

УДК 631.81:631.82:631.86:633.11“321”

АГРОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ДЛИТЕЛЬНОГО ПРИМЕНЕНИЯ ОРГАНИЧЕСКИХ И МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ В АГРОТЕХНОЛОГИЯХ РАЗНОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ

© 2019 г. Г. Е. Мерзлая^{1,*}, И. В. Понкратенкова², А. Ю. Гаврилова^{2,**}

¹Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии им. Д.Н. Прянишникова
127550 Москва, ул. Прянишникова, 31а, Россия

²Федеральный научный центр лубяных культур
214025 Смоленск, ул. Нахимова, 21, Россия

*E-mail: lab.organic@mail.ru

**E-mail: augavrilova@gmail.com

Поступила в редакцию 11.02.2019 г.

После доработки 23.02.2019 г.

Принята к публикации 13.06.2019 г.

В полевом стационарном опыте выявлены закономерности длительного действия и последействия органических и минеральных удобрений в широком диапазоне доз и сочетаний при возделывании яровой пшеницы в полевом зернотравяном севообороте. Установлено, что в годы последействия урожайность яровой пшеницы снижалась при низких и умеренных дозах удобрений и повышалась при интенсивном их применении. В период последействия наибольшее положительное влияние на урожайность зерна оказывали органические удобрения, особенно в повышенных дозах в вариантах сочетаний с минеральными удобрениями. Эффективные, экологически безопасные дозы составляли N60P60K60 на фоне навоза 6 т/га и обеспечивали прибавки урожайности яровой пшеницы к контролю 74% в действии и 38% в последействии удобрений.

Ключевые слова: агроэкологическая оценка, длительное применение удобрений, органические и минеральные удобрения, яровая пшеница, агротехнологии разной интенсивности.

DOI: 10.1134/S0002188119090060

ВВЕДЕНИЕ

В последние годы, несмотря на определенные успехи в зерновом хозяйстве, средняя урожайность яровых зерновых культур в России остается все еще низкой – 20–22 ц/га. Прежде всего это относится к регионам с распространением дерново-подзолистых почв легкого гранулометрического состава, площадь которых в стране превышает 5 млн га. Значительная часть таких почв приходится на западную часть Нечерноземной зоны. Важно учитывать, что в годы с неблагоприятными условиями перезимовки посевы озимой пшеницы в этом регионе часто погибают. В качестве компенсации потерь производства продовольственного зерна целесообразно расширение посевов такой страховой культуры, как яровая пшеница.

Получение высоких и устойчивых урожаев высококачественного зерна в значительной степени зависит от совершенствования агротехнологий, в том числе за счет научно обоснованных и экологи-

чески сбалансированных систем удобрения [1, 2]. Практика применения агрохимических средств в ряде случаев, в частности завышение их доз в отдельных хозяйствах, может быть сопряжена с экологическим риском и вызывать негативные изменения в почвах и агроэкосистемах в целом [3]. В этой связи в условиях дерново-подзолистых легкосуглинистых почв западной части Нечерноземной зоны РФ актуальна разработка научных основ длительного применения органических и минеральных удобрений при оптимизации их доз при возделывании важнейших сельскохозяйственных культур, в частности яровой пшеницы. Важное значение при этом имеют результаты исследований в длительных полевых опытах, предусматривающих действие и последействие органических и минеральных удобрений в системе почва–растение.

Цель работы – в длительном полевом опыте на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве при выращивании яровой пшеницы дать научное

обоснование применения эффективных, экологически безопасных доз и сочетаний подстилочного навоза, минеральных азотных, фосфорных и калийных удобрений, обеспечивающих повышение урожайности и качества зерновой продукции, сохранение экологического состояния почвы.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование проводили в стационарном полевом факториальном опыте, заложенном в 1978 г. в п. Ольша Смоленского р-на Смоленской обл. Опыт внесен в Реестр аттестатов длительных опытов с удобрениями и другими средствами химизации Российской Федерации под номером 5.

Почва опытного участка – дерново-подзолистая легкосуглинистая окультуренная, перед закладкой опыта в слое 0–20 см имела pH_{KCl} 5.5, содержала органического углерода (по Тюрину) 1.3–1.5%, подвижного фосфора (по Кирсанову) – 110–209 и калия – 115–146 мг/кг.

