

УДК 631 465:631.445.24:633.1:631.582

## ФЕРМЕНТАТИВНАЯ АКТИВНОСТЬ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЫ И УРОЖАЙНОСТЬ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР В СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ СЕВООБОРОТАХ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ЗЕЛЕННОГО УДОБРЕНИЯ

В. Г. ЛОШАКОВ, С. Ф. ИВАНОВА, А. Ф. ЧАЛДАЕВА

(Кафедра земледелия и методики опытного дела)

Рассматривается влияние насыщения севооборотов зерновыми культурами, а также пожнивной сидерации в чистом виде и в сочетании с соломой на активность в почве каталазы, уреазы, протеазы, полифенолоксидазы, пероксидазы, инвертазы и урожайность зерновых культур.

Установлено, что включение в севообороты, насыщение зерновыми культурами пожнивного сидерата, повышает активность указанных выше ферментов, кроме каталазы и пероксидазы. Отмечен рост урожайности зерновых культур под влиянием применения рассматриваемых приемов.

При специализации земледелия на производстве зерна в центральной части Нечерноземной зоны РСФСР часто складывается структура посевных площадей с преобладанием посевов зерновых культур, при которой невозможна успешная реализация принципов плодосмена в севооборотных чередованиях [2, 3, 10, 11], поскольку усиливается действие биологических факторов ограничения роста урожайности. В этих условиях становится неэффективным широкое применение минеральных удобрений, химических средств защиты растений и других средств интенсификации земледелия, создается лишь серьезная угроза экологической среде [15, 16]. В связи с этим все большее внимание уделяется изучению комплекса биологических процессов в почве, их связи с ростом, развитием и продуктивностью культурных растений, применению биологических методов повышения плодородия почвы. Получило развитие новое направление в теории и практике сельскохозяйственного производства как в нашей стране, так и за рубежом — биологическое земледелие. Одним из перспективных приемов в регулировании биологических процессов в дерново-подзолистых почвах является применение зеленого удобрения [2, 3, 9, 10—14, 22].

На кафедре земледелия и методики опытного дела Тимирязевской академии в последние десятилетия разработаны и предложены производству биологические приемы повышения плодородия почвы и урожайности полевых культур с помощью пожнивных посевов таких сидератов, как белая горчица, рапс, сурепица, масличная редька и некоторые другие [10—14].

В развитие этих исследований нами сделана попытка выявить, как влияет использование пожнивной сидерации в зерновых севооборотах и при бессменных посевах зернофуражных культур на ферментативную активность почвы, ее плодородие и на урожайность зерновых культур. Одновременно проводилась оценка индикационных свойств показателей ферментативной активности как критерия оценки в диагностике почвенных процессов.

### Методика

Исследования проводились в 1986—1988 гг. в комплексном стационарном полевом опыте, заложенном в 1980 г. на экспериментальной базе академии в учхозе «Ми-

хайловское» Подольского района Московской области.

Почва опытного участка дерново-слабо-подзолистая среднесуглинистая на тяжелом

покровном суглинке. Содержание гумуса — 1,62 %, pH 5,7, N<sub>2</sub> — 2,09 мэкв, сумма поглощенных оснований — 16,1 мэкв, содержание P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> по Кирсанову — 13,1, K<sub>2</sub>O по Масловой — 16,4 мг на 100 г. В опыте изучается 6 6-польных севооборотов с насыщением их зерновыми культурами от 50 до 83 % и бессменные посевы ячменя и овса. Чередование культур в севооборотах: I — 50 % зерновых: 1—2 — многолетние травы, 3 — озимая пшеница, 4 — кукуруза, 5 — овес, 6 — ячмень+многолетние травы; II — 67 %, III—VI — 83 % зерновых: 1— вико-овес на зеленый корм, 2 — озимая пшеница, 3 — овес, 4 — ячмень, 5 — озимая рожь, 6 — ячмень. При одном и том же чередовании культур последние три севооборота отличались друг от друга тем, что в III варианте не было пожнивных посевов и все культуры возделывались только на фоне минеральных удобрений, которые вносили в расчете на запланированный урожай озимой пшеницы 50 ц зерна, озимой ржи, овса и ячменя — по 40 ц зерна, викоовсяной смеси — по 50 ц сена с 1 га. В IV варианте в трех полях севооборота после озимых зерновых и после ячменя в 6-м поле пожнивно в первой половине августа высевали белую горчицу, которую в начале октября убирали на корм. В V варианте пожнивную горчицу в тех же полях севооборота запахивали на зеленое удобрение, а в VI — вместе с зеленой массой горчицы запахивали измельченную солому озимых или яровых зерновых культур — по 5 т на 1 га.

В бессменных посевах ячменя и овса были 3 фона питания: 1 — без удобрений; 2 — NPK, 3 — NPK + поживный сидерат, 4 — NPK + поживный сидерат + удобрение соломой.

При пожнивном возделывании горчицы белой на зеленое удобрение под ее посев

вносили в расчете на 1 га 50 кг д. в. азота из того общего количества удобрений, которые предназначались под посев последующей основной культуры севооборота. При использовании поживной горчицы на корм столько же азота добавлялось сверх того количества удобрений, которое вносилось под основные культуры севооборота.

Стационарный опыт заложен в 4-кратной повторности с 4-ярусным размещением вариантов в рендомизированных блоках. Размер опытной делянки 80 м<sup>2</sup> (16X5 м). Более подробно схема опыта, агротехника полевых культур, методика полевых исследований приведены в ранее опубликованных работах [12—14].

