запасов гумуса в почве, необходимо признать высокую точность расчетной модели «гумусового хозяйства» почвы. Аналогично точное совпадение теоретической и фактической модели баланса гумуса получено и для двух пятипольных севооборотов.

На фоне интенсификации химизации земледелия, ее научно-теоретического обоснования и дальнейшего развития следует признать парадоксальным тот факт, что органическому веществу почвы — важнейшему фактору высокоэффективной химизации земледелия и производительности почвы уделяется явно недостаточное внимание. В нашем земледелии не проводится самого элементарного оперативного контроля за содержанием органического вещества почвы, не очерчен круг мероприятий, призванных сохранять и пополнять запасы почвенного гумуса, не положено начало балансовым

расчетам «гумусового хозяйства» почвы. Такое положение нельзя признать нормальным как с точки зрения сохранения и умножения плодородия почвы, так и с позиций сохранения почвы вообще как элемента биосферы.

Отсутствие должного контроля за сохранением и регулированием органического фонда интенсивно используемой почвы находится также в противоречии с первостепенной ролью показателей гумусированности почвы в существующих системах бонитировки почв.

Единственным источником сведений о содержании гумуса в пахотных почвах до последнего времени являлись крупномасштабные почвенные карты колхозов и совхозов. Почвенные карты взяты и за основу при проведении бонитировочных работ. Не приписывая большого значения почвенных карт для решения ряда вопросов, следует, однако, заметить, что их роль при оценке динамики почвенных свойств и процессов во времени крайне незначительна, поскольку крупномасштабное и детальное картирование не повторяется в строго установленные и хозяйственно обозримые сроки.

Учитывая необходимость в прогнозировании и регулировании баланса органического вещества в пахотных дерново-подзолистых почвах, мы на основе предлагаемых (нами же) исходных положений разработали расчетную методику определения гумусового баланса в севообороте. Широкое использование ее для программированного регулирования гумусового баланса в системе агрохимслужбы СССР, по нашему мнению, обеспечит значительное повышение эффективности минеральных удобрений в ближайшей перспективе. Необходимо отметить, что в агрономической литературе этому вопросу уделяется недостаточное внимание.

Расчетное прогнозирование гумусового баланса в севообороте не связано с дополнительными затратами и легко осуществимо в условиях хозяйства.

Исходными положениями при прогнозировании гумусового баланса в севообороте являются научно обоснованные статьи расхода — прихода органически связанного углерода в интенсивно используемой пахотной почве.

Расходной частью гумусового баланса является минерализация органического вещества почвы в условиях принятой технологии производства и вынос его

из корнеобитаемого слоя за счет вертикального и поверхностного стока.

Приходная часть гумусового баланса складывается из поступления органического вещества с корневыми и пожнивными остатками полевых культур, с навозом и другими органическими удобрениями, с семенами и посадочным материалом и связывания некоторого количества углекислого газа атмосферы синезелеными водорослями.

По нашим данным, вымывание органического вещества из пахотного слоя длительного опыта Тимирязевской академии не превышает 30—40 кг/га углерода в год. С поверхностным стоком дерново-подзолистые пахотные почвы теряют за год максимум 80—100 кг/га.

Поступление органического вещества с продуктами жизнедеятельности почвенных водорослей и с семенным материалом незначительно и колеблется в пределах 100—200 кг/га углерода. Имеющиеся в литературе данные о большей роли почвенных водорослей и в целом микроорганизмов почвы в гумусовом балансе почвы еще нельзя считать точными и использовать при расчетах. Тем не менее есть все основания полагать, что поступление органического вещества с продуктами жизнедеятельности автотрофных водорослей и с семенным материалом в дерново-подзолистых почвах полностью возмещает расход органического вещества за счет вертикального и поверхностного стоков.

Таким образом, для упрощения расчетов вполне допустимо пренебречь указанными выше расходно-приходными статьями гумусового баланса пахотной дерново-подзолистой почвы.

В процессе минерализации гумуса образуются минеральные формы азота, которые используются растениями и микрофлорой почвы. Исходя из причинной связи содержания азота с содержанием углерода (C:N в гумусовых веществах пахотной дерново-подзолистой почвы в среднем 10:1) при расчете гумусового баланса прежде всего следует учитывать вынос азота с урожаем полевых культур. При внесении невысоких доз минерального азота последний участвует в создании урожая наряду с азотом гумуса. Использование растениями внесенного минерального азота определяется по нормативным данным. При больших его дозах, когда количество доступного азота равно или превосходит вынос его запланированным урожаем, можно принять

(на основании результатов исследований Ф. В. Турчина, П. М. Смирнова, Д. А. Корелькова, Н. А. Сапожникова и собственных данных), что половина вынесенного растениями азота почвенного происхождения. Вынос азота с запланированным урожаем определяется по справочным данным.

При расчете гумусового баланса надо также исходить из того, что эффективность использования азота гумуса зависит от механического состава почвы и характера полевых культур. Это учитывается с помощью специальных (поправочных) коэффициентов.

Поправочные коэффициенты использования азота почвы для разных по механическому составу дерново-подзолистых почв и разных полевых культур следующие: для тяжелого суглинка — 0,8; среднего суглинка — 1; легкого суглинка — 1,2; супеси — 1,4; песка — 1,8; многолетних трав — 1; зерновых и других однолетних культур сплошного посева — 1,2; пропашных — 1,8.

Использование азота минеральных удобрений (при рекомендуемых дозах) равно 50%, навоза — 25, растительных остатков — 50%. Обеспеченность потребности клевера в азоте за счет азота атмосферы в вариантах без удобрений принята за 80%, при внесении удобрений — 70%; для вико-овсяной смеси соответственно 20 и 10%.

Наиболее существенная приходная статья гумусового баланса в современном земледелии — поступление в почву органического вещества корневых и пожнивных остатков полевых культур. Количество растительных остатков с ростом урожаев абсолютно повышается, однако на единицу урожая, наоборот, снижается.

На основе статистического анализа собственных и литературных данных об урожаях и количествах растительных остатков рассчитаны уравнения линейной регрессии, которые позволяют быстро определять количество растительных остатков, поступающих в почву.

Для озимой пшеницы (в диапазоне урожаев от 10 до 50 ц/га) уравнение регрессии имеет вид $Y=0,41X+19,88$; для ячменя (в том же диапазоне урожаев) — $Y=0,54X+10,11$; для картофеля (при урожаях 70—240 ц/га клубней) — $Y=0,07X+3,54$; для кукурузы на силос (при урожаях 120—360 ц/га) — $Y=0,1X-6,27$; для вико-овсяной смеси (при урожаях 15—65 ц/га сена) — $Y=0,25X+14,74$; для клеверо-злаковых смесей

(при урожаях 20—100 ц/га сена) — $Y = 0,23X + 35,11$; для льна — $Y = 3,12X - 3,19$. Здесь Y — количество растительных остатков (сухое вещество), оставляемое культурой на поле; X — урожай культуры (основная продукция).

При необходимости уточнения уравнений (расширение диапазона урожаев, учет почвенной разности и т. д.) должны быть проведены дополнительные расчеты с привлечением по возможности большего количества данных, полученных для конкретных условий.

Коэффициенты гумификации (изогумусовые коэффициенты) органического вещества растительных остатков и навоза рассчитываются по углероду. До этого нами были использованы как собственные, так и литературные данные.

Для упрощения расчетов предлагаются единые коэффициенты гумификации. В дальнейшем, естественно, возникает необходимость уточнения этих показателей в зависимости от механического состава почвы, системы удобрения и др.

Приняты следующие значения коэффициентов гумификации: для растительных остатков зерновых культур, зернобобовых, многолетних трав и льна — 25%, для кукурузы и других силосных культур — 15, для картофеля и овощей — 8, навоза — 30, соломы на удобрение — 25%.

Проверка правильности предлагаемой здесь методики расчета гумусового баланса была проведена на экспериментальной базе академии «Михайловское» Подольского района Московской области путем сравнения расчетных моделей гумусового баланса в двух 4-польных и двух 5-польных севооборотах при четырех вариантах удобрения (без удобрений: $N_{50}P_{75}K_{90}$; навоз 15 т/га; $N_{50}P_{75}K_{90}$ + навоз 15 т/га) и двух глубинах основной обработки почвы (20—22 и 30—32 см) с фактически определенным балансом. Полученные результаты показали правильность выбранных исходных положений и самой методики прогнозирования гумусовых балансов.

Применив указанную методику на материалах других длительных опытов, проводимых в Нечерноземной зоне РСФСР на разных почвах, мы получили дополнительные подтверждения ее правильности. Кроме того, на основе анализа обширного материала этих опытов были получены поправочные коэффициенты для дерно-

во-подзолистых почв различного механического состава и разных полевых культур.

Ниже приводятся примеры расчета гумусового баланса почвы в четырехпольном севообороте для двух систем удобрения: принятых в хозяйстве и при внесении высоких доз.

