

УДК 631.582:631.452:631.442.24 (470.23)

## **БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА СЕВОБОРОТА КАК ФАКТОРА ВОСПРОИЗВОДСТВА ПЛОДОРОДИЯ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ТЯЖЕЛОСУГЛИНИСТОЙ ПОЧВЫ**

**А. М. ЛЫКОВ, А. В. КОРОЛЕВ, Ф. И. ПЧЕЛЬНИКОВА**  
(Кафедра земледелия и методики опытного дела)

Установлено возрастающее значение севооборота как биотехнологического фактора в воспроизводстве органического вещества почвы, ее биоты и агрофизических свойств. Интегральная энергетическая оценка севооборотов показала, что в условиях северо-западного региона Нечерноземной зоны РСФСР лучшие результаты можно получить при насыщении севооборотов многолетними травами.

Среди многих вопросов общего земледелия, которые требуют новых оценок и решений, важное место, безусловно, занимает проблема плодородия почвы. В учении о плодородии почвы, по нашему мнению, необходим больший акцент на биологическую и биокосную сущность плодородия, четкость технологического управления этим свойством почвы.

В производственных условиях при разработке мер по управлению плодородием почвы следует учитывать, что основной биотехнологический эффект обеспечивает культурное растение (севооборот) [1—4].

Вследствие многообразного и сильного влияния севооборота на органическое вещество и плодородие почвы в целом, а следовательно, и на урожайность полевых культур севооборот остается обязательным компонентом высокопродуктивного и интенсивного земледелия. Проблема состоит не в поиске альтернативных приемов, позволяющих заманить севооборот, а в полной реализации его все еще недостаточно познанных агрономических возможностей, оптимизации конк-

ретных схем чередования культур для конкретных почвенно-климатических и организационно-экономических условий.

Наши исследования имеют конкретную зональную направленность — Северо-Запад Нечерноземной зоны РСФСР. Применительно к дерново-подзолистым тяжелосуглинистым почвам этого региона были поставлены следующие цели.

1. В длительном стационарном эксперименте на современном методическом уровне изучить влияние четырех 8-польных севооборотов, а также бессменных посевов картофеля и ячменя на плодородие почвы, прежде всего на ее гумусное состояние и биологическую активность.

2. Дать системную (биотехнологическую) оценку культуре полевых растений, возделываемых в севообороте или бессменно, как основному фактору воспроизводства гумуса и плодородия почвы.

3. Выявить взаимосвязь между гумусным состоянием почвы и ее биотой, с одной стороны, и комплексом важнейших агрофизических свойств дерново-подзолистой тяже-

лосуглинистой почвы, с другой.

4. Определить экономическую эффективность экспериментальных севооборотов с учетом не только стоимости валовой продукции, но и общего энергетического баланса в них.

### Методика

Работа проводилась на опытном поле Ленинградского сельскохозяйственного института в 1987—1989 гг. Почвы данного участка дерново-подзолистые тяжелосуглинистые на моренной карбонатной глине, осушенные дренажем.

В полевом опыте всего было шесть 8-польных севооборотов, развращенных во времени и пространстве методом рендомизации; повторность

3-кратная (табл. 1, 2). В 1986 г. закончилась вторая их ротация. Одновременно в опыт введены бессеменные посевы ячменя и картофеля. С целью изучения влияния севооборотов на плодородие почвы нами были выбраны четыре из них — III, IV, V и VI. Площадь делянки 810 м<sup>2</sup>. Агротехника возделывания сельскохозяйственных культур общепринятая для условий Ленинградской области.