Для изучения ферментативной активности почвы под посевами ячменя в четыре срока — при посеве, в фазы начала выхода в трубку, колошения и полной спелости — отбирали образцы почвы в I—II и III—VI вариантах. В них определяли активность каталазы газометрическим методом [4], уреазы [20], протеазы [20], инвертазы [5], полифенолоксидазы и пероксидазы [7].

Вегетационные периоды в годы исследований различались по распределению осадков и температуре, что сказалось на урожайности культур. В 1987 г. май был влажным: сумма выпавших осадков — 76,6 мм при среднем многолетнем значении 46 мм; в 1986 и 1988 гг. — более сухим и теплым: количество осадков — 28,2 и 31,5 мм, температура выше средней многолетней на 1,3 и 1,6 °C. Июнь в 1986 и 1987 гг. отличался повышенным количеством осадков: их выпало соответственно на 42,5 и 16,9 мм больше нормы, но был жарким во все годы исследований. В июле и августе 1987 г. было холоднее, чем в 1986 и 1988 гг. Сумма осадков в 1986 г. составила 78,3 мм, в 1987 — 63,3 мм, в 1988 — 94,8 мм при средней многолетней 85 мм.

## Результаты

Урожайность горчицы (зеленая масса) различалась по годам, способам возделывания и предшественникам, о чем можно судить по табл. 1.

При возделывании растений в почве накапливаются вредные соеди-

Таблица 1

Сбор зеленой массы поживной горчицы (т/га) в 1985—1988 гг.

Предшественник	1985	1986	1987	1988	Средний
IV севооборот					
Оз. пшеница	25,5	54,1	25,5	32,0	37,2
Оз. рожь	21,1	34,2	23,0	29,1	28,8
Ячмень	4,4	17,6	4,8	28,8	13,6
V севооборот					
Оз. пшеница	20,7	39,9	20,8	30,5	30,4
Оз. рожь	17,8	33,4	16,0	29,8	26,4
Ячмень	4,0	5,7	3,5	29,3	12,8
Бессменные посевы					
Ячмень	4,2	8,7	1,5,3	27,7	12,9
Ячмень с удобрением соломой	2,4	9,3	3,1	25,7	12,5

Активность каталазы в дерново-подзолистой почве (0<sub>2</sub>, см<sup>3</sup> за 3 мин) под посевами ячменя (в числителе) и на чистых (в знаменателе)

Характер возделывания	1986 г.				1987 г.				1988 г.			
	Посев	Выход в трубку	Колошение	Цветение	Посев	Выход в трубку	Колошение	Цветение	Посев	Выход в трубку	Колошение	Цветение
	Севооборот:											
I — NPK	5,1 5,1	4,0 4,1	4,6 —5,0	5,0 4,5	7,3 7,3	8,8 7,3	8,8 6,2	8,2 8,3	3,6 3,6	2,4 2,9	2,9 2,8	3,8 3,3
II — NPK	— —	— —	— —	— —	7,4 7,4	8,6 8,4	9,2 7,7	7,6 8,1	4,5 4,5	2,1 3,0	3,0 3,0	3,7 3,4
III — NPK	5,0 5,1	3,6 3,7	3,8 4,4	4,5 4,2	7,8 7,8	8,8 8,4	9,2 7,1	8,9 7,1	4,0 4,0	2,2 2,5	2,9 3,0	3,6 3,0
V — NPK + пс	7,3 7,3	4,1 5,0	4,2 4,4	5,8 4,2	7,3 7,3	8,3 7,8	9,1 7,1	7,2 7,5	3,4 3,4	2,2 2,8	2,8 2,8	3,5 3,2
VI — NPK + пс + с	6,5 6,5	4,1 4,8	4,4 4,4	5,5 4,7	6,9 6,9	8,4 7,4	9,1 7,5	7,6 7,9	4,7 4,7	2,0 3,0	2,9 3,0	3,6 3,2
Бессменные посева:												
1 — без удобрения	6,0 6,0	5,1 4,8	4,3 5,4	5,0 5,3	8,4 8,4	9,8 9,2	10,3 8,7	8,5 8,0	5,8 5,8	2,7 3,1	3,9 3,4	4,3 3,6
2 — NPK	4,4 4,4	3,8 3,9	3,6 4,6	4,3 4,3	7,4 7,4	8,2 7,7	9,8 7,4	8,4 7,5	4,1 4,1	2,1 2,8	2,8 2,8	3,6 3,0
3 — NPK + пс	5,1 5,1	4,3 4,2	3,8 4,4	4,8 4,5	6,6 6,6	7,6 8,0	9,5 7,2	8,5 7,2	3,7 3,7	2,2 2,8	2,9 2,9	3,7 3,3
4 — NPK + пс + с	5,1 5,1	3,8 3,6	3,6 4,0	4,5 4,3	7,0 7,0	8,7 7,6	8,5 8,6	8,5 7,1	5,2 5,2	2,2 2,9	2,7 2,9	3,6 2,1

нения, одним из которых является перекись водорода. Параллельно с накоплением этого соединения идет его разложение, которое определяется двумя факторами: действием биологического катализатора — фермента каталазы — и минеральных катализаторов — кальция, магния, железа, окислов марганца [6].