Севооборот зерновой: занятой пар (картофель ранний), озимая пшеница — ячмень — озимая пшеница. Почва дерново-подзолистая, слабокультуренная, по механическому составу легкий суглинок. Система удобрений — принятые в хозяйстве дозы; под картофель вносится 20 т/га навоза и $N_{40}P_{60}K_{40}$; под озимые — $N_{60}P_{60}K_{40}$; под ячмень — $N_{60}P_{40}K_{40}$; под озимые после ячменя — $N_{60}P_{60}K_{40}$. Запланированный урожай картофеля — 150 ц/га, озимой пшеницы — 25, ячменя — 25 ц/га.

Прогнозирование гумусового баланса в севообороте проводится по форме, представленной в табл. 37.

Таблица 37
Прогноз гумусового баланса (по углероду)
в специализированном зерновом севообороте

Культура севооборота	Планируемый урожай (ц/га) основной продукции	Унос с урожаем (кг/га)	Поступление (кг/га)				Минерализуется гумуса для покрытия дефицита (кг/га)	Количество возобновляемого гумуса (кг/га)	Нетто-баланс гумуса
			из навоза	из минеральных удобрений	из растительных остатков	всего			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Картофель ранний	150	173	25	20	7	52	1210	795	415
Озимая пшеница	25	97	—	30	10	45	520	301	-219
Ячмень	25	101	—	30	12	42	591	246	-344
Озимая пшеница	25	97	—	30	15	45	520	301	-219
Итого									-1197

Примечание. В принятой системе удобрения для покрытия дефицита гумуса в севообороте за ротацию вносят дополнительно 30 т/га навоза или 10 т/га соломы.

Рассмотрим порядок расчета для поля раннего картофеля.

В графе 3 дается произведение выноса азота с урожаем, поправочного коэффициента на почвенную разность (1,2) и поправочного коэффициента для пропашной культуры. В графе 4 показано количество доступного растениям азота в 20 т среднего по качеству навоза. В графе 5 дано возможное поступление азота из минеральных удобрений. Чтобы получить данные графы 6, надо сначала определить количество растительных остатков в почве после картофеля по формуле $У = 0,07X + 3,54$, где $У$ — количество сухого вещества растительных остатков (ц/га); X — урожай клубней (ц/га). Следовательно, $У = 0,07 \times 150 + 3,54 = 14,04$. Содержание азота в растительных остатках около 1%, использование азота растениями 50%. Количество доступного азота, таким образом, составит 7 кг. В графе 7 приведено суммарное количество доступного растениям азота удобрений и растительных остатков. В графе 8 показано, какое количество гумуса должно минерализоваться для покрытия дефицита азота при выращивании запланированного урожая. Оно получается от умножения разности граф 3 и 7 (дефицита) на 10 (соотношение C:N в гумусе). Количество новообразованного гумуса (графа 9) определяется с использованием коэффициентов гумификации и содержания углерода в растительных остатках. Суммарное количество новообразованного гумуса равно $44,9 + 750 = 794,9$ кг углерода.

В графе 10 показан нетто-баланс углерода (разность граф 9 и 8).

Рассчитав баланс гумуса по каждой культуре, определяем суммированием баланс гумуса за всю ротацию севооборота или средний баланс за год. Далее выявляется возможное дальнейшее улучшение гумусового баланса и конкретно указывается накопление органического вещества на 1 га пашни.

Представленные в табл. 37 данные показывают не только состояние баланса углерода в севообороте, но и направление его изменения. Из этой таблицы следует также, что минерализация гумуса выше под картофелем рашим. По технологическим соображениям в этом поле удобно увеличить дозу навоза до 50 т/га, обеспечив тем самым бездефицитный баланс гумуса в севообороте.

В табл. 38 приводятся данные о балансе гумуса в

Прогноз гумусового баланса (по углероду)
в специализированном зерновом севообороте
при высоких дозах минеральных удобрений и навоза
(40 т/га под ранний картофель)

Культура севооборота	Извлекаемый уро- жай (т/га) основ- ной продукции	Вынос азота с урожаем (кг/га)		Минеральный азот гумуса почвы (кг/га)	Количество новообразованного гумуса (кг/га)			Чистый баланс (кг/га)
		всего	в том числе из почвы		навоза	раститель- ных остатков	всего	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Картофель ранний	250	216	108	1080	1500	67	1567	+487
Озимая пшени- ца	45	175	88	880	—	383	383	-497
Ячмень	45	181	90	900	—	341	344	-556
Озимая пшени- ца	45	175	88	880	—	383	383	-497
Итого								-1063

Примечание. Для покрытия дефицита гумуса за ротацию вносят дополнительно 30 т/га навоза или 10 т/га соломы.

том же севообороте при внесении высоких доз минеральных удобрений, обусловивших резкое увеличение урожаев полевых культур. В этом варианте принято, что половину азота растения потребляют из почвенных запасов, а другую половину — из минеральных и органических удобрений и растительных остатков.

Как следует из табл. 38, баланс органического вещества почвы остается дефицитным, несмотря на удвоение дозы навоза под картофель (40 т/га вместо 20 т/га, вносимых в первом варианте прогноза). При невысоких дозах удобрений для обеспечения бездефицитного баланса гумуса требовалось внесение примерно 10 т/га навоза, при высоких — также около 10 т/га. Таким образом, регулирование гумусового баланса по мере увеличения применения минеральных удобрений и роста урожаев становится все более необходимым.

Балансовые исследования, проведенные на основе расчетного метода для пахотных почв Нечерноземной зоны РСФСР (табл. 39) и в целом для СССР (табл. 40),

Баланс гумуса в земледелии Нечерноземной зоны РСФСР в 1985 г.

Культура	Площадь посева (тыс. га)	Процент к площади пашни	Планируемый урожай основной продукции (ц/га)	Вынос азота с уржааем	Минерал. азота для покрытия дефицита	Количество невозобновляемого гумуса	Чистый баланс	
							г/га	(тыс. т)
Зерновые	15 338	49,4	17,9	63,4	516,5	722,4	+ 175,9	+ 2 697,1
Сахарная свекла	200	0,6	159	114,5	987	758	- 229	- 45,7
Лен-долгунец	585	1,8	3,5	5,9	50,9	160,3	+ 109,5	+ 64
Картофель	1 970	6,2	12,2	81,7	704,3	3 040,1	- 2 335,9	+ 4 601,6
Овощи	195	0,6	2,43	97,2	837,9	2 699,6	+ 1 861,3	+ 363
Многолетние травы	5 121	19,3	27,2	46,2	398,2	908,6	+ 510,3	+ 3 123,5
Однолетние травы	2 685	8,4	23,7	47,4	408,6	550	+ 141,4	+ 379,5
Кукуруза на силос	1 085	3,4	160	64	551,7	399,6	- 152,1	- 164,9
Кормовые корнеплоды	278	0,8	200	160	1 379,2	395,3	- 983,9	- 273,5
Посевы на силос без кукурузы	632,9	2,7	200	80	689,6	968,5	+ 278,9	+ 176,5
Пары чистые	2 271	7,1	-	-	-	-	- 3 017	- 6 851,6
Всего	31 360	99	-	-	-	-	-	+ 4 069,6

Приход (расход) гумуса на 1 га пашни +, 123,8 кг.

показывают, что в одиннадцатой пятилетке при намеченных дозах удобрений, структуре посевных площадей и урожаях баланс гумуса в пахотных почвах СССР в целом будет отрицательным.

Отрицательное сальдо гумусового баланса СССР в 1985 г. будет обусловлено главным образом значительной площадью чистых паров и такими пропашными культурами, как сахарная свекла и кукуруза на силос. Наибольшее положительное влияние на баланс гумуса в земледелии СССР оказывают многолетние травы.

Отрицательный баланс гумуса в земледелии СССР обусловлен не объективными, трудно устранимыми причинами, а исключительно недооценкой роли органического вещества почвы, незнанием состояния гумусового баланса и, как следствие этого, плохой организацией накопления и рационального использования всех видов органических удобрений.

Для создания бездефицитного баланса гумуса в земледелии СССР необходимо в 1985 г. дополнительно к плановым наметкам обеспечить внесение 450—500 млн. т органических удобрений всех видов.

Результаты балансовых расчетов органического вещества могут быть непосредственно использованы для обоснования агрономической политики при регулировании органического фонда почвы. Кроме того, балансовые исследования позволяют приблизиться к решению вопроса об оптимальном количественном уровне гумусового баланса. Последнее не только представляет большой научно-теоретический интерес, но чрезвычайно важно с производственной точки зрения.

Практика настоятельно требует количественной градации гумусированности пахотной почвы. При этом необходимо по крайней мере выделение двух уровней содержания органического вещества в почве: критического (минимального), ниже которого происходит быстрая деградация почвы, сопровождающаяся резким снижением ее производительности и эффективности приемов земледелия, и оптимального при данной системе земледелия. Последний соответствует, по нашему мнению, такому содержанию органического вещества в почве, при котором обеспечивается высокая эффективность применяемых доз минеральных удобрений, затраты на механическую обработку почвы сокращаются на 20—30%, а воспроизводство гумуса обеспечивается хозяй-

Баланс гумуса в земледелии СССР в 1965 г.