Схема опыта факториальная, представлена выборкой 1/27 ($6 \times 6 \times 6 \times 6$). За единичные дозы под яровую пшеницу были приняты: N30, P30, K30. Доза навоза – 3 т/га ежегодно. Изучали 4 фактора: навоз, азотные, фосфорные, калийные минеральные удобрения в 6-ти дозах, включая нулевую. Всего в опыте было 48 вариантов. В кодах вариантов первая цифра обозначает “азот”, вторая – “фосфор”, третья – “калий”, четвертая – “навоз”. Повторность в опыте трехкратная, площадь делянки – 112 м² (7×16), учетная площадь – 48 м² (4×12).

За 30 лет опыта прошло 4 ротации севооборота. Чередование культур в 1-й ротации (1979–1989 гг.): 1 – картофель, 2 – ячмень, 3 – озимая рожь, 4 – овес, 5 – горохоовсяная смесь, 6 – озимая пшеница, 7 – ячмень, 8 и 9 – многолетние травы 1-го и 2-го годов пользования, 10 – озимая рожь, 11 – овес; во 2-й (1990–1995 гг.) и 3-й (1996–2001 гг.) ротациях: 1 – картофель, 2 – ячмень, 3 и 4 – многолетние травы 1-го и 2-го годов пользования, 5 – озимая пшеница, 6 – овес; в 4-й (2002–2008 гг.) и 5-й (2009–2015 гг.) ротациях: 1 – овес на зеленый корм, 2 – озимая рожь, 3 – ячмень, 4 и 5 – многолетние травы 1-го и 2-го годов пользования, 6 – яровая пшеница, 7 – овес; в 6-й ротации (начиная с 2016 г.): 1 – сидерат, 2 – яровая пшеница, 3 – ячмень, 4 и 5 – многолетние травы 1-го и 2-го годов пользования. Таким образом, насыщенность севооборота зерновыми культурами (с учетом гибели их посевов в 1994 г.) составляла в ротациях от 1-й к 5-й: 54, 50, 50, 57, 57% в среднем – 54%; насыщенность многолетними травами – соответственно 18, 33, 33, 28, 28, в среднем 28%. Многолетние травы были представлены бобово-злаковой травосмесью из тимофеевки луговой и клевера лугового.

Последствие удобрений изучали в 5-й и 6-й ротациях севооборота (начиная с 2009 г.). В

период последствий во всех вариантах опыта, включая контроль, применяли ежегодно N_{aa} в дозах N30–45 под все другие культуры севооборота.

В опыте использовали яровую мягкую пшеницу сорта МИС, оригинатор – НИИСХ ЦРНЗ. Сорт создан методом индивидуального отбора из гибридной популяции F3 (Tippel × Приокская), разновидность лютеценс, сорт среднеспелый. Сорт рассчитан на стабильное получение зерна, пригодного для макаронных изделий. Обладает устойчивостью к полеганию, слабо поражается бурой ржавчиной, мучнистой росой и твердой головней.

При посеве яровой пшеницы использованы семена первой репродукции. В первые 2 ротации полевого севооборота применяли средства защиты растений. Удобрения вносили перед вспашкой и в подкормку (P_c , K_x и N_{aa}). Дозы удобрений в вариантах были внесены согласно схеме опыта.

Навоз с небольшим количеством подстилки поступал с фермы крупного рогатого скота, имел влажность 70% и содержал в среднем 0.46% общего азота, 0.08% аммонийного азота, 0.21% фосфора (P_2O_5), и 0.66% калия (K_2O). Содержание органического вещества (на сухую массу) составляло 59%, отношение C : N было равно 19. Валовое содержание тяжелых металлов в навозе было невысоким: Cd – 0.1, Cr – 1.0, Ni – 1.0, Cu – 0.6, Zn – 7.0 мг/кг сухой массы. Навоз вносили в 1-й ротации севооборота под картофель и озимую пшеницу, во 2-й и 3-й ротациях – под картофель, в 4-й ротации – под озимую рожь.

Известкование проводили дважды за 4 ротации по полной гидролитической кислотности под картофель. В 1-й ротации известь вносили в 1978 г., во 2-й – в 1990 г.

Учет урожайности был проведен сплошным методом. Массу 1000 зерен определяли по ГОСТ 10842-89, массу зерна – по ГОСТ 10840-64.