При разложении перекиси водорода с участием каталазы почва насыщается высокоактивным  $O_2$  [8, 21]. Результаты 3-летних исследований показали, что наибольшей активностью каталазы характеризуются варианты бесменного посева ячменя без минеральных удобрений, ослабляющих процессы разложения перекиси водорода (табл. 2). При этом доля абиотического катализатора составила 40—68 % общей активности фермента. Влияние пожнивного зеленого удобрения на данный показатель различалось по годам и фазам развития растений. Так, в 1986 г. в ранневесенний период активность каталазы при запашке горчицы в зерновом севообороте была на 14,3—31,5 % в бесменных посевах ячменя на 13 % выше, чем в вариантах без пожнивного сидерата, в

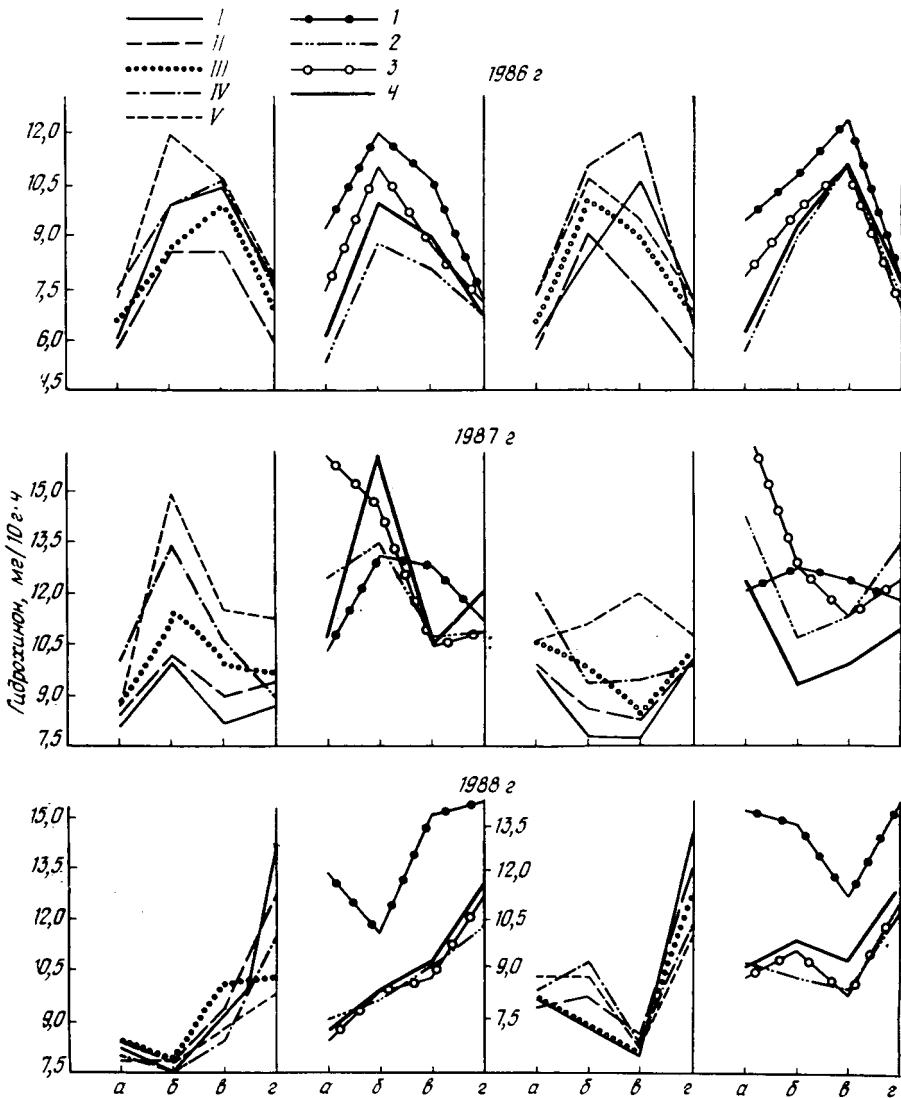


Рис. 1. Активность полифенолоксидазы в посевах ячменя (слева) и на парующих площадках.

I, II, III, IV, V — варианты севооборотов, 1—4 — варианты удобрения в бесменных посевах; а — при посеве, б — начало выхода в трубку, в — колошение, з — полная спелость.

последующие периоды она снижалась и мало варьировала по вариантам.

Повышение каталазной активности при запахивании зеленого удобрения наблюдалось и в ранее проводимых исследованиях [12].

В 1987 и 1988 гг. в бессменных посевах ячменя и в зерновом севообороте активность каталазы при использовании зеленого удобрения была ниже в период посева, а в последующие сроки приближалась к ее уровню в вариантах, где вносились только минеральные удобрения. Насыщение севооборота зерновыми культурами не влияло на активность каталазы. Результаты исследований на чистых площадках показали, что энзиматические свойства этого фермента не зависят ни от влажности почвы, ни от развития корневой системы ячменя (табл. 2).

В регулировании плодородия почвы важно учитывать ее трансформационные свойства, особенно по отношению к органическим соединениям. Известно, что процессы гумусообразования связаны с активностью фермента полифенолоксидазы [7, 8, 20, 21]. В наших опытах способность почвы к образованию органических соединений, определяемая активностью полифенолоксидазы, во всех вариантах возрастала к середине вегетационного периода, а к осени снижалась, что связано с динамикой деятельности корневой системы ячменя. Сравнение активности полифенолоксидазы в почве под ячменем и на парующихся площадках (рис. 1) показало, например, что в 1986 г. способность почвы к синтезу органического вещества на чистых площадках была ниже на 15—18 %. В 1987 — на 15—45 %, в 1988 — на 10—63,5 %.