Культура	Площадь посева (тыс. га)	Процент к площади пашни	Планируемый урожай основной продукции (ц/га)	Вынос азота с урожаем	Минеральные гумусы для покрытия дефицита	Количество вновьобразованного гумуса	Чистый баланс	Приход (+) расход (-) гумуса на площадь посева (тыс. т)
Зерновые	127 600	51,9	19,1	67,6	582,7	591,7	+	1 143,9
Сахарная свекла	3 671	1,5	2,8	200,2	1 725,7	1 613,8	-	4 207
Лен-долгунец	1 122	0,4	4,6	7,7	66,4	231,2	+	184,9
Хлопчатник	3 126	1,3	29,5	236	2 051,4	2 256,9	+	221,5
Картофель	6 773	2,9	133	39,1	738	3 155,1	+	2 337,1
Овощи	1 683	0,7	173	69,2	596,5	1 864,5	+	2 134,1
Бахчевые	390	0,1	120	48	413,8	1 643,1	+	4 567,4
Многолетние травы	27 280	11,7	27,2	16,2	398,2	797,9	+	1 090,7
Однолетние травы	12 051	5,1	20	40	344,8	423,8	+	951,5
Кукуруза на силос	16 958	7,3	200	80	689,6	342,2	-	347,4
Кормовые корнеплоды	1 689	0,73	250	200	1 724	316,4	-	2 377,5
Посевы на силос без кукурузы	1 377	1,38	150	60	517,2	740,5	+	977,2
Пары чистые	18 956	8,16	-	-	-	-	-	3 017
Всего	225 675	97,1						-62 158,7

Приход (расход) гумуса на 1 га пашни — 142,5 кг.

ственными резервами органических удобрений и принятой структурой посевных площадей.

Экономическая оценка мероприятий по регулированию гумусового баланса пахотной почвы встречает значительные трудности из-за отсутствия соответствующих методических разработок. Помимо этого, экономическая оценка гумусового баланса, по нашему мнению, должна строиться на долговременной основе. Эти замечания, однако, не только не исключают, но даже обязывают на современном уровне земледелия сопоставлять затраты на поддержание определенного режима гумуса в почве с их окупаемостью. В дальнейшем, по мере укрепления материально-технической базы сельского хозяйства и резкого повышения плодородия почвы, экономическая оценка гумусовых балансов будет иметь, по-видимому, меньшее значение. Таким образом, оптимальный в конкретных почвенно-климатических и хозяйственных условиях уровень гумусированности почвы, его обеспечение должны быть также экономически рентабельными.

Принятый в хозяйстве оптимальный уровень гумусового баланса не исключает обоснования и практического осуществления другого, более емкого и интенсивного баланса органического вещества почвы. В этом смысле можно говорить о перспективной, максимально эффективной модели гумусового баланса, реализация которой может быть обоснована значительным увеличением доз минеральных удобрений, внедрением новых систем обработки почвы, новых сортов культур и др.

Экспериментальные данные обосновывают высокую агротехническую эффективность повышения гумусированности суглинистых дерново-подзолистых почв с 0,5—1 до 1,5—2,5% С. При таком изменении параметров гумусовых балансов урожай зерновых культур и кукурузы при внесении перспективных доз минеральных удобрений повышались примерно вдвое. Дальнейшее увеличение гумусированности почвы не сопровождалось пропорциональным ростом урожая.

С другой стороны, при таком содержании гумуса происходят значительные изменения физических и физико-механических свойств дерново-подзолистой почвы, что приводит к снижению затрат на их обработку на 20—25%, а также значительно сокращаются сроки проведения полевых работ. Следовательно, содержа-

ние в почве гумуса на уровне 2% С (на первом этапе в слое 0—20 см, в последующем — в слое 0—40 см) с точки зрения эффективности приемов агротехники можно считать близким к оптимальному уровню. Теперь надо обосновать практическую возможность обеспечения данного гумусового баланса в данном хозяйстве.

Теоретически более гумусированная и плодородная пахотная почва вследствие высокой биологической активности, высокого плодородия должна иметь количественно больший круговорот органического вещества, т. е. должна отличаться большей емкостью гумусового баланса. Экспериментальные данные подтверждают это теоретическое положение. Расчеты показывают, что для поддержания бездефицитного баланса гумуса (по углероду) в слое 0—40 см в почвенно-климатических условиях Нечерноземной зоны РСФСР требуется ежегодно вносить на 1 га пашни при уровне гумусированности 1% С около 5—5,5 т органического вещества (в расчете на сухое вещество).

При переходе на модель гумусового баланса с уровнем гумусированности почвы 2% С, принятой нами за оптимальную, для поддержания бездефицитного гумусового баланса на 1 га пашни необходимо вносить почти в 2 раза больше органического вещества удобрений и растительных остатков. Внесение такого количества органического вещества в почву требует максимального увеличения в хозяйстве выхода навоза и компостов, предельно допустимого насыщения севооборотов многолетними травами, использования на удобрение соломы и промежуточных культур. Предположим также, что новая модель гумусового баланса вполне обосновывается экономически.

Таким образом, содержание в почве 2% органического вещества обеспечивает высокие трансформационные свойства почвы. Практическое регулирование бездефицитного гумусового баланса на этом уровне гумусированности хотя и связано с некоторым напряжением, тем не менее вполне реально и рентабельно.

Перевод гумусового баланса на еще более высокий уровень может и будет способствовать дальнейшему усилению трансформационных возможностей почвы, однако поддержание его не обеспечивается хозяйственными резервами органических удобрений, а дальнейшее увеличение в структуре посевных площадей мно-

голетних трав маловероятно по экономическим и хозяйственным соображениям. Кроме того, увеличение эффективности агротехнических мероприятий при дальнейшем повышении гумусированности почвы при данных условиях производства, вероятно, окажется непропорциональным росту затрат на обеспечение бездефицитного гумусового режима.

Рассмотренная общая схема обоснования количественных параметров гумусовых балансов интенсивно используемой почвы позволяет установить конкретное оптимальное содержание гумуса в конкретной почве, в конкретном севообороте при строго определенных системах удобрения и обработки почвы. Исходным моментом таких разработок должен быть настоящий, безусловно положительный гумусовый баланс почвы.

Поскольку, как было уже показано, баланс органического вещества в пахотных дерново-подзолистых почвах Нечерноземной зоны РСФСР имеет незначительное положительное сальдо, то первоочередной производственной задачей является обязательное увеличение его (расширенное воспроизводство). В настоящее время не может быть более важной агрономической задачи, чем необходимость всеми средствами предохранить дальнейшие потери гумуса. В связи с этим приобретает значение вопрос о минимально допустимом, критическом содержании гумуса в пахотной почве.

Коренное преобразование гумусовых балансов почв Нечерноземной зоны, имеющее конечной целью значительное обогащение почвы органическим веществом, должно основываться на учете всех резервов «гумусового хозяйства» почвы.

Ведущее значение в обеспечении почвы органическим веществом в период до 2000 г., по-видимому, будет иметь расширение возделывания кормовых культур вообще и многолетних трав в частности. Основанием для такого предположения является то, что прогнозы дальнейшего подъема сельского хозяйства СССР предусматривают более интенсивное развитие животноводства в Нечерноземной зоне, почвенно-климатические условия которой наиболее благоприятны для интенсивного кормопроизводства.

Расширение посевов многолетних трав возможно также за счет замены ими менее ценных по кормовым и агротехническим достоинствам однолетних трав, а

также за счет частичной замены чистых паров клеверным паром. Расширение площади и значительный рост урожайности многолетних трав в решающей мере увеличит производство грубых и сочных кормов для животноводства и позволит повысить обеспеченность кормовой единицы протеином. Что касается агротехнической оценки соломы как органического удобрения, то в проведенных в последнее время исследованиях, как отечественных, так и зарубежных, этот вопрос решен достаточно определенно. Применение соломы на удобрение в организационно-хозяйственном отношении решается относительно просто и не требует больших затрат.

Перспективным резервом пополнения гумусового баланса в интенсивном земледелии, как показывают результаты многочисленных исследований, является возделывание в севообороте промежуточных культур. В настоящее время промежуточные культуры в Нечерноземной зоне занимают очень незначительные площади. В перспективе возможно доведение доли промежуточных культур в севооборотах зоны до 20%, что может обеспечить поступление в почву в расчете на всю площадь севооборота примерно 1 т растительных остатков (сухое вещество). Предпочтительнее полное использование промежуточных культур на удобрение.

Выращивание в севообороте сидератов в качестве основных или промежуточных культур, широкое использование занятых паров должно полностью заменить чистое парование. Пребывание в парующем состоянии ежегодно около 10% площади Нечерноземной зоны по самым скромным подсчетам обуславливает минерализацию примерно 1,5 т/га углерода, что в среднем для всей площади пашни дает расход гумуса в 1,5 ц/га углерода. Чистое парование дерново-подзолистой почвы и рациональное регулирование режима органического вещества почвы — понятия несовместимые.