Агрохимический анализ почвы в слое 0–20 см выполняли по методикам, применяемым в агрохимической службе: pH_{KCl} – потенциометрическим методом (ГОСТ 26483-85), фосфор и калий – по методу Кирсанова (ГОСТ 26207-91), фосфор – фотометрическим ванадиево-молибдатным методом после мокрого озоления, калий – методом пламенной фотометрии, содержание гумуса – по Тюрину (ГОСТ 26213-91). Растительные образцы анализировали по ГОСТ 1349464-93, ГОСТ 26657-97 и ГОСТ 30504-97. Микробиологические исследования выполнены молекулярным методом на кафедре агрохимии и биохимии растений МГУ им. М.В. Ломоносова [4].

Статистическую обработку экспериментальных данных выполнили по методикам [5, 6] с использованием компьютерной программы STRAZ.

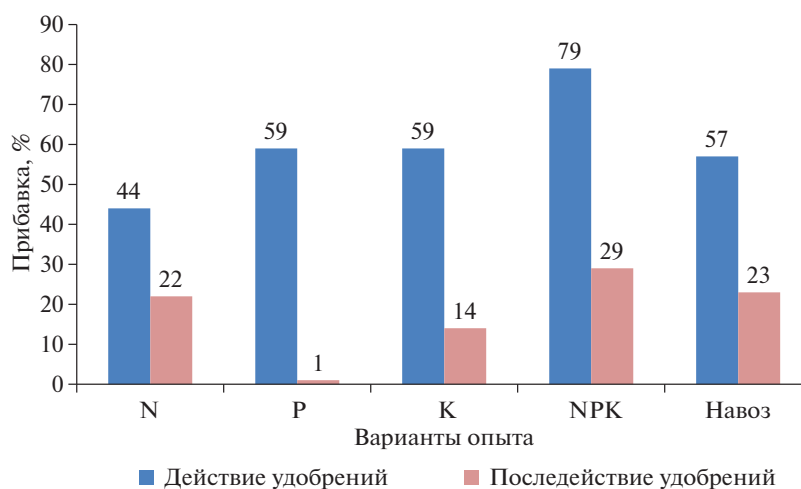


Рис. 1. Прибавки урожайности яровой пшеницы в зависимости от применения органических и минеральных удобрений.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Согласно результатам длительного стационарного опыта и обобщению ранее полученных данных [4, 7] проведен анализ действия и последствия органических и минеральных удобрений в широком диапазоне доз, внесенных в дерново-подзолистую легкосуглинистую почву под яровую пшеницу. В табл. 1 приведены данные по влиянию удобрений на урожайность зерна яровой пшеницы, возделываемой в зернотравяном полевом севообороте. Урожайность яровой пшеницы в зависимости от действия (в среднем за 2007–2008 гг.) и последствия (в среднем за 2014, 2015, 2017, 2018 гг.) органических и минеральных удобрений, применяемых в различных дозах и сочетаниях, описывалась следующими уравнениями регрессии:

$$y = 21.96 + 4.16N^{0.5} + 2.52P + 0.99K + 5.68H^{0.5} - 1.73(NP)^{0.5} - 2.05(PH)^{0.5} - 1.59(KH)^{0.5},$$

$$R = 0.75 \text{ (действие удобрений);}$$

$$y = 17.13 + 0.6(NP)^{0.5} - 0.49(NH)^{0.5} + 0.8(KH)^{0.5}$$

(последствие удобрений).

Показано, что урожайность зерна в контроле составляла от 15.2 до 19.2 ц/га, т.е. приближалась к уровню средней статистической величины для РФ, равной 18 ц/га (Сельское хозяйство России, 2014). Из уравнений видно, что наиболее сильное влияние навоза и всех видов минеральных удобрений на урожайность зерна проявлялось в их действии. В последствии урожайность яровой пшеницы резко снизилась, в среднем в опыте в 1.7 раза в вариантах с удобрениями. При этом достоверные прибавки урожайности яровой пшеницы в последствии были получены лишь в 5-ти вариантах применения органо-минеральных систем удобрения при включении высоких доз фосфора или калия с навозом — четырехкратных

(в вариантах 4444, 1444) и пятикратных (в вариантах 2525, 2225, 5255).