Применение пожнивного зеленого удобрения в зерновом севообороте в 1986—1987 гг. повышало активность полифенолоксидазы под посевами в фазе выхода ячменя в трубку на 13 %, а в сочетании с удобрением соломой — на 16—29 %. В бессменном посеве ячменя гумусообразующая способность почвы под влиянием зеленого удобрения увеличивалась на 6—19 %, а под влиянием соломы повышалась незначительно или даже снижалась, хотя в отдельные периоды в 1987 г. увеличивалась даже на 30 % (рис. 1). Неравноценное действие одного и того же приема в севооборотах и бессменных посевах обусловлено различным количеством запаханной зеленой массы (табл. 1). В целом же прослеживается тенденция положительного воздействия соломы в сочетании с зеленым удобрением на гумусообразование в процессе последующего роста и развития ячменя.

Под бессменными посевами ячменя дерново-подзолистая почва в варианте без удобрений обладала довольно высокой полифенолоксидазной активностью (как и в случае с каталазной активностью). Изучение другого фермента, катализирующего окислительно-восстановительные реакции, — пероксидазы не позволило выявить каких-либо определенных закономерностей в ее изменении в зависимости от удобрений и севооборота. Но и здесь проявляется ингибирующее действие минеральных удобрений, которое только в отдельных случаях нейтрализовалось использованием пожнивного сидерата как в чистом виде, так и в сочетании с удобрением соломой (табл. 3).

Возделывание поживной культуры в течение летне-осеннего периода и ее запашка оказывают большое влияние на азотный обмен и баланс азота в почве [8, 13, 14]. Важным показателем процессов азотного обмена в системе почва — растение служит активность таких ферментов, как протеаза и уреазы. Протеаза расщепляет пептидные связи белков с образованием аминокислот. В процессе дальнейшего их разложения образуется мочевины, которая вносится в почву с растительными остатками и органическими удобрениями. Конечные продукты гидролиза мочевины служат источником питания для растений. Расщепление связи CO—NH в органических соединениях осуществляется уреазой, активность которой в значительной мере может изменяться под влиянием удобрений [1, 8, 12, 19]. Это нашло отражение и в результатах наших исследований (рис. 2). Анализ показывает, что и в зерновых севооборотах, и в бессменном посеве ячменя поживное зеленое удобре-

ние как в чистом виде, так и в сочетании с соломой обеспечивает заметное повышение уролитической активности почвы. Так, в период всходы — колошение ячменя активность уреазы под влиянием одного сидерата увеличивалась в севообороте на 6—21 %, а при внесении дополнительно соломы — на 8—36 %. Аналогичный эффект применения пожнивного сидерата и соломы на фоне минеральных удобрений отмечен и при бессменном посеве ячменя. При этом выявлена тенденция к повышению уролитической активности на чистых площадках. Это связано с тем, что требующаяся для реакции разложения мочевины вода находится здесь в более доступной форме. Об усилении уреазной активности при повышении влажности сообщается в работе [1]. В плодосменном и зерно-травяном севооборотах активность уреазы была выше, затухание ее в течение лета было менее интенсивно, чем в зерновом, что связано в первую очередь с положительным влиянием многолетних бобовых трав.

Таким образом, ежегодное повышенное поступление в почву растительной массы пожнивных культур (в данном случае белой горчицы) и соломы зерновых культур, а также растительных остатков многолетних трав приводит к образованию повышенного количества мочевины как продукта распада, служащего источником накопления доступных для растений форм азота и улучшающего баланс азота в почве. Об этом же свидетельствуют результаты других опытов [13, 14].

Другим ферментом, тесно связанным с азотным питанием растений, является протеаза. Как видно на рис. 3, 2, активность указанного фермента в 2 года из 3 (в 1986 и 1987) была выше при запашке сидерата и соломы, что позволяет не только предотвратить снижение способности почвы к расщеплению белков в начале вегетационного периода, вызванное насыщением севооборота зерновыми культурами, но и преувеличить ее значение в плодосменном севообороте. Аналогичный результат достигался и в бессменном посеве ячменя. Однако по этому показате-

Таблица 3

Урожайность зерновых культур в 1986—1988 гг.