Резко отрицательное действие чистого парования на состояние гумусового баланса пахотной дерново-подзолистой почвы обусловлено в основном отрицательной ролью механической обработки почвы вообще как фактора, не имеющего аналога при естественном аккумуляционном процессе почвообразования. Вследствие искусственного разрыхления почва подвергается интенсивной аэрации, способствующей вспышке биологиче-

ской активности почвы. Устранение по возможности из системы обработки почвы тех операций, которые могут быть, например, заменены химической прополкой, создание предпосылок минимальной обработки почвы должны рассматриваться как важный резерв регулирования органического фонда почвы. По нашим данным, даже умеренная оптимизация интенсивности приемов обработки сокращает потери гумуса под зерновыми культурами сплошного сева на 5%, под пашными — на 10—15%.

Определенные возможности лучшего использования органического фонда почвы заложены в направленном изменении его состава и природы.

Исследования, выполненные в длительном опыте ТСХА, показывают, что устойчивость разных фракций гумусовых веществ к минерализации неодинакова. Химически более сложные, высокомолекулярные соединения типа гуминовых кислот и гуминов более устойчивы к биологическому разложению, чем соединения типа фульвокислот и вещества индивидуальной (неспецифической) природы. Направлять процессы гумусообразования в пахотных почвах по агрономически наиболее желательному гуматному типу — важная современная задача микробиологов и агрономов.

ОПЫТ ПЕРЕДОВЫХ ХОЗЯЙСТВ НЕЧЕРНОЗЕМЬЯ ПО ВОСПРОИЗВОДСТВУ «ГУМУСОВОГО ХОЗЯЙСТВА» ПОЧВЫ

Возрастающая агрономическая роль органического вещества как решающего фактора плодородия интенсивно используемых почв Нечерноземной зоны, а также уровень теоретического и экспериментального решения проблемы позволяют сегодня достаточно грамотно и эффективно регулировать «гумусовое хозяйство» пахотных почв. По существу, созданы возможности не вообще повышения содержания органического вещества в пахотных почвах, а нормативно-технологического управления «гумусовым хозяйством» почвы. Суть такого подхода к управлению плодородием почвы заключается в том, что в систему земледелия в качестве исходного положения закладывается агрономически и экономически обоснованная модель (параметры) плодородия почвы.

Технологическая модель плодородия представляет собой экспериментально установленное сочетание свойств почв (факторов плодородия), находящихся в тесной корреляции с величиной урожая при прочих равных условиях его получения (климат, растение, производственная деятельность человека). Учитывая, что технологическая модель должна быть простой и доступной для широкого круга работников, в нее включено минимальное число факторов плодородия, однако каждый из них является интегральной (наиболее общей) характеристикой тех или иных почвенных свойств и процессов.

Из биологических, наиболее важных и трудно воспроизводимых факторов плодородия в технологическую модель включены содержание в почве гумуса и фитосанитарное состояние почвы (наличие сорняков, вредителей и болезней).

Из агрофизических факторов плодородия в технологическую модель входят структура и плотность почвы.

Механический состав почвы также находит отражение в технологической модели, так как все модели дифференцированы в зависимости от почвенных разновидностей.

Из агрохимических факторов плодородия и технологической модели отражены содержание подвижных форм P_2O_5 и K_2O , а также $pH(KCl)$.

Важнейшие особенности технологических моделей плодородия почв следующие.

1. Теоретическая и экспериментальная обоснованность агрономической эффективности (обеспечение заданных урожаев) и воспроизводства (простого или расширенного) избранной модели плодородия.

2. Экономическая эффективность технологических моделей плодородия (соизмерение стоимости получаемого урожая с затратами на воспроизводство модели и получение урожая).

3. Дифференциация моделей плодородия в зависимости: от механического состава почвы; от уровня интенсификации земледелия в конкретном хозяйстве и его экономических показателей; от специализации севооборота (соответствие биологическим особенностям основных культур).

4. Экологическая сбалансированность технологических моделей плодородия.

В 1985 г. Тимирязевской академии было поручено разработать системы земледелия для всех хозяйств До-

модедовского района Московской области. Эта работа проводилась под руководством автора настоящей книги.

Московская область, и Домодедовский район в частности, характеризуется высоким уровнем интенсификации сельскохозяйственного производства. Партия и правительство проявляют постоянную заботу о дальнейшем развитии сельскохозяйственного производства области. Было принято постановление ЦК КПСС и Совета Министров СССР «О дальнейшем развитии сельского хозяйства Московской области в 1981—1985 гг.». За эти годы основные фонды колхозов и совхозов области должны увеличиться на 20,5%, энерговооруженность труда — на 18,3%, хозяйства области получают 9605 тыс. т минеральных удобрений. За пятилетие будет орошено 50 тыс. га и осушено 80 тыс. га земель, на площади 80 тыс. га будут проведены культуртехнические мероприятия. Урожайность культур в одиннадцатой пятилетке по сравнению с десятой пятилеткой возрастет в следующих размерах: зерновых — на 38,8%, картофеля — на 42,5, овощных культур открытого грунта — на 15,1, кормовых корнеплодов — на 97,1, многолетних трав на сено — на 17,9, кукурузы на зеленый корм и силос — на 31,3%.

Вместе с тем темпы роста урожайности полевых культур в области все еще не соответствуют уровню интенсификации производства: низка окупаемость минеральных и органических удобрений, не везде освоены рациональные севообороты, велика засоренность полей, недостаточно эффективен противоэрозийный комплекс. Все это происходит главным образом из-за отсутствия в большинстве хозяйств научно обоснованных зональных систем земледелия.

Решениями XXVI съезда КПСС и майского (1982 г.) Пленума ЦК КПСС освоение зональных систем земледелия определено как важнейшая общегосударственная задача, как решающее условие успешного выполнения Продовольственной программы.

В соответствии с этой стратегической установкой в последующие годы проведена огромная организаторская работа по разработке и освоению в зонах, областях, колхозах и совхозах научно обоснованных систем земледелия.

Разработка и практическая реализация научно обоснованных зональных систем земледелия — качественно

новый этап развития сельского хозяйства страны, большое достижение агрономической науки и работников производства, партийных, советских и сельскохозяйственных органов.

Существо системы земледелия, се не промежуточная, а конечная задача исчерпывается категорией урожая, результатом сложного взаимодействия во времени природных и производственных факторов. Действие природных факторов: растения, почвы, климата в решающей степени зависит от плодородия почвы. В самом общем смысле плодородие — соответствие почвы условиям роста и развития растений при современных технологиях их выращивания. Природные факторы, однако, при их первостепенном значении участвуют в урожае неодинаково эффективно в зависимости от производственных условий земледелия. Оптимальное проявление и эффективность человеческого фактора — область изучения целого ряда экономических и общественных наук. Наконец, в системе земледелия находят отражение и интересы природоохранного значения, изучаемые рядом естественных наук.

Другими словами, в современных системах земледелия можно выделить следующие подсистемы (блоки): агротехнический блок, мелиоративный, экономический и экологический. Каждый из этих блоков обеспечивает достижение определенной цели, которая в целом для системы земледелия является промежуточной. В агротехническом и мелиоративном блоках такой целью является обеспечение расширенного воспроизводства почвенного плодородия, в организационно-экономическом — создание максимально эффективных форм и методов организации и оплаты труда, в экологическом — создание максимально благоприятной природоохранной обстановки.

Стержневой элемент системы земледелия — культурное растение, максимальная производительность которого (реализация биологического потенциала) зависит от максимально эффективного функционирования всех блоков системы земледелия. Только урожай, максимально высокий, хорошего качества, стабильный по годам независимо от складывающихся погодных условий, экономически наиболее рентабельный, получение которого не вызывает нежелательных экологических последствий, является единственной теоретической основой и сущностью современных систем земледелия.

Важнейший принцип современных систем земледелия — их нормативность, отказ от описательности и декларативности. Переход от описательного характера систем земледелия к нормативно-технологическому — требование времени, оно подготовлено современным уровнем развития технологических наук, широким использованием прогрессивных методов организации и оплаты труда, передовым опытом производства.

Нормативно-технологическая система земледелия, по нашему мнению, должна состоять из трех основных частей. В первой части, исходя из специализации земледелия и характера землепользования, обосновывается (агрономически, экономически и экологически) и конкретно определяется технологическая модель (модели) плодородия почв хозяйства.

Модели плодородия — главный норматив. Его выбор и обоснование — наиболее ответственный этап в разработке системы земледелия. К этой работе должны быть привлечены научные работники местных научно-исследовательских учреждений: почвоведы, агрономы, экономисты, экологи. Модель плодородия — первостепенное условие получения запрограммированного урожая сельскохозяйственных культур. Воспроизводство модели осуществляется с помощью агротехнического и мелкоративного блоков системы земледелия опять-таки на нормативной основе. Предварительно с помощью расчетных методов определяются необходимые затраты удобрений, химических мелиорантов, воды, пестицидов.

Во второй части нормативно-технологической системы земледелия должны быть изложены все технологические разделы систем земледелия, обеспечивающие с учетом принятых моделей плодородия почвы формирование плановых урожаев сельскохозяйственных культур.