Анализ прямого действия удобрений показал, что существенные прибавки урожайности зерна были получены даже от азота, фосфора и калия в вариантах с их односторонним внесением, которые находились на уровне 44–59%. От полного минерального удобрения в тройных дозах (3330) прибавка урожайности зерна по отношению к контролю достигала 79%. Для органической системы удобрения прибавка составила 57% (рис. 1).

При внесении тройных доз действие органо-минеральной системы (вариант 3333) по урожайности зерна практически не отличалось от минеральной (вариант 3330) и органической (вариант 0003). С ростом доз удобрений в органо-минеральных вариантах в действии (варианты 1111, 2222, 3333, 4444, 5555) урожайность составила соответственно 28.5, 33.4, 35.3, 32.3, 39.6 ц/га, т.е. при этом в основном наметилась тенденция к ее увеличению (рис. 2). Максимальная урожайность яровой пшеницы достигалась в варианте самых высоких доз применения органо-минеральной системы (вариант 5555) — 39.6 ц/га, а также при сочетании азотных и органических удобрений в тройных дозах (вариант 3003) — 41.2 ц/га. Однако достоверной разницы в урожайности между этими вариантами не было отмечено.

Урожайность яровой пшеницы последовательно увеличивалась от рассчитанных на основании уравнений регрессии возрастающих доз азота, фосфора и калия, минеральных удобрений и навоза — от однократных до пятикратных доз.

На основании экспериментальных данных установлено положительное влияние удобрений на качество зерна яровой пшеницы. Более высокое содержание азота (2.0%) в зерне отмечено в варианте полного минерального удобрения (вариант 3330), а также в варианте применения орга-

Таблица 1. Влияние органических и минеральных удобрений на урожайность яровой пшеницы

Вариант	Код варианта	Действие удобрений			Последствие удобрений		
		урожай- ность, ц/га	прибавка		урожай- ность, ц/га	прибавка	
			ц/га	%		ц/га	%
Контроль	0000	19.2	—	—	15.2	—	—
N90	3000	30.5	11.3	59	18.6	3.4	22
P90	0300	30.6	11.4	59	15.3	0.1	1
K90	0030	27.6	8.4	44	17.4	2.1	14
N90P90	3300	31.8	12.6	66	19.7	4.5	30
N90K90	3030	31.9	12.7	66	17.8	2.6	17
P90K90	0330	30.5	11.3	59	18.2	3.0	20
N90P90K90	3330	34.5	15.3	79	19.6	4.4	29
Навоз 9 т/га	0003	30.2	11.0	57	18.7	3.5	23
N90 + навоз 9 т/га	3003	41.2	22.0	114	15.2	0	0
P90 + навоз 9 т/га	0303	31.3	12.1	63	15.9	0.7	5
K90 + навоз 9 т/га	0033	34.4	15.2	79	18.9	3.7	24
N90P90 + навоз 9 т/га	3303	38.6	19.4	101	17.2	2.0	13
N90 K90 + навоз 9 т/га	3033	36.8	17.6	91	16.8	1.6	11
P90K90 + навоз 9 т/га	0333	34.5	15.3	80	20.8	5.6	37
N90P90K90 + навоз 9 т/га	3333	35.3	16.1	84	21.0	5.8	38
N30P30K30 + навоз 3 т/га	1111	28.5	9.3	48	16.9	1.7	11
N120P30K30 + навоз 3 т/га	4111	38.1	18.9	98	20.1	4.9	32
N30P120K30 + навоз 3 т/га	1411	34.0	14.8	77	19.1	3.9	26
N30P30K120 + навоз 3 т/га	1141	28.4	9.2	48	17.8	2.6	17
N120P120K30 + навоз 3 т/га	4411	31.1	11.9	62	15.6	0.4	3
N120P30K120 + навоз 3 т/га	4141	29.4	10.2	53	20.5	5.3	35
N30P120K120 + навоз 3 т/га	1441	35.2	16.0	83	21.0	5.8	38
N120P120K120 + навоз 3 т/га	4441	38.2	19.0	99	17.7	2.5	16
N30P30K30 + навоз 12 т/га	1114	32.6	13.4	70	18.7	3.5	23
N120P30K30 + навоз 12 т/га	4114	34.0	14.8	77	16.8	1.6	11
N30P120K30 + навоз 12 т/га	1414	30.6	11.4	59	19.0	3.8	25
N30P30K120 + навоз 12 т/га	1144	29.3	10.1	52	16.6	1.4	9
N120P120K30 + навоз 12 т/га	4414	30.1	10.9	57	21.1	5.9	39
N120P30K120 + навоз 12 т/га	4144	31.5	12.3	64	19.0	3.8	25
N30P120K120 + навоз 12 т/га	1444	33.2	14.0	73	22.6	7.4	49
N120P120K120 + навоз 12 т/га	4444	32.3	13.1	68	22.6	7.4	49
N60P60K60 + навоз 6 т/га	2222	33.4	14.2	74	19.5	4.3	28
N150P60K60 + навоз 6 т/га	5222	34.4	15.2	79	17.3	2.1	14
N60P150K60 + навоз 6 т/га	2522	34.0	14.8	77	18.8	3.6	24
N60P60K150 + навоз 6 т/га	2252	33.1	13.9	72	20.4	5.2	34
N150P150K60 + навоз 6 т/га	5522	32.1	12.9	67	18.6	3.4	22