Органические удобрения в виде торфонавозных компостов вносили под картофель и кормовые корнеплоды. В среднем на 1 га севооборотной площади в III, V и VI севооборотах вносили по 3,7 т органических удобрений, в IV — по 11 т. При бессеменном возделывании кар-

Таблица 1

Схема экспериментальных севооборотов на опытном поле Ленинградского сельскохозяйственного института

I	II	III	IV	V	VI
Однолетние травы	Однолетние травы	Однолетние травы	Однолетние травы	Однолетние травы с подсевом многолетних трав	Однолетние травы
Оз. рожь	Оз. рожь	Оз. рожь	Картофель	Многолетние травы	Многолетние травы
Ячмень с подсевом многолетних трав Многолетние травы	Ячмень с подсевом многолетних трав Многолетние травы	Ячмень с подсевом многолетних трав Многолетние травы	Картофель  Ячмень с подсевом многолетних трав	Многолетние травы  Силосные	Многолетние травы  Многолетние травы
Оз. рожь	Многолетние травы	Многолетние травы	Многолетние травы	Однолетние травы с подсевом многолетних трав	Оз. рожь (з. к.) покосно и однолетние травы
Ячмень	Оз. рожь	Оз. рожь	Многолетние травы Оз. рожь	Многолетние травы Многолетние травы	Силосование Корнеплоды
Зернобобовые Овес	Ячмень Овес	Картофель Ячмень	Картофель	Корнеплоды	Силосные

Структура посевных площадей (%) в севооборотах

Культура	I	II	III	IV	V	VI
Зерновые	75,0	62,5	50,0	25,0	—	—
Многолетние травы	12,5	25,0	25,0	25,0	50,0	37,5
Однолетние травы	12,5	12,5	12,5	12,5	25,0	25,0
Картофель	—	—	12,5	37,5	—	—
Силосные	—	—	—	—	12,5	25,0
Кормовые корнеплоды	—	—	—	—	12,5	12,5

тофеля ежегодная норма органических удобрений 26 т/га. Минеральные удобрения применяли из расчета по 40—60 кг NPK в среднем на 1 га площади севооборота.

Учет урожая проводили сплошным методом. Образцы почв для анализа отбирали на глубину 0—20 см. В них определяли содержание органического вещества и гумуса по Тюрину в модификации В. Н. Симакова: содержание лабильной части гумуса — в вытяжках 0,1 моль NaOH и смеси 0,1 моль NaOH + 0,1 моль  $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ ; доступный для минерализации углерод почвы — газохроматографическим методом: коэффициент гумификации — с использованием  $^{14}\text{C}$ ; агрофизические и физико-химические свойства почвы — стандартными методами. Численность различных групп микроорганизмов устанавливали по методике определенных разреждений почвенных суспензий с посевом на питательные среды: мясопептонный агар (МПА), суслоагар (СА), смесь мясопептонного и суслоагаров (МСА), крахмалоаммиачный агар (КАА). Активность ферментов определяли по методике А. Ш. Галстяна (1978), интенсивность разложения целлюлозы в почве — по деградации льняной ткани по Е. Н. Мишустину (1963). Аналитическая повторность анализов

почвы — 4-кратная. Энергетическая оценка севооборотов рассчитана по методике Волгоградского сельскохозяйственного института (1986). Математическая обработка данных проведена дисперсионным анализом на персональной ЭВМ «Правец-16».

Роль севооборотов и бессменных культур в воспроизводстве органического вещества дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почвы и его качественного состава.

Как видно из табл. 3, исходное содержание органического вещества в почве составляло 2,59 % и при различном использовании почвы изменялось неодинаково. Так, на залежи и в севооборотах III и VI оно оставалось близким к исходному, под бессменным картофелем и в почве севооборотов IV и V — увеличилось, под бессменным ячменем резко уменьшилось. Эти различия обусловлены разной насыщенностью севооборотов многолетними травами и дозами органических удобрений. Исходный уровень органического вещества в почве севооборотов III и VI поддерживался за счет насыщенности их многолетними травами до 25—37,5 % при незначительной доле пропашных культур, внесения органических удобрений по 4 т на 1 га севооборотной площади. Расширенное воспроизводство гумуса в почве се-

Таблица 3

Содержание органического вещества и гумуса в слое 20 см дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почвы (в среднем по определению за 1987—1989 гг.)