Воспроизводство технологической модели плодородия осуществляется с помощью системы севооборотов, системы применения удобрений, системы обработки почвы, мелнорацни, системы интегрированной защиты растений. Эти элементы системы земледелия составляются на основе последних достижений агрономической науки и передового практического опыта. Все перечисленные технологии строго дифференцированы в зависимости от почвенных разновидностей и соответственно моделей плодородия. Для каждой возделываемой культуры применительно к каждому полю (контур) севооборота раз-

рабатывается интенсивная (индустриальная) технология. Отдельными разделами системы земледелия являются система семеноводства и сортосмены, система мероприятий по улучшению лугов и пастбищ, система машин, система почвозащитных мероприятий.

Третья часть системы земледелия — организационно-экономическая, и построена она таким образом, чтобы четко определить экономическую эффективность нормативно-технологического агрометеорологического комплекса. Одновременно применительно к конкретным условиям рекомендованы наиболее целесообразные формы организации и оплаты труда в хозяйстве.

Принцип зональности — другой основополагающий принцип современных систем земледелия. Строжайшее следование этому принципу отражает абсолютную детерминированность земледелия, его специализации природными факторами: климатом, почвой, рельефом местности. Имевшие место в прошлом попытки в той или иной мере игнорировать этот принцип приводили к серьезным ошибкам и просчетам. Строжайшее соблюдение принципа зональности не оставляет места шаблону и упрощенчеству при практическом определении специализации земледелия. Земледелие было и будет всегда местным.

Специализация земледелия в решающей степени зависит от зональных природных условий. Используемые в данной зоне сельскохозяйственные культуры должны максимально полно реализовать свой биологический потенциал в конкретном интервале почвенно-климатических условий. Определенное значение при специализации земледелия имеют организационно-экономические и даже социальные условия производства. Однако их значение относительно невелико и теоретически по мере развития земледелия и производительных сил общества в целом должно уменьшаться при одновременном возрастании роли природных условий ведения земледелия.

Интенсивное земледелие предполагает обязательное научно обоснованное технологическое управление плодородием почвы. Поэтому параметры технологических моделей плодородия пашни и методы их воспроизводства решающим образом определяют эффективность земледелия, его экономическую целесообразность. Этот принцип, по существу, наиболее полно характеризует уровень интенсификации производства, долю интенсив-

ных факторов в прогрессивном росте урожайности сельскохозяйственных культур.

И наконец, в современной системе земледелия должны быть отражены организационно-экономические формы и методы ведения земледелия: внутрихозяйственный расчет, коллективный подряд, формы организации и оплаты труда.

Технологические модели плодородия основных подтипов, видов и разновидностей почв Домодедовского района приведены в табл. 41.

Технологические модели плодородия составлены для двух уровней производства: I — оптимальная современная модель, обеспечивающая высокую эффективность удобрений, севооборота, мелiorации и обработки почвы, применяемых в настоящее время; II — оптимальная перспективная модель, на которую хозяйства должны перейти к 2000 г. Реализация предложенных моделей с практической точки зрения не представляет трудностей; имеющиеся материальные, трудовые и энергетические ресурсы хозяйств обеспечивают их простое и даже расширенное воспроизводство.

Разработанные модели плодородия почв района являются агрономической основой получения высоких, устойчивых, необходимого качества урожаев. Модель I обеспечивает получение урожаев: зерновых — 45—50 ц/га, картофеля — 220—250, сена многолетних трав — 90—100, кукурузы на силос — 650—750, зеленой массы однолетних трав — 250—300, корнеплодов — 700—800 ц/га. Модель II обеспечивает получение урожаев: зерновых — 50—55 ц/га, картофеля — 270—300, сена многолетних трав — 110—120, кукурузы на силос — 800—1000, зеленой массы однолетних трав — 300—350, корнеплодов — 800—1000 ц/га.

Модели плодородия I и II разработаны как элементы почво-, водо- и природоохранных систем земледелия. Они обеспечивают расширенное воспроизводство плодородия эродированных земель и полностью исключают дальнейшее возникновение и развитие эрозионных процессов, загрязнение окружающей среды, другие неблагоприятные экологические последствия.

Нормативно-технологическая направленность систем земледелия Домодедовского района предполагает тщательный учет разнокачественности почвенного покрова при возделывании отдельных полевых культур. Это положение находит отражение, с одной стороны, в агро-

Технологические модели плодородия почв

Агропроизводственная группа почв	Уровни моделей: I — на 1990г. II — на 2000г.	Биологические факторы плодородия	
		гумус (%)	максимально допустимое количество сорняков (шт/м ²); числитель — малолетники, знаменатель — многолетники
Дерново, слабо- и средне-подзолистые и светло-серые лесные средне- и тяжелосуглинистые на покровных суглинках Серые лесные	I	2—2,5	15—35 2—5
	II	2,5—3	10—15 1—3
	I	2,5—3	15—35 2—5
	II	3—3,5	10—15 1—3
Дерново-подзолистые, светло-серые и серые лесные смытые	I	1,8—2	15—35 2—5
	II	2—2,5	10—15 1—3
Дерново-подзолистые и светло-серые, глеевые и глееватые	I	2,5—2,7	15—35 2—5
	II	2,7—3	10—15 1—3
Серые лесные глеевые и глееватые	I	2,5—3	15—35 2—5
	II	3—3,5	10—15 1—3
Аллювиальные дерновые суглинистые и супесчаные	I	2—3	15—35 2—5
	II	2,5—3,5	10—15 1—3
Овражно-балочные	I	2—4	—
	II	2,5—4,5	—

производственной группировке почвенных видов и разновидностей (см. табл. 41), а с другой стороны, в максимально возможной специализации севооборотов и их размещении на территории при тщательном учете почвенных особенностей отдельных контуров.

Другим важным условием нормативно-технологиче-

Домодедовского района Московской области

Агрофизические факторы плодородия			Агрохимические факторы плодородия		
мощность пахотного слоя (см)	сумма водопрочных макроагрегатов (%)	плотность почвы (г/см ³)	P ₂ O ₅	K ₂ O	рН (KCl)
			мг/100 г почвы		
25—27	35—40	1,2—1,3	15—20	20—25	5,5—6
27—30	40—45	1,1—1,2	15—20	20—25	6—6,5
25—27	40—45	1,1—1,2	15—25	20—25	6—6,5
27—30	45—50	1,1—1,2	20—25	20—25	6—6,5
22—25	30—35	1,2—1,3	15—20	15—20	5,5—6
25—27	35—40	1,2—1,3	15—20	20—25	5,5—6
25—27	40—45	1,1—1,2	15—20	20—25	5,5—6
27—30	40—45	1,1—1,2	15—20	20—25	6—6,5
25—27	40—45	1,1—1,2	15—25	20—25	6—6,5
27—30	45—50	1,1—1,2	20—25	20—25	6—6,5
25—27	40—50	1,1—1,3	15—25	15—25	5,5—6,5
27—30	45—55	1,1—1,3	15—25	15—25	5,5—6,5
—	50—60	1,1—1,3	15—20	15—25	5,5—6
—	50—60	1,1—1,3	15—25	15—25	5,5—6

ской разработки системы земледелия является дифференцированный подход к использованию агрономических технологий воспроизводства плодородия почв (системы удобрений обработки, мелиораций и др.) в зависимости от конкретных почвенных особенностей и уровня программируемых урожаев. Агрономические и мелиора-

тивные элементы систем земледелия строятся таким образом, чтобы, соблюдая сегодня самый дифференцированный подход к почвенному покрову, тем не менее в будущем обеспечить постепенное выравнивание плодородия почв отдельных полей освоенных в хозяйствах севооборотов.

Следующее условие нормативно-технологических зональных систем земледелия — использование в них научно обоснованных методов программирования урожаев полевых культур. Программирование проводится с учетом роли почвы, ее плодородия в обеспечении растений водой и питательными элементами. При этом берутся новейшие научные данные о предельно возможных масштабах использования растениями вносимых с удобрениями и собственно почвенных ресурсов питательных элементов. Одновременно при программировании урожаев учитываются и те ресурсы питательных элементов и воды, которые будут использованы другими компонентами агрофитоценозов. Программируются оптимальная структура посева и показатели фотосинтетической деятельности посева.

Большое значение в нормативно-технологических системах земледелия придается индустриальным и интенсивным технологиям возделывания полевых культур, энергосберегающим, минимальным приемам обработки почвы.

Высокое плодородие почв Домодедовского района позволяет перейти к радикальной рационализации обработки почвы, резкому сокращению ее интенсивности, глубины и частоты выполнения.

Нормативно-технологические зональные системы земледелия в качестве обязательного условия предполагают широкое применение при моделировании расширенного воспроизводства почвенного плодородия прогнозирования отдельных факторов на основе расчетных, балансовых, статистических и других методов.

Особое внимание уделяется прогнозированию гумусовых балансов в разных севооборотах, балансам питательных элементов, прогнозам фитосанитарного состояния посевов, расчетному определению отдельных факторов плодородия (структуры почвы, плотности и др.).

Для оперативного контроля за качеством полевых

работ широко применяются соответствующие методы контроля (агротехнический бракераж).