Характер возделывания	Ячмень (в числителе), овес (в знаменателе)				Оз. пшеница (в числителе), оз. рожь (в знаменателе)			
	1986	1987	1988	Средняя	1986	1987	1988	Средняя
Севооборот:								
I — НРК	<u>43,1</u> <u>27,1</u>	<u>64,4</u> <u>54,7</u>	<u>31,3</u> <u>26,8</u>	<u>46,2</u> <u>36,2</u>	<u>41,8</u> —	<u>61,9</u> —	<u>50,4</u> —	<u>51,4</u> —
II — НРК	<u>41,4</u> <u>29,1</u>	<u>49,8</u> <u>59,6</u>	<u>30,5</u> <u>26,9</u>	<u>40,6</u> <u>38,5</u>	<u>40,9</u> <u>33,1</u>	<u>63,7</u> <u>56,0</u>	<u>50,4</u> <u>36,0</u>	<u>51,7</u> <u>41,7</u>
III — НРК	<u>39,6</u> <u>32,7</u>	<u>51,6</u> <u>52,9</u>	<u>30,6</u> <u>22,9</u>	<u>40,4</u> <u>36,2</u>	<u>36,6</u> <u>27,5</u>	<u>47,4</u> <u>43,5</u>	<u>41,5</u> <u>26,8</u>	<u>41,8</u> <u>32,6</u>
V — НРК + пс	<u>41,4</u> <u>27,5</u>	<u>59,7</u> <u>57,3</u>	<u>34,1</u> <u>25,8</u>	<u>45,1</u> <u>36,9</u>	<u>47,0</u> <u>30,6</u>	<u>57,9</u> <u>46,9</u>	<u>48,6</u> <u>32,8</u>	<u>51,2</u> <u>36,8</u>
VI — НРК + пс + с	<u>39,7</u> <u>26,5</u>	<u>61,2</u> <u>59,6</u>	<u>34,0</u> <u>27,6</u>	<u>45,0</u> <u>37,9</u>	<u>43,3</u> <u>31,7</u>	<u>59,7</u> <u>48,4</u>	<u>47,0</u> <u>30,0</u>	<u>50,0</u> <u>36,7</u>
НСР <sub>05</sub>	<u>1,2</u> <u>2,4</u>	<u>1,7</u> <u>1,0</u>	<u>1,3</u> <u>1,3</u>	— —	<u>2,0</u> <u>2,1</u>	<u>2,2</u> <u>2,6</u>	<u>1,5</u> <u>1,0</u>	— —
Бессменные посевы:								
1 — без удобрения	<u>13,7</u> <u>14,1</u>	<u>13,7</u> <u>30,3</u>	<u>11,3</u> <u>10,9</u>	<u>12,9</u> <u>18,4</u>	—	—	—	—
2 — НРК	<u>32,7</u> <u>25,8</u>	<u>47,7</u> <u>50,1</u>	<u>28,0</u> <u>21,6</u>	<u>36,1</u> <u>32,5</u>	—	—	—	—
3 — НРК + пс	<u>33,2</u> —	<u>48,6</u> —	<u>31,5</u> —	<u>37,8</u> —	—	—	—	—
4 — НРК + пс + с	<u>32,0</u> —	<u>49,2</u> —	<u>30,6</u> —	<u>37,3</u> —	—	—	—	—
НСР <sub>05</sub>	<u>2,4</u> —	<u>1,0</u> —	<u>0,8</u> —	— —	—	—	—	—

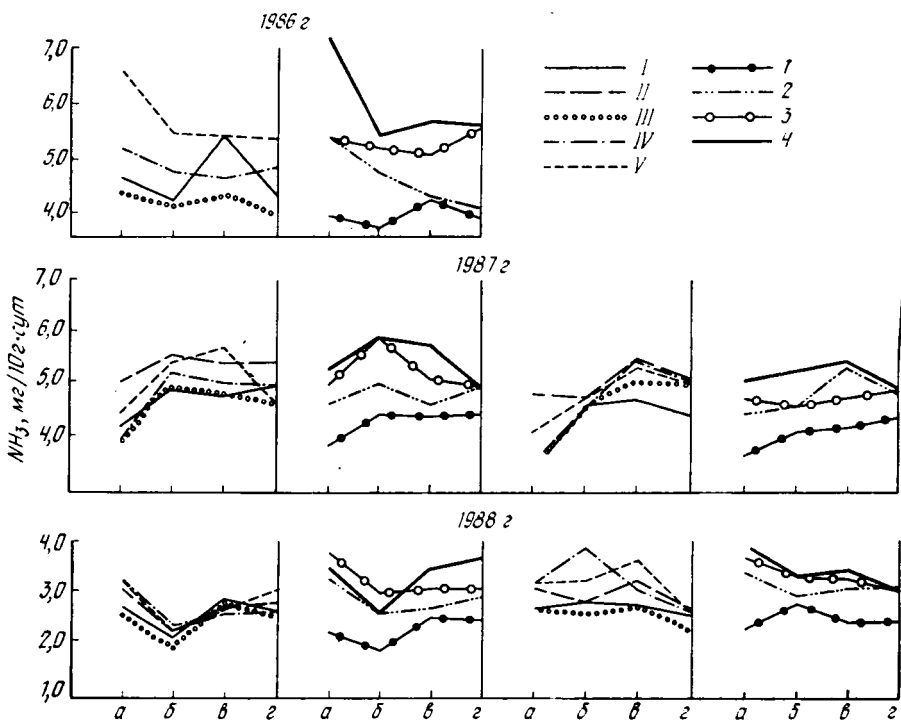


Рис. 2. Активность уреазы.  
Условные обозначения те же, что на рис. 1.

лю ферментативной активности почвы различия, возникавшие под влиянием изучаемых приемов, были менее контрастными, чем по уреазной активности.

От 85 до 90 % сухой массы органического вещества растительных остатков в почве составляют углеводы, претерпевающие гидролиз под влиянием большей группы ферментов, степень активности которых во многом определяется количеством растительных остатков и их химическим составом.

Мы определяли активность фермента инвертазы, рассматривая одну из стадий превращения — расщепление сахарозы до фруктозы и глюкозы. Результаты наших исследований показали, что насыщение полевых севооборотов до 83 % пашни зерновыми культурами и бессменный посев ячменя заметно снижают инвертазную активность дерново-подзолистой почвы (рис. 4). В ряде случаев значение этого показателя снижалось в 1,5—2 раза. Однако пожнивная сидерация как в чистом виде, так и в сочетании с удобрением соломой снижала отрицательное влияние зерновой специализации севооборота, а иногда даже позволяла превысить уровень инвертазной активности почвы, отмечаемый в плодосменном и зернотравяном севооборотах.