Вариант	Содержание С, % на абс. сухую почву		ПСПГ*	Запасы С в почве, т/га	
	общее	гумуса		общее	гумуса
Севооборот III	2,68	2,40	0,18	62,9	58,5
—»— IV	3,04	2,84	0,20	75,4	70,4
—»— V	3,36	2,94	0,42	81,3	71,2
—»— VI	2,66	2,54	0,12	64,4	61,5
Ячмень бессменно	1,88	1,77	0,11	47,4	45,7
Картофель бессменно	3,40	2,98	0,42	78,9	69,1
Залежь	2,72	2,03	0,69	74,8	55,8
Исходное содержание	2,59	—	—	62,2	—
НСР <sub>05</sub>	0,14	0,12	—	2,7	4,2

\* Потенциальная способность почвы к гумусообразованию.

вооборота V обусловлено насыщением его многолетними травами до 50 % и внесением органических удобрений по 4 т/га, в севообороте IV — за счет внесения органики до 11 т/га при 25 % насыщенности многолетними травами. Значительное снижение содержания органического вещества в почве под бессменным ячменем объясняется отсутствием в системе удобрения органических удобрений, малым количеством пожнивных и корневых остатков ячменя.

Аналогично изменению содержания гумуса и органического вещества в почве меняются и их абсолютные запасы.

Из табл. 3 следует также, что благоприятная потенциальная способность почвы к гумусообразованию создается только в естественном биоценозе. Благодаря этому, очевидно, и поддерживается динамическое равновесие между процессами минерализации и гумусообразования в почве. Ни в одном

севообороте ПСПГ не превышал 0,5.

Способы возделывания сельскохозяйственных культур влияли и на состав лабильной части гумуса. Данные табл. 4 показывают, что в почве залежи содержится меньше гумусовых веществ, экстрагируемых 0,1 моль NaOH, чем в почве севооборота V, хотя доли этой фракции в общем содержании углерода различаются незначительно. Отмечено снижение доли лабильной части гумуса в почве под бессменными ячменем и картофелем.

Для характеристики состава лабильной части гумуса мы определяли долю в ней гуминовых кислот и фульвокислот, коэффициенты цветности. В результате было установлено, что в почве залежи состав лабильной части гумуса гуматно-фульватный. Это соответствует зональному типу гумусообразования. Такой тип гумусовых веществ отмечен и в почве севооборотов, а вместе с тем под бессменным картофелем наблюдалось некоторое

Таблица 4

Состав лабильной части гумуса в слое 0—20 см дерново-подзолистой тяжело-суглинистой почвы в среднем за 1987—1989 гг.

Вариант	С <sub>общ</sub> , % к почве	Вытяжки						ГК:ФК	Кoeffици- ент цвет- ности
		0,1 моль NaOH		0,1 моль Na <sub>4</sub> P <sub>2</sub> O <sub>7</sub> + +0,1 моль NaOH.					
		С, % к почве	С, % к С <sub>общ</sub>	С <sub>ГК</sub> , % к почве	С, % к почве	С, % к почве	С <sub>ГК</sub> , % к почве		
Севооборот IV	3,04	0,69	22,7	0,28	1,14	37,5	0,42	0,58	2,67
Севооборот V	3,36	0,76	25,7	0,37	1,31	39,0	0,44	0,51	2,76
Ячмень бессменно	1,88	0,37	19,7	0,13	0,69	36,7	0,15	0,28	3,30
Картофель бессмен- но	3,40	0,71	20,9	0,33	1,12	32,9	0,48	0,75	2,71
Залежь	2,72	0,65	23,9	0,30	1,02	37,5	0,36	0,55	2,73
НСР <sub>05</sub>	0,14	0,05	—	0,02	0,02	—	0,04	—	0,50

возрастание доли гуминовых кислот, под бессменным ячменем — резкое возрастание доли фульвокислот. Коэффициент цветности гумусовых веществ последнего варианта самый высокий, что может быть косвенным подтверждением отщепления алифатических групп молекул гумусовых веществ, вследствие чего возрастает их ароматичность.