При использовании технологических моделей плодородия в системах земледелия Домодедовского района особое значение приобретает экономическая оценка этих моделей и в целом систем земледелия. Особо вычлняются затраты на воспроизводство (простое или расширенное) конкретной модели плодородия.

Особенность плодородия почвы как средства производства и свойств почвы как природного тела еще и такова, что по мере его роста (расширенного воспроизводства) затраты на каждый последующий уровень относительно возрастают, т. е. каждое дальнейшее новышение плодородия почвы достигается все более дорогой ценой. Это обстоятельство в современном земледелии должно обязательно учитываться. Исследования кафедры земледелия и методики опытного дела ТСХА показали, что экономическая эффективность разных по величине моделей плодородия при сегодняшнем уровне интенсификации значительно различается и соответствует максимальной величине для средних по параметрам моделей плодородия.

Экономическая сбалансированность технологических моделей плодородия предполагает, что эти модели соответствуют максимальной устойчивости почвы данных моделей как природного тела к действию отрицательных факторов. С другой стороны, высокая и экономически наиболее рациональная экологическая сбалансированность технологических моделей плодородия находит отражение во всей структуре системы земледелия не только как производственного, но и природоохранного комплекса мероприятий. В этой связи необходимо подчеркнуть, что системы земледелия отдельных хозяйств района должны иметь экологическую соподчиненность на уровне района, а системы земледелия района — на уровне области и т. д.

Практическая разработка системы земледелия для конкретного хозяйства должна начинаться с тщательного изучения и анализа проектно-исследовательской и директивной документации. Исходя из перспективных, комплексных планов развития хозяйства, тесно увязанных с развитием производства района, области, республики, природных условий для ведения земледелия, уровня интенсификации и ресурсного обеспечения устанавливается специализация земледелия. Последняя отражается в

соотношении площадей сельскохозяйственных угодий и их возможной трансформации во времени. Затем определяется структура посевных площадей хозяйства. С учетом фактического плодородия пашни и возможного воспроизводства его до агроэкономически оптимальной технологической модели, степени интенсификации производства и ресурсного обеспечения устанавливается уровень урожайности возделываемых культур.

Система земледелия разрабатывается при активном участии специалистов хозяйств, рассматривается на научно-технических советах РАПО и областного агропромышленного объединения, утверждается исполкомом районного (городского) Совета народных депутатов.

Что касается методики учета степени освоения разработанных и принятых систем земледелия, то для этой цели отделение земледелия и химизации ВАСХНИЛ предложило методику, суть которой сводится к учету степени освоения каждого элемента системы земледелия. Баллы освоения каждого элемента суммируются, и таким образом определяется общее освоение системы. На наш взгляд, более эффективно оценивать степень освоения системы земледелия по достижению хозяйством контрольных нормативов и показателей, определенных системой земледелия (получение запланированных урожаев, выход на принятую модель плодородия почв, обеспечение экономических показателей).

Получение урожая связано с потреблением компонентов (факторов) плодородия: органического вещества, питательных элементов, воды. Все эти факторы подлежат учету и измерению.

Устранение негативных явлений, вызванных в почве возделыванием культурных растений, возвращение почвенного плодородия к исходному, первоначальному, состоянию означает простое воспроизводство плодородия. Создание почвенного плодородия выше исходного уровня, что особенно важно для почв Ичерноземной зоны с низким природным плодородием, — есть расширенное воспроизводство плодородия. Расширенное воспроизводство плодородия дерново-подзолистых почв, неспособных в естественном состоянии обеспечить достаточную эффективность приемов интенсивного земледелия, является обязательным условием расширенного воспроизводства продукции земледелия вообще.

Воспроизводство плодородия почвы в интенсивном земледелии осуществляется двумя путями: веществом-

ным и технологическим. Первый путь — это интенсивное применение удобрений, мелиорантов, пестицидов, использование благоприятной в агрономическом отношении структуры посевных площадей (севооборот). Второй — технологический путь, основан на улучшении агрономических свойств почвы за счет механической обработки почвы и отчасти за счет мелиоративных приемов. Оба эти пути направлены на достижение единой цели, но эффективность их, как и механизм действия, резко различны.

Вещественные компоненты (органические удобрения, минеральные туки, вода и др.) вследствие своей природы и особенностей почвы оказывают наиболее сильное и многообразное воздействие на плодородные почвы. Наоборот, технологическое воздействие (обработка почвы) не в состоянии компенсировать вещественное регулирование почвенного плодородия, его эффект обычно краткосрочен и в большинстве случаев основан на форсированном использовании (путем мобилизации) вещественных ресурсов почвы.

Естественнонаучной основой теории воспроизводства плодородия почвы является закон возврата — частное проявление всеобщего закона сохранения вещества и энергии.

В интенсивном земледелии осуществляется воспроизводство всех факторов плодородия, однако решающее значение принадлежит воспроизводству наиболее важных факторов: органического вещества, питательных элементов, благоприятного фитосанитарного состояния почвы.

В технологических моделях плодородия важнейшими факторами воспроизводства «гумусового хозяйства» являются культура растений, удобрение, мелиорация, обработка почвы. Растение как фактор воспроизводства плодородия — стержневой элемент всей системы. Оно — единственное средство регулирования плодородия почвы в естественных фитоценозах. Растение сохраняет свое особое значение и в интенсивном земледелии. Только растение максимально эффективно связывает в органическом веществе урожай простейшие неорганические вещества.

Большая часть созданного растением органического вещества отчуждается с поля, однако значительная часть, а именно корневые и пожнивные остатки, ежегодно попадает в почву. Кроме растительных остатков

значительная часть урожая возвращается в почву в виде органических удобрений. Растительные остатки и органические удобрения — энергетически насыщенное, биологически полноценное, благоприятного физического состава органическое вещество. Поступление такого органического вещества в почву является важнейшим условием ее жизни и соответственно включения в биологические превращения неорганических ресурсов почвы. Значение культурных растений в воспроизводстве плодородия почвы определяется именно этой функцией органического вещества.

Оценка роли полевых культур в воспроизводстве плодородия почвы зависит прежде всего от их способности обогащать почву органическим веществом. Эта способность, в свою очередь, определяется биологическими особенностями культуры, технологией ее возделывания, характером хозяйственного использования урожая. Помимо способности обогащать почву органическим веществом и через это влиять на факторы плодородия, полевые культуры определенное воздействие на почву оказывают и в зависимости от технологии их возделывания.

Особое положение культуры растений в воспроизводстве плодородия почвы обуславливается также тем, что воздействие на плодородие удобрений, мелиорантов, обработки почвы осуществляется преимущественно через растение. Весь агротехнический комплекс подчиняется требованиям культурного растения, его эффективность зависит от возможности растения вовлекать новые количества ресурсов в биологические циклы.

На получение максимальных урожаев направлен прежде всего комплекс агротехнических приемов системы земледелия. Объективная оценка каждого из них дает возможность совершенствовать этот комплекс, совершенствовать всю систему земледелия.

Из земледельческих технологий особого внимания заслуживают севооборот, система удобрений и обработки почвы, приемы мелиорации и защиты растений. Наши знания по каждой из перечисленных технологий не являются окончательными, абсолютными. Время от времени они требуют корректировки. Относительный характер наших знаний объясняется постоянным совершенствованием агротехники полевых культур, появлением новых сортов, новых видов удобрений, рационализацией обработки почвы и т. д. Единственным методом научно обоснованной оценки роли агротехнического ком-

плекса в получении урожая является метод длительно-го полевого опыта. 50—100-летние опыты — принципиально новый и наиболее фундаментальный метод исследования в земледелии. Многократная повторность во времени позволяет учесть всю возможную вариабельность метеорологических элементов, все возможные, включая и побочные, влияния удобрений, чередования культур и обработки почвы. Точный учет действующих в опытах факторов дает возможность нормативного управления продукционным процессом, позволяет также вовремя заметить проявление качественно новых закономерностей. Наконец, длительные опыты дают единственно объективную информацию об экологической оценке изучаемых систем земледелия.

Рассмотрим комплекс мероприятий по расширенному воспроизводству органического вещества в почвах ГПЗ «Заря коммунизма» Домодедовского района. Этот Государственный племенной завод образован в 1971 г. на базе совхоза «Заря коммунизма», организованного в 1960 г.

Основная отрасль хозяйства — племенное молочное животноводство. поголовье скота на 1985—1990 гг. планируется на следующем уровне: коровы — 3100 голов, молодняк крупного рогатого скота — 4720 голов, свиньи — 1700 голов. Запланированный удой на одну среднегодовую корову — 5500 кг, среднесуточный привес крупного рогатого скота — 700 г, свиней — 450 г.

Растениеводство — подчиненная отрасль, его задача — производство кормов.

Землепользование (8389 га) ГПЗ «Заря коммунизма» расположено в западной части Домодедовского района и состоит из трех обособленных массивов. Общая площадь пашни — 6099 га.

Исходя из почвенно-климатических и экономических условий установлена специализация земледелия. В структуре посевных площадей большой удельный вес занимают кормовые культуры — 75,4%, в том числе: многолетние травы — 45,9%, силосные культуры — 15, однолетние травы — 12,8 и корнеплоды — 1,7%.