Почва, отобранная на парующих площадках, отличалась более низкой способностью к гидролизу безазотистых органических соединений. Причины этого — отсутствие корневой системы растений и большая (на 5—6 %) влажность почвы на чистых площадках. В то же время во влажный 1987 г., когда осадки распределялись равномерно и влажность почвы была достаточно высокой (не ниже 12 % в расчете на абсолютно сухую массу почвы) в течение всего вегетационного периода, инвертазная активность в целом была несколько ниже, чем в 1988, и особенно 1986 г. Это связано с тем, что начиная с определенного уровня влажности почвы наблюдается обратная зависимость инвертазной активности от влажности, что подтверждается синхронным характером ее сезонных изменений и на чистых площадках, и под растительностью,

хотя в последнем случае они больше должны согласовываться с динамикой роста и развития корневой системы ячменя.

Все выявленные в опыте изменения различных видов ферментативной активности почвы находятся в тесной связи с ее биологической ак-

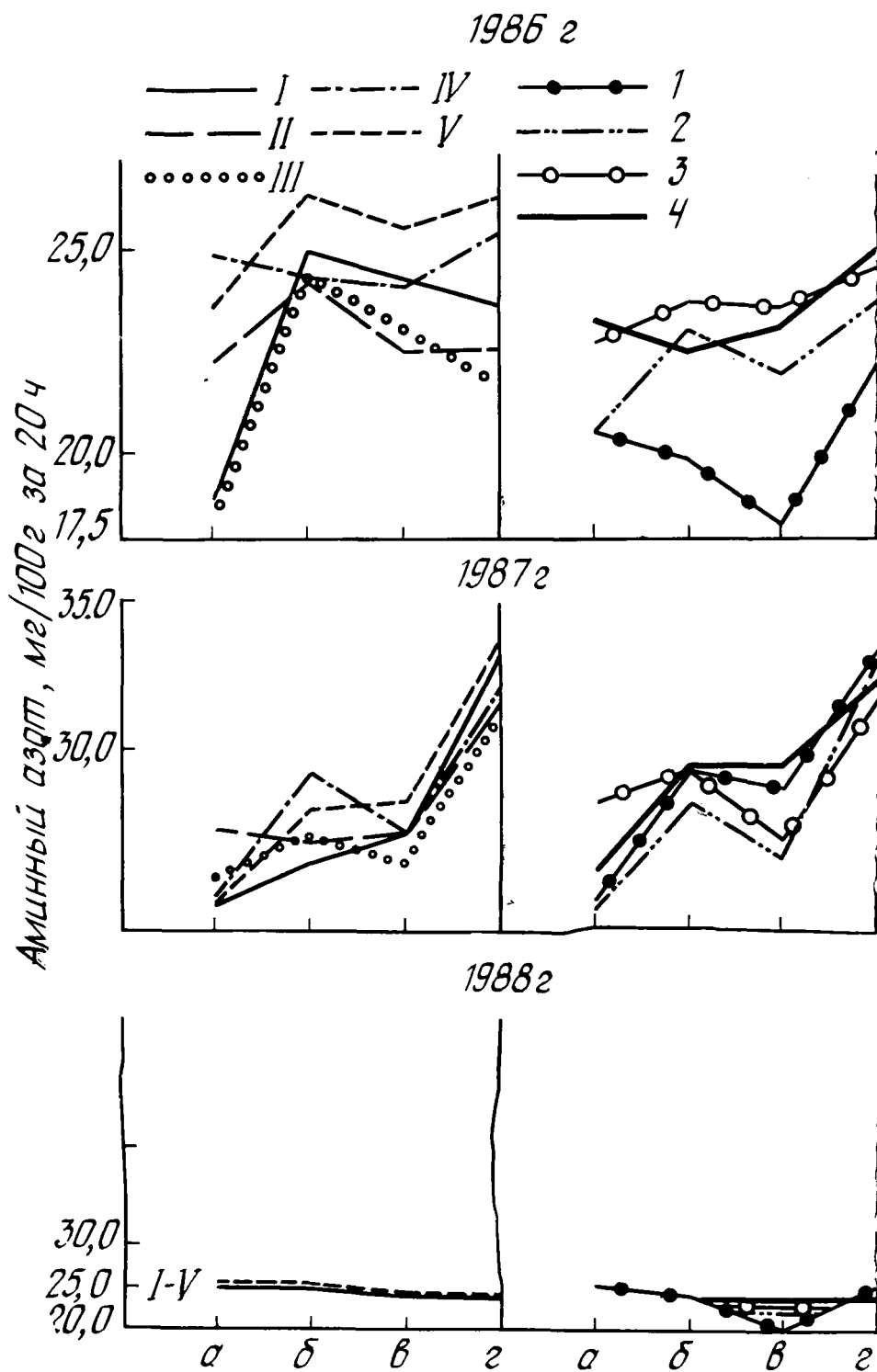


Рис. 3. Активность протеазы в посевах ячменя.  
Условные обозначения те же, что на рис. 1.



тивностью, с процессами превращения органического вещества и минеральных элементов питания, что в конечном счете оказывает влияние на пищевой режим и другие показатели плодородия почвы, на рост, развитие растений и их урожайность. Поскольку изучаемые факторы — удобрения, севообороты и бессменные посевы зернофуражных культур — являются результатом их воздействия на почву уже в течение 8 лет, можно рассматривать данные об урожайности зерновых культур за последние 3 года (1986—1988) как итоговые. Их анализ показывает, что при 8-летнем бессменном возделывании ячменя на фоне одних минеральных удобрений его урожайность была в эти годы на 10,1 ц/га, или на 21,9 %, ниже, чем в плодосменном севообороте, и на 4,3 ц/га, или на 10,9 %, ниже, чем в севообороте с 83 % зерновых культур. В севооборотах с 67 и 83 % посевов зерновых культур урожайность ячменя на фоне минеральных удобрений оказалась ниже, чем в плодосменном севообороте соответственно на 5,6 и 5,8 ц/га, или на 12,1 и 12,5 %.