Таблица 1. Окончание

Вариант	Код варианта	Действие удобрений			Последствие удобрений		
		урожай- ность, ц/га	прибавка		урожай- ность, ц/га	прибавка	
			ц/га	%		ц/га	%
N150P60K150 + навоз 6 т/га	5252	36.6	17.4	91	18.7	3.5	23
N60P150K150 + навоз 6 т/га	2552	34.5	15.3	80	18.3	3.1	20
N150P150K150 + навоз 6 т/га	5552	38.1	18.9	98	20.8	5.6	37
N60P60K60 + навоз 15 т/га	2225	29.9	10.7	55	18.6	3.4	22
N150P60K60 + навоз 15 т/га	5225	34.4	15.2	79	19.2	4.0	26
N60P150K60 + навоз 15 т/га	2525	37.8	18.6	97	23.2	8.0	53
N60P60K150 + навоз 15 т/га	2255	35.1	15.9	83	23.4	8.2	54
N150P150K60 + навоз 15 т/га	5525	37.7	18.5	96	20.1	4.9	32
N150P60K150 + навоз 15 т/га	5255	29.6	10.4	54	22.9	7.7	51
N60P150K150 + навоз 15 т/га	2555	34.1	14.9	77	18.8	3.6	24
N150P150K150 + навоз 15 т/га	5555	39.6	20.4	106	21.0	5.8	38
<i>HCP</i> ₀₅			5.7			6.1	

но-минеральной системы при внесении пятикратных доз азота, фосфора, навоза и двукратной дозы калия (вариант 5525), достигая 2.2%. Содержание фосфора в зерне увеличивалось в значительной мере от внесения навоза – с 0.67% на контроле до 0.70% (вариант 0003), а также от органо-минеральной системы (вариант 3333), где

оно достигало 0.89%. Влияние удобрений на содержание в зерне калия было слабым. Содержание белка и азота в зерне в меньшей мере зависело от навоза, а в большей – от полного минерального удобрения (вариант 3330), где этот показатель составлял 11.7%, и органо-минеральных систем с повышенными дозами азота или навоза (рис. 3, 4).