ГПЗ «Заря коммунизма» — высокоинтенсивное хозяйство. Урожай зерновых культур здесь на уровне 50 ц/га, картофеля — 250, многолетних трав — 80, кукурузы на силос — 600 ц/га.

Изучение и критический анализ изыскательской почвенной документации, ознакомление с современным со-

стоянием почвенного покрова позволяют в пределах отделений ГПЗ «Заря коммунизма» и соответственно в пределах освоенных севооборотов выделить три основные агропроизводственные группы почв.

Лучшие по плодородию почвы, дерново-слабоподзолистые, светло-серые, серые лесные находятся в Доматовском отделении (общая площадь их 1326 га). Эти почвы в целом отнесены ко второй агропроизводственной группе (см. табл. 41). Почвы Центрального (1792 га) и Шишкинского (1837 га) отделений в целом соответствуют первой агропроизводственной группе. Почвы Заборьевского отделения относятся к третьей агропроизводственной группе.

Сравнение фактических показателей почвенного плодородия с параметрами (моделями) плодородия, установленными для различных агропроизводственных групп почв Домодедовского района на основе обобщения многочисленных экспериментальных данных, дает возможность определить конкретные размеры улучшения почвенных свойств до уровня принятых моделей плодородия. Модели плодородия количественно дифференцированы на два уровня: модель 1990 г. и модель 2000 г. Эта дифференциация основана на требовании значительного повышения урожаев полевых культур в ближайшей перспективе.

Фактическое содержание гумуса в пашне ГПЗ «Заря коммунизма» на 0,2—0,3% ниже данного показателя для модели плодородия, установленной на 1990 г., и на 0,3—0,5% ниже уровня модели 2000 г. Доведение показателей «гумусового хозяйства» почвы до заданных будет осуществлено в хозяйстве через комплекс мероприятий по расширенному воспроизводству плодородия почвы и, в частности, расширенному воспроизводству органического вещества почвы.

Основными приемами воспроизводства «гумусового хозяйства» являются севооборот и система удобрений.

Система севооборотов ГПЗ «Заря коммунизма» включает четыре полевых севооборота. Севообороты спроектированы исходя из следующей структуры посевных площадей: зерновые — 20,4%, картофель — 3, кормовые культуры — 75,4, в том числе многолетние травы — 45,9, однолетние травы — 12,8, кукуруза на силос — 15, корнеплоды — 1,7%. Севообороты размещены с учетом почвенных особенностей отдельных массивов пашни, ее плодородия.

Так, в Долматовском отделении, которое располагает лучшими в хозяйстве почвами (вторая агропроизводственная группа — слабоподзолистые и серые лесные почвы), освоен севооборот: 1-е поле — однолетние травы с подсевом многолетних трав; 2-е — многолетние травы первого года пользования; 3-е — многолетние травы второго года пользования; 4-е — озимые; 5-е — кукуруза; 6-е — ячмень; 7-е — кукуруза + картофель; 8-е — кукуруза.

Расчет гумусового баланса, проведенный по уже описанной методике, даст следующий баланс гумуса в данном севообороте: однолетние травы — (—1134 кг/га углерода), многолетние травы — (+523 кг/га), озимые — (—561 кг/га), кукуруза — (+1852 кг/га), картофель — (+1142 кг/га).

В среднем за ротацию севооборота баланс углерода составил +4195 кг/га (+7132 кг/га гумуса). Ежегодное превышение прихода гумуса над расходом в пахотном слое почвы на 1 га составляет 892 кг/га. В пересчете на процентное содержание гумуса в почве это составляет 0,03—0,04%. Таким образом, за 10 лет содержание гумуса в почве данного севооборота повысится на 0,3—0,4%, что обеспечит расширенное воспроизводство органического вещества почвы в соответствии с моделями плодородия почв данной агропроизводственной группы на 1990 и 2000 гг.

Данный расчет баланса гумуса в севообороте отражает роль собственно культуры растений и роль органических удобрений. Высокий положительный баланс на кукурузе и картофеле возможен благодаря внесению высоких доз навоза под эти культуры (60—90 т/га навоза). 1 т навоза даст в приходную часть баланса 60—80 кг гумуса, 1 т соломы — 230—250 кг. Эти цифры могут использоваться в качестве простейших нормативов при воспроизводстве органического вещества почвы.

Если, например, в том или ином севообороте расчетный баланс гумуса не соответствует требуемым нормам его воспроизводства (исходя из модели плодородия), то в самом простом случае необходимо соответствующее увеличение доз органических удобрений. Если этого не позволяют ресурсы органических удобрений, следует запланировать возделывание промежуточных культур на части севооборотной площади с использованием урожая на зеленое удобрение. Если и это не обеспечивает требуемых параметров гумусового баланса,

нужна корректировка структуры посевных площадей и составление новой схемы севооборота. В этом отношении система севооборотов дает возможность гибкого оперативного воздействия на плодородие почвы, его расширенное воспроизводство. Возможны перераспределение между севооборотами ресурсов удобрений, а также взаимная корректировка структуры посевных площадей всей системы севооборотов.

На Центральном отделении ГПЗ «Заря коммунизма» освоен семипольный севооборот со следующим чередованием культур: 1-е поле — однолетние травы с подсевом люцерны; 2-е — люцерна первого года пользования; 3-е — люцерна второго года пользования; 4-е — люцерна третьего года пользования; 5-е — озимые; 6-е — кукуруза + свекла; 7-е — кукуруза. Расчетный баланс органического вещества в данном севообороте с учетом внесения высоких доз органических удобрений составляет для однолетних трав — (-1134 кг/га углерода), для люцерны — (+532 кг/га), для свеклы — (+1812 кг/га). Средний баланс гумуса за ротацию севооборота в пахотном слое почвы в расчете на 1 га составляет +6067 кг, годовой баланс — +867 кг (0,03—0,04% от веса почвы). Как следует из расчетов, показатели баланса примерно те же, что и для предыдущего севооборота (Долматовское отделение).

Если же вспомнить, что почвы Центрального и Шишкинского отделений отнесены к первой агропроизводственной группе (см. табл. 41), то можно сделать заключение, что воспроизводство модели плодородия этих почв вполне обеспечивается в данном севообороте. Мало того, в этом севообороте может быть достигнута определенная экономия органических удобрений, которые могут быть использованы при необходимости в других севооборотах.

В Шишкинском отделении, почвы которого относятся, как и почвы Центрального отделения, к первой агропроизводственной группе, освоен восьмипольный севооборот с чередованием культур: 1-е поле — однолетние травы с подсевом многолетних трав; 2-е — многолетние травы первого года пользования; 3-е — многолетние травы второго года пользования; 4-е — озимые; 5-е — кукуруза + свекла; 6-е — кукуруза; 7-е — однолетние травы; 8-е — озимые. В этом севообороте баланс органического вещества почвы для отдельных культур составляет: для однолетних трав — (+1134 кг/га угле-

рода), для многолетних трав — (+517 кг/га), для озимых — (+1314 кг/га), для кукурузы — (+1852 кг/га), для свеклы — (+1812 кг/га). Среднегодовой баланс гумуса в расчете на 1 га в севообороте Шипкинского отделения составляет +704 кг/га. Превышение прихода гумуса над расходом в данном севообороте наименьшее во всей системе севооборотов «Зари коммунизма».

Четвертый севооборот хозяйства развернут на отделении «Заборье». В севообороте принято такое чередование культур: 1-е поле — однолетние травы + ячмень с подсевом люцерны; 2-е — люцерна первого года пользования; 3-е — люцерна второго года пользования; 4-е — люцерна третьего года пользования; 5-е — озимые; 6-е — кукуруза; 7-е — однолетние травы; 8-е — кукуруза + картофель.

Почвы отделения относительно низкого бонитета, они отнесены к третьей агропроизводственной группе (см. табл. 41). Баланс углерода по отдельным культурам составляет: для однолетних трав — (+2255 кг/га), для люцерны — (+517 кг/га), для озимых — (-381 кг/га), для кукурузы — (+1852 кг/га), для картофеля — (+764 кг/га). Среднегодовой баланс гумуса в расчете на 1 га пашни равен +1000 кг/га (0,04% от веса почвы).

Таким образом, баланс гумуса в почвах отделения «Заборье» складывается с максимальным для хозяйства превышением прихода над расходом. Поскольку почвы третьей агропроизводственной группы содержат в настоящее время самое низкое среди всех почв хозяйства количество гумуса, постольку данный баланс обеспечивает благоприятные условия воспроизводства «гумусового хозяйства» почвы в севообороте.

В соответствии с нормативными параметрами «гумусового хозяйства» почвы в отдельных севооборотах КПЗ «Заря коммунизма» строится технология приготовления и внесения органических удобрений. Использование глубокой несменяемой подстилки на фермах для молодняка крупного рогатого скота, а также компостирование навоза с соломой и торфом позволило увеличить производство и внесение органических удобрений в хозяйстве с 54,3 тыс. т в 1970 г. до 200 тыс. т в настоящее время. В среднем сегодня на 1 га пашни вносятся ежегодно свыше 20 т органики.