Практически одинаковое снижение урожайности одной из ведущих зернофуражных культур Нечерноземья как при 67, так и при 83 % зерновых в севооборотах свидетельствует о том, что в последнем случае достигнуто благоприятное чередование озимых культур с яровыми и с занятым паром. Именно такое чередование позволило занимать 50 % площади пашни пожнивным сидератом и с помощью последнего получить урожай ячменя в зерновом севообороте практически такой же, как в плодосменном севообороте — соответственно 45,1 и 46,2 ц/га. Это является результатом совокупного действия пожнивного зеленого удобрения на биологические и другие показатели плодородия почвы. Вторая изучаемая в опыте зернофуражная культура — овес — слабее реагировала на бессменный посев и насыщение севооборота зерновыми культурами, но и у этой культуры в отдельные годы прибавки урожая зерна от пожнивной сидерации достигали 4,4—6,7 ц/га. В среднем за 3 го-

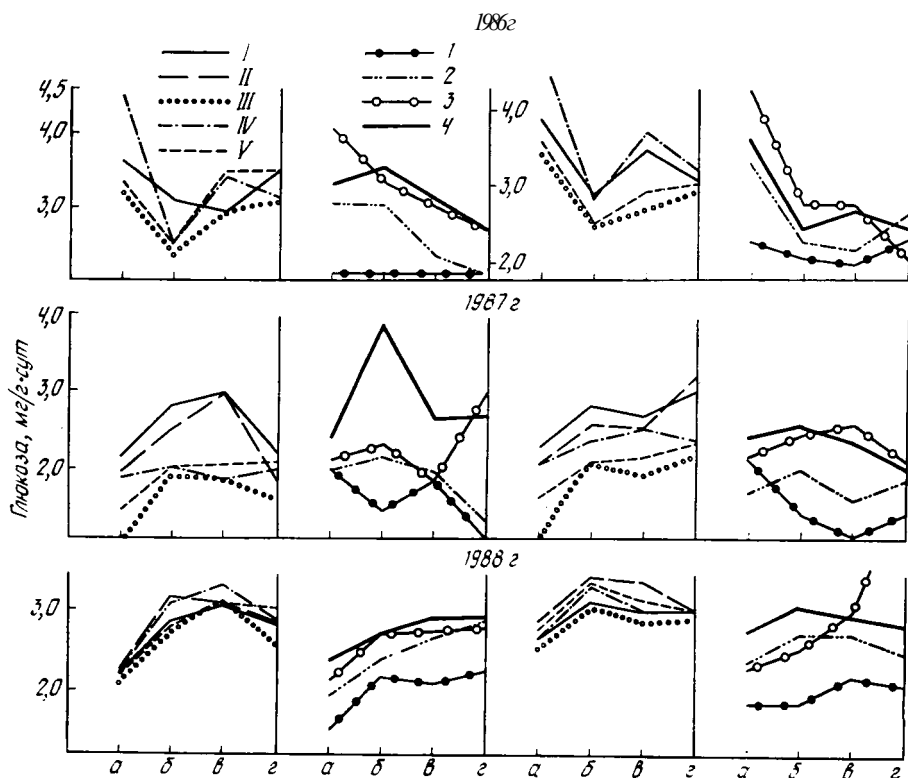


Рис. 4. Активность инвертазы.  
Условные обозначения те же, что на рис. 1.

да прибавки урожая овса были бы близкими к приведенным выше, если бы не повреждение его посевов градом в 1986 г.

Выявлена более четкая зависимость урожая озимой пшеницы от пожнивной сидерации, хотя последняя не применялась непосредственно под данную культуру. Положительный эффект 8-летней запашки зеленого удобрения в зерновом севообороте проявился в том, что в среднем за 3 года урожай зерна озимой пшеницы по этому фону был на 9,4 ц/га, или на 18,4 %, выше, чем в том же севообороте по NPK, и был практически равен ее урожаю в плодосменном севообороте (51,2 и 51,4 ц/га). Некоторое снижение урожайности озимой пшеницы (на 1,1 ц/га) и практически не изменившийся урожай ячменя при добавлении соломы к запаханной зеленой массе пожнивной горчицы объясняются ухудшением фитосанитарной обстановки в севообороте от внесения соломы (болезни растений, засоренность посевов [17, 18]).

Озимая рожь реагировала на пожнивное зеленое удобрение в зерновом севообороте аналогично озимой пшенице, но несколько слабее. В среднем за 3 года прибавка ее урожая составила 4,2 ц/га, или 11,4 %.

В целом же увеличение урожайности основных зерновых культур в 6-польном зерновом севообороте под влиянием пожнивной сидерации является следствием улучшения пищевого режима и других условий роста растений (обогащение почвы легкодоступным энергетическим материалом, активирующим биологические и биохимические процессы). Это, в свою очередь, позволило повысить выход зерна с Единицы площади полевого севооборота на 21,4 % по сравнению с плодосменным и на 11,3 % по сравнению с севооборотом, где вносили одни минеральные удобрения.