Известно, что лабильный гумус определяют путем его экстрагирования разными химическими веществами. Поэтому в литературе под этим термином часто понимают разные группы веществ, что затрудняет интерпретацию данных. В целях определения доли гумуса, доступного для минерализации почвенными микроорганизмами, мы применяли газохроматографический метод контроля минерализации органического вещества в почве. Из табл. 5 следует, что закономерности изменения минерализуемой части гумуса в различных вариантах примерно такие же, как изменения содержания лабильного гумуса, по-

лученного с использованием щелочной и щелочной пиррофосфатной вытяжек. Самый высокий процент минерализации органического вещества отмечен в почве бессменного картофеля, самый низкий — в почве бессменного ячменя. Последнее подтверждает данные о том, что корневые остатки ячменя состоят из труднодоступных веществ.

Значения потенциала минерализации углерода очень близки к его содержанию в щелочной пиррофосфатной вытяжке (табл. 4). Коэффициент корреляции между ними равен 0,84. Газохроматографическим методом определяется конечный показатель — процесс инкубации почвы продолжается до исчезновения из нее субстрата для микроорганизмов. Количество гумусовых веществ, экстрагируемых 0,1 моль NaOH, по нашему мнению, не вполне отражает лабильность гумуса. Учитывая, что средний квадрат ошибки для значений пиррофосфатной вытяжки равен 1,39, а для щелочной — 3,36, можно утверждать, что лабильным гумусовым

Таблица 5

Содержание доступного, малодоступного и общего органического углерода (мг/г) в слое 0—20 см дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почвы (1989 г.)

Вариант	C—CO <sub>2</sub>	C <sub>n</sub>	C—CO <sub>2</sub> +C <sub>n</sub>	КОД*, %
Картофель	11,23±0,20	28,6±0,61	39,73±0,46	28,01
Ячмень бессменно	6,86±0,23	14,3±0,65	21,16±0,46	32,42
Севооборот IV	9,71±0,59	26,0±0,92	35,71±0,96	27,19
Севооборот V	10,32±0,92	29,9±0,49	40,22±0,69	25,66
Залежь	11,07±0,93	21,1±0,74	32,17±0,74	34,41

\* Коэффициент относительной доступности углерода, рассчитанный по формуле  $C-CO_2 / (C-CO_2 + C_n) \cdot 100\%$ , где C—CO<sub>2</sub> — потенциал минерализации углерода почвы.

веществам в наибольшей степени соответствуют те, которые экстрагируются смесью пиродифосфата и щелочи. Чтобы рассчитать количество потенциально минерализуемого гумуса в почве, следует использовать уравнение регрессии:

$$y = 2,392 + 0,81x,$$

где  $y$  — содержание в почве лабильного гумуса, %;  $x$  — содержание углерода в щелочной и пиродифосфатной вытяжке, %.

При изучении влияния органических удобрений и растительных остатков сельскохозяйственных культур на содержание гумуса в почве важно знать скорость гумификационных процессов. Нами с помощью <sup>14</sup>C определены коэффициенты гумификации растительных остатков в почве севооборотов и в бессменных посевах. Результаты исследований показали возрастание коэффициента гумификации под многолетними травами. Так, в почве севооборота V с 50 % насыщением многолетними травами он наивысший — 17,4 %. Довольно высок коэффициент гумификации и в севообороте VI — 16,1 %, в структуре посевных площадей которого на многолетние травы приходится 37,5 %. Коэффициент гумификации в почве бессменного картофеля —

15,3, залежи — 15,2 %. В почве с бессменным ячменем установлено существенное снижение коэффициента гумификации.