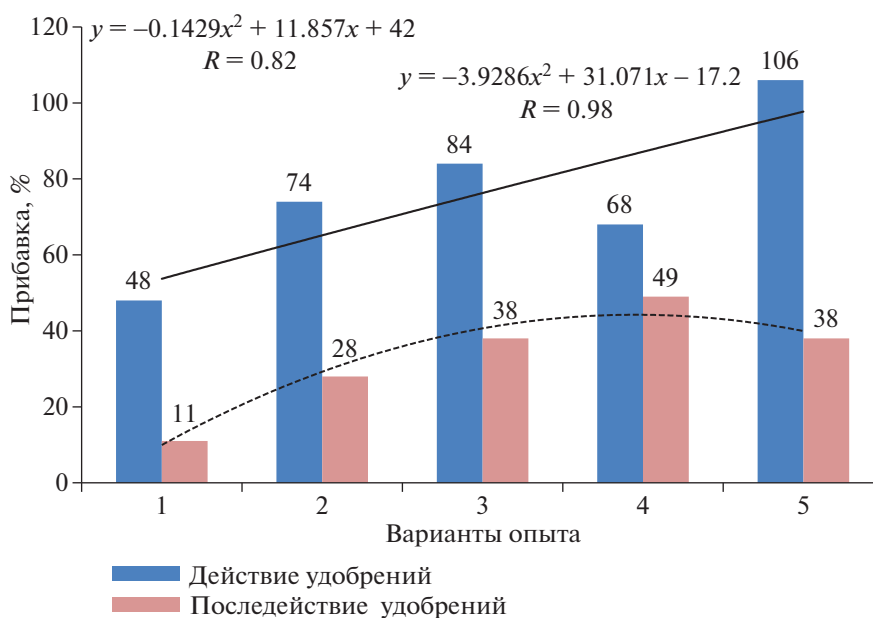


Рис. 2. Прибавки урожайности яровой пшеницы в зависимости от возрастающих доз удобрений в органо-минеральных вариантах. Варианты: 1 – N30P30R30 + навоз 3 т/га, 2 – N60P60K60 + навоз 6 т/га, 3 – N90P90K90 + навоз 9 т/га, 4 – N120P120K120 + навоз 12 т/га, 5 – N150P150K150 + навоз 15 т/га. То же на рис. 4.

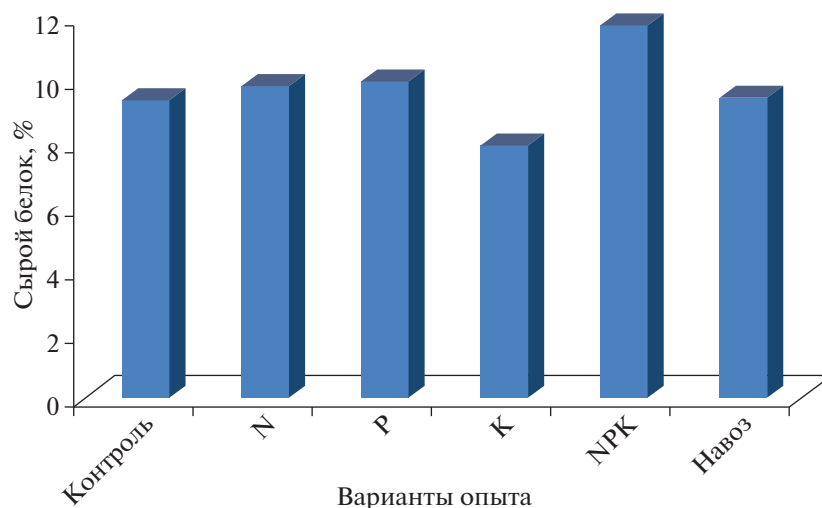


Рис. 3. Содержание сырого белка в зерне яровой пшеницы в зависимости от вариантов применения органических и минеральных удобрений.

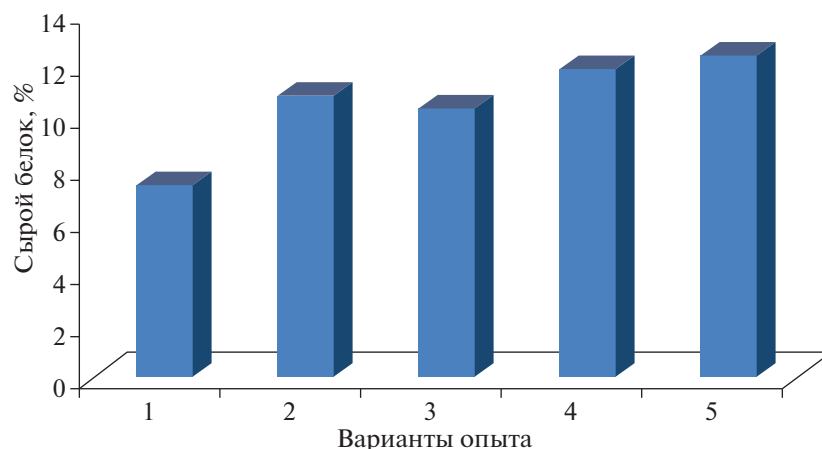


Рис. 4. Содержание сырого белка в зерне яровой пшеницы в зависимости от возрастающих доз удобрений в органо-минеральных вариантах опыта.