Возрастающее применение органических удобрений в системе удобрений тесно увязано с внесением высо-

ких доз минеральных туков. Минеральные удобрения вносятся и на основе балансовых расчетов и программирования урожаев. В 1979—1981 гг. на 1 га пашни внесено 151 кг N, 146 кг P₂O₅ и 153 кг K₂O, в 1982-м — 165 кг N, 158 кг P₂O₅ и 154 кг K₂O. Учитывая, что дальнейшее увеличение доз минеральных удобрений при современном уровне плодородия почв хозяйства малоэффективно, в системе земледелия запланировано возрастающее применение элементов питания в форме органических удобрений. В этом случае будет обеспечен двойной эффект: выход к 2000 г. на перспективную модель плодородия и одновременное повышение эффективности минеральных туков. Планируется также использование на зеленое удобрение пожнивных промежуточных культур.

Помимо ГПЗ «Заря коммунизма», в Московской области немало хозяйств, взявших за правило «сначала высокое плодородие почвы — затем высокая культура земледелия и высокие устойчивые урожаи». Одним из них является совхоз-техникум «Холмогорка» Волоколамского района, расположенный в северо-западной части Московской области. Общая площадь землепользования составляет 6896 га, в том числе сельскохозяйственных угодий 5710 га, из них пашни 4563 га. Почвы преимущественно дерновоподзолистые, среднесуглинистые.

Совхоз-техникум специализируется на выращивании племенных животных, производстве молока и картофеля. Ежегодно государству продается около 600 голов племенного молодняка, более 8 тыс. т молока и 4 тыс. т картофеля. Хозяйство стабильно получает прибыль в размере 1,5—2 млн. руб. в год.

Стабильная работа животноводов подкрепляется прочной кормовой базой.

Создавать прочную кормовую базу позволяет целенаправленная работа с землей и в первую очередь по увеличению ее плодородия.

Руководит этой работой один из опытейших агрономов Подмоскovie В. К. Анисимов.

Работу по повышению плодородия почв в совхозе «Холмогорка» начали с нарезки новых севооборотов. Существующие в начале 70-х годов севообороты не отвечали требованиям роста урожайности всех возделываемых культур одновременно. При очередном землеустройстве были нарезаны пяти — семипольные зер-

нотравяные севообороты и специальные трех-четырепольные с размещением в них картофеля, корнеплодов и силосных культур. Более 500 га пашни было выведено из севооборотов под многолетние травы для обеспечения скота в пастбищный период зелеными кормами. Такое размещение разделяло возделываемые культуры на две группы по их требованиям к плодородию почвы. Зерновые культуры минерализуют гумуса значительно меньше, чем картофель, кормовые корнеплоды и силосные, а многолетние травы способствуют, наоборот, накоплению гумуса в почве. В специализированном севообороте для создания бездефицитного баланса гумуса почвы требуется вносить органического вещества в 2—2,5 раза больше, чем в зернотравяном. Интенсивные севообороты должны подкрепляться внесением необходимого количества минеральных и органических удобрений. Как известно, эффективность минеральных удобрений повышается при их совместном внесении с органическими. Внесение расчетного количества органического вещества есть главное в воспроизводстве почвенного плодородия.

Внесение на 1 га пашни удобрений:

Год	Минеральные (кг действующего вещества)	Органические (т)
1970-й	221	13,8
1975-й	356	19
1980-й	261	20

В результате хозяйского отношения к земле, рационального применения севооборотов и удобрений продуктивность 1 га пашни составила: в восьмой пятилетке — 3361 кормовую единицу, в девятой — 4207 и в десятой — 4648 кормовых единиц.

Устойчивое повышение урожая — важнейшее требование современного интенсивного земледелия. В основе его — нормативное управление плодородием почвы, его воспроизводством.

С 1963 г. в хозяйстве действует отряд плодородия, который вначале имел шесть колесных тракторов, два экскаватора и два бульдозера. В настоящее время отряд плодородия насчитывает в своем составе более 30 тракторов и оснащен новейшей техникой. Объем выполняемых им работ значительно возрос. Так, в 1978 г.

использовано 58 тыс. компостов, 26 тыс. т торфа, более 2 тыс. т соломы и навозной жижи. Ежегодно 5—6 тыс. т торфа пропускается через скотные дворы, где находится на беспривязном содержании молодняк крупного рогатого скота. Солому применяют на подстилку как на фермах, так и в загонах. Торф, без которого не обеспечить нужного баланса органического вещества, совхоз закупает в Кузьевском торфопредприятии, расположенном на расстоянии 20 км от центральной усадьбы совхоза. До 1975 г. пользовались торфом собственной заготовки.

Торф на удобрения доставляется непосредственно в поле к намеченным местам компостирования. Сюда же в течение всего года с ферм доставляют навоз. На фермах установлены навозные транспортеры ТСН-3Б, имеются площадки с твердым покрытием для установки тележек. Такая технология удаления навоза требует регулярной его вывозки. В зимнее время органическое вещество может примерзнуть к тележкам, поэтому дно и борта тележек посыпают хлористым калием из расчета 0,7% к общему весу органического вещества. В зимнее время особенно важно регулярное перемешивание навоза с торфом в целях создания оптимальных условий для развития микробиологических процессов. Накопление навоза ведется в штабелях по 1000—1500 т вблизи полей. Оптимальная ширина бурта 5—6 м, высота 2,5—3 м. Нарастивание бурта в зимний период лучше всего вести с торца, а не с боков, чтобы не было послойного намораживания. Навоз из отделения доставляют в одно место. При нарушении технологии накопления компостов качество их снижается. Приготовленные компосты перед внесением пять-шесть месяцев выдерживаются в целях снижения всхожести семян сорняков. Компосты зимнего приготовления используют, как правило, под озимые и зябь. В летне-осенний период идет накопление компостов под весенний сев следующего года. Часть менее качественных компостов, заготовленных в большие морозы, вносят под силосные культуры весной. Приготовленные компосты идут под картофель, озимые зерновые и кормовые культуры. Озимые зерновые заправляют компостами в первую очередь по распаханным многолетним травам и занятым парам.

Для накопления и вывозки органических удобрений в осенне-зимний период привлекается автопарк хозяй-

ства и трактора отделений. Ежегодно на вывозке органических удобрений в течение всего года действуют условия социалистического соревнования, регулярно подводятся итоги.

Механизаторы отряда плодородия премируются за выполнение и перевыполнение плановой урожайности, экономию прямых затрат. Премируются они согласно разработанному в хозяйстве положению и при качественном выполнении работ.

Важно подчеркнуть, что воспроизводство органического вещества в почве разных севооборотов осуществляется с широким использованием в качестве оперативного контроля расчетного метода. Учитываются как исходное содержание гумуса в почве, так и параметры его накопления, воспроизводства. В 1972 г. содержание гумуса в почвах хозяйства составляло, например, лишь 1,4—1,7%, а сейчас его 1,8—2,2%.

СО Д Е Р Ж А Н И Е

Введение	3
Современные представления об органическом веществе почвы	6
Влияние органического вещества на плодородие интенсивно используемой дерново-подзолистой почвы	21
Краткая характеристика основных объектов исследований	21
Влияние органического вещества на физические и физико-механические свойства почвы	26
Органическое вещество и биологическая активность почвы	46
Органическое вещество почвы как источник азотного питания растений	70
Органическое вещество и физико-химические свойства почвы	78
Влияние органического вещества почвы и удобрений на урожай полевых культур	82
Воспроизводство органического вещества дерново-подзолистой почвы в интенсивном земледелии	103
Роль культуры полевых растений в балансе органического вещества почвы	103
Влияние органических и минеральных удобрений на динамику органического вещества почвы	108
Обработка почвы как фактор гумусового баланса	122
Роль длительного применения севооборота, удобрений и обработки в изменении качественного состава и природы органического вещества почвы	130
Прогнозирование гумусового баланса почвы в севообороте	145
Опыт передовых хозяйств Нечерноземья по воспроизводству «гумусового хозяйства» почвы	169

ИБ № 2971

Александр Михайлович Лыков

ГУМУС И ПЛОДОРОДИЕ ПОЧВЫ

Заведующий редакцией *В. Косенко*

Редактор *В. Мусатов*

Художник *Л. Ишханов*

Художественный редактор *А. Беднарский*

Технический редактор *В. Дубатова*

Корректоры *З. Кулемина, Л. Царская*

Сдано в набор 09.07.85. Подписано к печати 19.11.85. Л77611. Формат 84×108^{1/2}. Бумага для множительных аппаратов. Гарнитура «Литературная». Печать высокая. Усл. печ. л. 10,09. Усл. кр.-отг. 10,39. Уч.-изд. л. 10,74. Тираж 6000 экз. Заказ 3622. Цена 45 коп.

Ордена Трудового Красного Знамени издательство «Московский рабочий». 101854, ГСП, Москва, Центр. Чистопрудный бульвар, 8.

170000. г. Калинин. Областная типография. Студенческий пер., 28.

А М ЛЫКОВ

**ГУМУС
И ПЛОДОРОДИЕ
ПОЧВЫ**