#### Влияние севооборотов на биологическую активность почвы

В процессе трансформации органического вещества важную роль играют почвенные микроорганизмы. Как показывают данные табл. 6, при сельскохозяйственном использовании почвы потенциальная численность разных групп микроорганизмов, кроме грибов, уменьшилась. Существенных различий в численности почвенных микроорганизмов в разных севооборотах не установлено. Отмечена тенденция к увеличению доли грибов и актиномицетов в почве бессменного ячменя. В этом же варианте наблюдалась тенденция к изменению качественного состава споровых бактерий. Нами установлено уменьшение доли рода *V. megatherium* в почве данной делянки и увеличение доли родов *V. sergeus* и *V. mesenthericus*. На пашне только в этом варианте выявлен род *V. muscoides*. Наиболее благоприятный бактериальный состав был в почве кормового севооборота с 50 % насыщением

Таблица 6

Численность различных групп микроорганизмов в слое 0—20 см дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почвы (в среднем за 1988—1989 гг.)

Вариант	КАА		МПА		СА	МСА
	общая численность	в т. ч. актиномицеты	общая численность	в т. ч. споровые формы		
	млн на 1 г абс. сухой почвы				тыс. на 1 г абс. сухой почвы	
Севооборот III	14,8	3,3	9,6	1,0	21,9	277,6
» IV	16,9	3,5	9,6	1,4	36,9	180,9
» V	19,2	3,5	13,5	3,3	34,0	249,6
» VI	16,8	5,5	10,1	1,6	32,6	161,5
Ячмень бесменно	14,3	4,7	10,5	1,5	28,4	136,1
Картофель бесменно	13,4	5,3	12,6	1,3	34,3	281,4
Залежь	30,2	4,9	17,9	1,9	20,9	482,6

многолетними травами, где преобладали *V. megatherium*, а самой низкой численностью характеризовались *V. segeus* и *V. megerthericus*.

Не отмечено существенных изменений в видовом спектре плесневых грибов. В основном он представлен родами *Mucor* и *Penicillium*, что характерно для дерново-подзолистых почв. При систематическом внесении органических удобрений в варианте с бесменным картофелем выявлена тенденция к увеличению доли рода *Trichoderma*.

#### Ферментативная активность почвы

Ферментативная активность является важным показателем биохимических процессов в почве. Наши исследования показали, что в пахотной почве активность каталазы значительно ниже, чем в почве залежи. Это, видимо, связано со снижением потенциальной численности микроорганизмов, являющихся основными продуцентами данного фермента и инактивацией этого фермента при внесении минеральных удобрений. В почве севооборотов активность инвертазы и уреазы не превышала ее значений в варианте залежи, а в

почве с бесменным ячменем отмечено существенное снижение активности всех изучаемых ферментов. В почве бесменного картофеля и севооборота V установлено заметное повышение активности уреазы.

Из группы оксидаз в течение вегетационного периода изучали динамику активности полифенолоксидазы и пероксидазы. В почве под бесменным картофелем активность пероксидазы оставалась высокой и к концу вегетации, в то время как в почве других вариантов происходил ее спад.

Для характеристики функциональной роли почвенных микроорганизмов нами определены некоторые показатели, характеризующие интенсивность процессов минерализации и гумификации органического вещества почвы.

Данные табл. 7 свидетельствуют о том, что при сельскохозяйственном использовании почвы минерализационные процессы в ней, определяемые по степени разложения льняной ткани, идут интенсивнее, чем на залежных участках. Самый высокий показатель целлюлозолитической активности отмечен в вари-

Таблица 7

Интенсивность процессов минерализации и гумификации органических веществ в слое 0—20 см дерново-подзолистой почвы (в среднем за 1988—1989 гг.)

Вариант	Соотношение микро-организов на КАА и МПА	Разложение клетчатки, %	Условный коэффициент гумусоаккумуляции*
Севооборот III	0,91	57,0	77
—»— IV	0,80	28,1	76
—»— V	1,87	42,2	117
—»— VI	1,18	30,9	74
Ячмень бессменно	1,51	37,5	82
Картофель бессменно	0,94	63,4	68
Залежь	2,11	21,3	97
НСР <sub>05</sub>	—	6,5	—

\* Соотношение полифенолоксидазной и пероксидазной активности почвы (А. И. Чундерова, 1970).