Испытанные системы удобрения (органо-минеральная и органическая) в последствии положительно влияли на плодородие почвы, в частности на ее биологическую активность. В исследованиях, выполненных совместно с кафедрой агрохимии и биохимии растений МГУ им. М.В. Ломоносова, было установлено, что общая численность микроорганизмов в почве в контроле составляла 46.8×10^6 кл./г (табл. 2). Влияние навоза в тройной дозе (вариант 0003) повышало этот показатель (на уровне тенденции) до 66.4×10^6 кл./г, в то время как при применении минеральных удобрений (вариант 3330) он был даже меньше контроля и составлял 38.1×10^6 кл./г. В вариантах органо-минеральных систем удобрения общая численность микроорганизмов менялась от 43.6 до 82.5×10^6 кл./г, причем с увеличени-

ем доз удобрений наметилась тенденция к ее росту, но только до четырехкратных доз (вариант 4444).

Максимальная общая численность микробиоценоза была при внесении четырехкратных доз навоза и минеральных удобрений. При этом в общей численности микроорганизмов преобладали представители филума Proteobacteria, Bacteroidetes, Firmicutes, Actinobacteria. Анализ видового состава сообщества показал, что в почве данного варианта относительно контроля в филуме Proteobacteria отмечено увеличение численности аэробного вида *Acetobacter* sp. – ассоциативного азотфиксатора, *Ochrobactrum* sp., *Pseudomonas fluorescens* и факультативно анаэробного вида *Aeromonas hydrophila*. В варианте двукратных доз навоза и минеральных удобрений, где была получена более высокая урожайность яровой пшеницы (в среднем за годы исследования 3.34 т/га), численность микроорганизмов составила 54.4×10^6 кл./г. Отмечен также рост доли филума Proteobacteria.

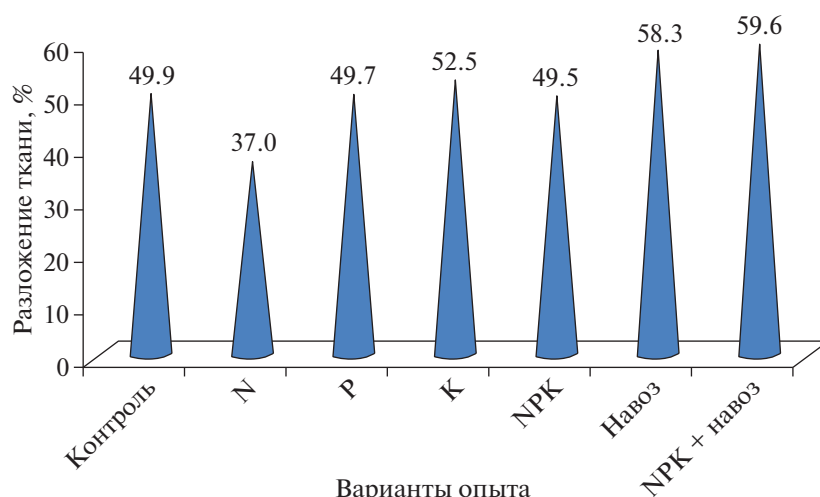


Рис. 5. Целлюлозоразлагающая способность микробных сообществ в почве в зависимости от органических и минеральных удобрений.

С внесением одного навоза увеличивалась суммарная численность представителей филума *Bacteroidetes*, в основном за счет анаэробного вида *Bacteroides ruminicola*.

Микробное разнообразие почвы во всех вариантах опыта характеризовалось высокими показателями. Индекс биоразнообразия изменялся от 4.6 до 5.0.

При изучении целлюлозоразлагающей активности почвы с помощью метода аппликации (рис. 5) установлено, что в контроле без удобрений за период экспозиции в 55 сут разложилось 3.74 г льняной ткани, или 49.9%.