### Выводы

1. насыщение севооборотов зерновыми культурами до 83 % не влияло на активность окислительно-восстановительных ферментов и снижало активность ферментов азотного обмена и инвертазы.

2. Применение пожнивного зеленого удобрения усилило процессы окисления органического вещества (активность полифенолоксидазы повысилась в начальные фазы роста и развития ячменя на 6—19 %, способность почвы разлагать мочевины — на 6—21 %).

3. Совместное применение зеленого удобрения и соломы усилило в фазе выхода в трубку активность уреазы на 8—34 %, инвертазы — на 7—8 %, полифенолоксидазы на 16—29 %.

4. Наиболее отчетливыми индикаторными свойствами обладает инвертаза.

5. Применение зеленого удобрения в севообороте с 83 % насыщением зерновыми культурами повысило урожайность ячменя на 4,4—6,7 ц/га, или на 11,6%, в бессменных посевах — на 1,7 ц/га. Аналогичный эффект дала запашка сидерата совместно с соломой.

6. Введение в севообороты пожнивной сидерации повысило урожайность озимой пшеницы на 9,4 ц/га, или 18,4 %, сочетание сидерата с соломой — на 8,2 ц/га, или 16,4 %.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Алиаскери А. А. Ферментативная активность и продуктивность каштановых почв. — Автореф. канд. дис., Баку, 1980. —
2. Воробьев С. А. Севообороты в специализированных хозяйствах Нечерноземья. — М.: Россельхозиздат, 1982. —
3. Воробьев С. А. Севообороты интенсивного земледелия. — М.: Колос, 1979. —
4. Галстян А. Ш. Определение активности ферментов почв. — Ереван: Айастан, 1978. —
5. Звягинцев Д. Г. Методы почвенной микробиологии и биохимии. — М.: Наука, 1980. —
6. Зубкова Т. А. Абиотическая каталитическая активность. — Автореф. канд. дис., М., 1981. —
7. Карягина А. А., Михайловская Н. А. Методика определения пероксидазы и полифенолоксидазы. — Вестн. АН БССР, 1986, № 2, с. 40—41. —
8. Купревич В. Ф., Щербакова Т. А. Почвенная энзимология. — Минск: Наука и техника, 1966. —
9. Левин Ф. И., Белозеров С. М. Влияние промежуточных культур на биологическую активность почвы и мобилизацию элементов питания. — Биол. науки, 1985, № 8, с. 101—104. —
10. Лошаков В. Г. Промежуточные культуры в севооборотах Нечерноземной зоны. — М.:

- Россельхозиздат, 1980. — 11. Лошаков В. Г. Специализированные севообороты и промежуточные культуры в Центральных областях Нечерноземной зоны. — Междунар. с.-х. журн., 1984, № 1, с. 33—36. — 12. Лошаков В. Г., Емцев В. Т., Ницэ Л. К. и др. Биологическая активность почвы в специализированном зерновом севообороте при использовании поживного сидерата и соломы в качестве удобрения. — Изв. ТСХА, 1986, вып. 4, с. 10—17. — 13. Лошаков В. Г., Иванова В. Ф., Асхабов Р. Ю. Плодородие почвы и урожайность зернофуражных культур в специализированных севооборотах Московской области. — В сб.: Повышение плодородия почвы и получение запланированных урожаев с.-х. культур. — М.: — ТСХА, 1985, с. 3—9. 14. Лошаков В. Г., Иванова С. Ф., Асхабов Р. Ю. и др. Баланс азота, фосфора и калия в интенсивных зерновых севооборотах. — Изв. ТСХА, 1986, вып. 6, с. 3—8. — 15. Минеев В. Г., Човжик А. Д., Коваленко А. А. и др. Влияние минеральной и органо-минеральной систем удобрения на урожай и качество культур полевого севооборота на окультуренной дерново-подзолистой почве. — Агрохимия, 1988, № 10, с. 89—97. — 16. Минеев В. Г., Човжик А. Д., Коваленко А. Н. и др. Влияние минеральной и органо-минеральной систем удобрения на урожай и качество культур полевого севооборота на окультуренной дерново-подзолистой почве. Сообщение 1. — Агрохимия, 1988, № 6, с. 3—14. — 17. Сидоренко О. Д., Ницэ Л. К. Токсичность соединений соломы. — В кн.: Использование соломы как органического удобрения. — М.: Наука, 1980, с. 55—69. — 18. Стейн и Форт А. Р. Солома злаковых культур / Пер. с англ. — М.: Колос, 1983. — 19. Хазиев Ф. Х. Системно-экологический анализ ферментативной активности почв. — М.: Наука, 1982. — 20. Хазиев Ф. Х. Ферментативная активность почв. — М.: Наука, 1976. — 21. Щербакова Т. А. Ферментативная активность почв и трансформация органического вещества. — Минск: Наука и техника, 1983. — 22. Maillard A. — Rev. suisse agr., 1988, vol. 20, N 3, p. 161—163.

*Статья поступила 10 июня 1989 г.*

### SUMMARY

The effect of saturation of crop rotations with grain crops, as well as the effect of afterharvest green manuring in the pure state and in combination with straw on the activity of such enzymes in the soil as catalase, urease, protease, polyphenoloxidase, peroxidase, invertase and on the yield of grain crops is discussed.

It has been established that incorporating the afterharvest green manuring into crop rotations saturated with grain crops increases activity of the enzymes mentioned above, except catalase and peroxidase. Application of the practices discussed results in higher yield of grain crops.