анте с бессменным картофелем, а существенное его увеличение установлено в почве севооборота V, где высоко и значение условленного коэффициента гумификации. Выявлена положительная коррелятивная связь между условным коэффициентом гумификации, определяемым по активности ферментов, и коэффициентом гумификации по метке <sup>14</sup>C. Коэффициент корреляции между ними составил 0,67. Это свидетельствует о том, что процессы гумификации органического вещества в почве могут быть охарактеризованы и с помощью ферментативных тестов.

Установленные зависимости между биологической активностью почвы, содержанием и составом гумуса в ней побудили нас провести рас-

четы и проследить за круговоротом органических веществ, поступающих в почву с растительными остатками и органическими удобрениями за ротацию 8-летнего севооборота. Сравнение результатов и расчетов с использованием метода баланса органического вещества (по углероду) и данных о фактической динамике гумуса в экспериментальных севооборотах свидетельствует о достаточно высокой их адекватности.

**Влияние длительного применения севооборотов, бессменных культур и удобрений на агрофизические и физико-химические свойства почвы**

В общем комплексе физических свойств дерново-подзолистых тяжелосуглинистых почв первостепенная роль принадлежит структурному состоянию, характеру и степени агрегатированности механических частиц. В нашем опыте варианты существенно не различались по этим показателям, хотя в сравнении с почвой залежи в почве под бессменными культурами, а также в конце второй ротации севооборотов III и IV отмечено увеличение удельной массы агрегатов менее 0,5 мм.

Весьма интересны данные о влиянии севооборотов на изменение водпрочности агрегатов. Содержание водпрочных агрегатов больше 0,25 мм в пахотном слое почвы различных вариантов колебалось от 29 до 49 %. Наибольшее их количество отмечено в севообороте III, в котором 50 % посевной площади отведено под зерновые культуры, 37,5 % — под многолетние и однолетние травы и где вносили по 4 т органических удобрений на 1 га севооборотной площади. Примерно такое же количество водпрочных агрегатов (46 %) было в почве под бессменным картофелем при ежегодном внесении органических удоб-



рений в норме 56 т/га. Содержание водопрочных агрегатов в почве в конце ротации севооборотов IV и V оказалось одинаковым и составляло 37%. При бессменном возделывании ячменя значение этого показателя было самым низким, а коэффициент водопрочности здесь по сравнению с залежью снизился в 2 раза.

Исследованиями многих авторов установлена тесная корреляционная связь между содержанием гумуса в почве и водопрочностью агрегатов. Для определения влияния различных фракций гумуса на водопрочность агрегатов почвы нами рассчитаны коэффициенты корреляции между водопрочностью и общим углеродом, углеродом щелочной, щелочной пирофосфатной вытяжек определяемым газохроматографическим методом (потенциалом минерализации). Сильная корреляционная связь выявлена между водопрочностью и потенциалом минерализации углерода почвы ( $C-CO_2$ ); коэффициент корреляции 0,68. Между водопрочностью, с одной стороны, и углеродом щелочной вытяжки, углеродом щелочного раствора пирофосфата, общим углеродом, с другой, он был равен соответственно 0,59, 0,57 и 0,46.

Исследования показали, что почва под многолетними травами в течение вегетации была наиболее плотной. Несмотря на высокую равновесную плотность почвы под многолетними травами ( $1,4-1,5$  г/см<sup>3</sup>), после обработки пласта создается наиболее благоприятное строение пахотного слоя, которое сохраняется под последующей культурой.

Физико-химические свойства почвы в севооборотах и в бессменных посевах существенно не различались. Важнейшим средством оптимизации этих ее свойств в длитель-

ном опыте явилось систематическое применение органических и минеральных удобрений.

### **Продуктивность сельскохозяйственных культур, экономическая и энергетическая характеристика севооборотов и бессменных посевов культур**

Нами оценена продуктивность экспериментальных севооборотов и бессменных культур по выходу кормовых единиц и переваримого протеина с 1 га и также даны оценки — экономическая в денежном выражении и энергетическая в ГДж.

Данные табл. 8 свидетельствуют о том, что наибольший выход кормовых единиц с 1 га получен в севообороте IV с тремя полями картофеля и тремя полями трав. По выходу переваримого протеина выделяются кормовые севообороты, в которых выше удельный вес многолетних и однолетних бобовых трав. При бессменном возделывании ячменя и картофеля их урожайность была примерно на 30% ниже, чем в севооборотах (по ячменной разнице составила 1,2 т/га, по картофелю — 3,5 т/га).

Как известно, возделывание сельскохозяйственных культур связано со значительными затратами материально-денежных средств. В последнее время наряду со стоимостным и натуральным показателями возрастает значение и биоэнергетических показателей. Определение последних в длительных стационарных опытах дает возможность получить более сопоставимые данные, не связанные с изменением ценовой политики при производстве сельскохозяйственной продукции. Из табл. 8 видно, что чистый доход получается только в севооборотах III и IV. Нами установлена обратная пропорциональная связь между

Таблица 8

Экономическая и энергетическая оценка экспериментальных севооборотов (в среднем за 1979—1986 гг.)

Показатель	Севооборот						Ячмень бес- сменно	Карто- фель бес- сменно
	I	II	III	IV	V	VI		
Валовой про- дукт, руб.	321,13	325,50	559,94	1613,98	400,23	466,87	251,22	2460,27
Выход корм. ед., т	4,48	2,56	4,79	5,12	4,77	4,56	2,16	30,90
Сбор перевари- мого протеина, т	0,45	0,43	0,43	0,43	0,62	0,63	0,20	0,13
Валовая энергия, ГДж	91,68	88,74	70,61	73,63	62,92	76,75	80,18	41,81
Производствен- ные затраты на 1 га:								
руб.	386,83	379,11	492,29	713,86	457,20	469,91	325,50	1294,00
чел.-ч	25,20	24,80	92,80	229,70	61,80	66,20	16,90	92,70
энергетиче- ские, ГДж	12,42	12,59	14,48	17,75	14,09	14,44	11,10	26,23
Валовой доход (убыток) с 1 га, руб.	-65,70	-53,61	67,65	900,12	-56,97	-3,04	-74,28	1166,27
Себестоимость 1 т корм. ед., руб.	86,35	83,14	102,77	139,42	95,84	103,05	150,69	41,88
Энергобаланс, ГДж	79,29	76,15	56,14	55,88	48,83	62,31	69,08	15,58
Общая энергетиче- ская эффек- тивность сево- оборота (отно- шение валовой энергии к энер- гии затрат)	7,38	7,05	4,88	4,15	4,47	5,32	7,22	1,59
Энергоемкость (отношение энергии затрат к массе корм. ед. в т)	2,77	2,76	3,02	3,47	2,95	3,17	5,14	0,85

себестоимостью кормовой единицы и общей энергетической эффективностью севооборотов. Анализ табл. 8 позволяет утверждать, что энергетически более выгодны севообороты без пропашных культур, включающие в основном зерновые культуры и многолетние травы. В денежном выражении больше продукции с 1 га (причем с высокими затратами) дают пропашные культуры.

Плодосменный севооборот обеспечивает получение максимального количества продукции при наименьших денежных и энергетических затратах с одновременным повышением плодородия почвы.

### Выводы

1. Исследования в методически выдержанном длительном опыте с

севооборотах, проведенные на системной основе с использованием современных методов анализа почв и растений, свидетельствуют о возрастающем значении культуры полевых растений в воспроизводстве плодородия интенсивно используемой дерново-подзолистой тяжело-суглинистой почвы. Возрастание роли растений в сохранении и повышении плодородия почвы связано с биотехнологической сущностью их воздействия, с единством растения и почвы, экологической устойчивостью и безвредностью этой системы.

2. Увеличение в севообороте площади многолетних трав от 25 до 50 % способствует прогрессивному улучшению условий воспроизводства плодородия дерново-подзолистой тяжело-суглинистой почвы и прежде всего воспроизводства органического вещества и благоприятных биологических свойств.

3. Качественное состояние органического вещества почвы в значительной мере зависит от насыщенности севооборотов многолетними травами. Состав гумуса почвы кормового севооборота с 50 % насыщением многолетними травами в конце ротации оказался примерно таким же, как почвы залежи.

4. Длительное бессменное возделывание ячменя значительно снижает содержание гумуса в почве, при этом увеличивается доля фульвокислот в нем, сужается соотношение C:N, уменьшается коэффициент гумификации растительных остатков.

5. С использованием  $^{14}\text{C}$  установлено, что максимальные коэффициенты гумификации органических остатков (16,1—17,4 %) имеют место в севооборотах со значительной долей многолетних трав, а минимальные — в бессменных посевах

ячменя (13,8 %) и картофеля (15,3 %).

6. Результаты изучения микробиологических и биохимических свойств почвы в севооборотах и в севооборотах и в бессменных посевах культур подтверждают принципиальное положение о решающем влиянии гумусного состояния дерново-подзолистых почв на их биологическую активность. В севообороте при увеличении доли многолетних трав до 50 % происходит положительный сдвиг почвенной биоты и приближение ее характеристик к характеристикам залежных почв. Условные тесты, рассчитанные по конкретным биохимическим показателям, подтверждают коэффициенты гумификации органических остатков, определенные с помощью  $^{14}\text{C}$ .

7. Для нормативного управления воспроизводством органического вещества почвы в системах земледелия хозяйств региона вполне обоснованно применение дешевых и быстро осуществляемых расчетных методов гумусового баланса.

8. Специальные исследования, проведенные с целью поиска точных методов оценки содержания лабильного гумуса и соответственно его агрономической ценности, позволяют считать наиболее приемлемой для этой цели вытяжку щелочного раствора пиррофосфата натрия.

9. Структурность почвы и водопрочность агрегатов находится в тесной положительной зависимости от ее гумусированности, особенно от содержания в ней лабильных фракций органического вещества. Бессменное возделывание ячменя обусловило значительное ухудшение агрофизических свойств почвы.

10. В почвенно-климатических и организационно-хозяйственных условиях северно-западного региона Нечерноземной зоны РСФСР сево-

оборотное использование пашни в настоящее время, безусловно, более эффективно. Выход продукции и ее обеспеченность переваримым протеином варьирует по вариантам севооборотов, достигая максимальных показателей в плодосменных севооборотах с высоким насыщением многолетними травами и картофелем.

Интегральная энергетическая оценка эффективности экспериментальных севооборотов показала, что лучшие результаты в этом отношении получают при исключении севооборотов пропашных культур и увеличении доли многолетних трав и зерновых культур.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Пчельникова Ф. И. Севооборот как фактор воспроизводства плодородия

и производительности дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почвы Северо-Запада Нечерноземной зоны РСФСР.— Автореф. канд. дис. М., 1990.— 2. Лыков А. М. Гумус и плодородие почвы — М.: «Московский рабочий», 1985.— 3. Лыков А. М., Гриценко В. В., Кауричев И. С. Современные системы земледелия: сущность, теоретические основы, принципы разработки и освоения.— Земледелие, 1986, № 12, с. 9—14.— 4. Каштанов А. Н., Лыков А. М., Кауричев И. С. Современные системы земледелия: теоретические и методологические аспекты.— Вестн. с.-х. науки, 1983, № 12, с. 60—68.— 5. Пчельникова Ф. И. Влияние севооборота на содержание гумуса, биологическую активность почвы и ее агрофизические свойства.— Сб. науч. тр. ЛСХИ, Л.-Пушкин, 1989, с. 45—57.

Статья поступила 10 октября 1990 г.

#### SUMMARY

The increasing value of crop rotation as biotechnological factor in reproduction of organic matter of the soil, its biota and agrochemical properties has been established. Integral energetic estimation of experimental crop rotations showed best results when rotations in North-Western region of non-chernozem area of Russian Federation were rich in perennial grasses.