Высоким этот показатель был и в вариантах последействия калийных удобрений (вариант 0030), составивший 52.5%. При одностороннем внесении навоза в тройной дозе разложение ткани находилось на уровне 58.3%. Меньшее влияние на целлюлозоразлагающую способность микроорганизмов оказывали в последействии азотные удобрения при их одностороннем применении. С ростом доз удобрений разложение ткани усили-

валось: с 49.9% в контроле до 61.7% в вариантах максимальных доз навоза и минеральных удобрений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании исследования, проведенного в стационарном полевом опыте на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве в условиях западной части Нечерноземной зоны, показано, что длительное применение органических и минеральных удобрений под яровую пшеницу при оптимизации их доз и сочетаний было эффективным и экологически безопасным приемом. Установлена тенденция к снижению урожайности яровой пшеницы, возделываемой в севообороте, при низких и умеренных дозах удобрений и тенденция к ее повышению при интенсивном их применении. В период последействия наибольшее положительное влияние на урожайность зерна оказывали органические удобрения, особенно в повышенных дозах в вариантах сочетаний их с минеральными удобрениями.

При сравнительной оценке действия систем удобрений под яровую пшеницу установлено

Таблица 2. Состав сообщества микроорганизмов дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы при применении навоза и минеральных удобрений, $\times 10^6$ кл./г

Вариант	Код варианта	Proteobacteria	Actinobacteria	Firmicutes	Bacteroidetes	Общая численность
Контроль	0000	13.6	19.3	11.9	2.0	46.8
N90P90K90	3330	17.1	13.4	5.1	2.5	38.1
Навоз 9 т/га	0003	22.0	18.1	20.4	5.9	66.4
N30P30K30 + навоз 3 т/га	1111	19.0	14.1	7.6	2.9	43.6
N60P60K60 + навоз 6 т/га	2222	24.2	15.8	11.1	3.3	54.4
N90P90K90 + навоз 9 т/га	3333	20.3	13.3	22.5	3.7	59.8
N120P120K120 + навоз 12 т/га	4444	31.5	26.9	19.5	4.7	82.5
N150P150K150 + навоз 15 т/га	5555	21.5	17.3	9.7	3.0	51.5

преимущество органо-минеральной системы – N60P60K60 на фоне внесения подстилочного навоза 6.0 т/га, обеспечившей получение в действии удобрений урожайности зерна 3.3 т/га, что на 74% превышало контроль, и в последствии – 2.0 т/га, или больше на 38%. Почва при этом характеризовалась высокой численностью микробоценоза – 54.4×10^6 кл./г, что на 16% было больше контроля. При применении органической системы удобрения с внесением навоза 9 т/га ежегодно при высокой численности микробоценоза (66.4×10^6 кл./г) урожайность зерна яровой пшеницы составляла 3.0 т/га, или была на 57% больше контроля. Минеральная система удобрения при снижении (на уровне тенденции) общей численности микроорганизмов (38.1×10^6 кл./г) позволяла получить в среднем 3.4 т/га зерна, или на 79% больше контроля, и продукцию с более высоким (по сравнению с органической и органо-минеральными системами удобрения) содержанием сырого белка – 11.7%.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Минеев В.Г., Сычев В.Г., Гамзиков Г.П.* Агрохимия. Классический университетский учебник для стран СНГ / Под ред. Минеева В.Г. М.: ВНИИА, 2017. 854 с.
2. *Державин Л.М.* Методология проектирования применения удобрений и других средств химизации в ресурсосберегающих агротехнологиях при модернизации земледелия // Агрохимия. 2013. № 8. С. 18–29.
3. *Черников В.А., Голубев А.В., Грингоф И.Г.* Агроэкология / Под ред. Черникова В.А., Чекереса А.И. М.: Колос, 2000. 536 с.
4. *Мерзлая Г.Е., Верховцева Н.В., Селиверстова О.М., Макиакова О.В., Волошин С.П.* Взаимосвязь микробиологических и агрохимических показателей дерново-подзолистой почвы при длительном применении удобрений // Проблемы агрохимии. 2012. № 2. С. 18–25.
5. *Перегудов В.Н.* Планирование многофакторных полевых опытов с удобрениями и математическая обработка их результатов. М.: Колос, 1978. 182 с.
6. *Доспехов Б.А.* Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов наблюдений). М.: Колос, 1965. 335 с.
7. *Сычев В.Г., Мерзлая Г.Е., Волошин С.П., Понкратенкова И.В.* Биологическая активность почвы и урожайность яровой пшеницы при использовании органических и минеральных удобрений // Плодородие. 2016. № 6. С. 2–4.

Agroecological Assessment of Continuous Application of Organic and Mineral Fertilizers in the Cultivation of Spring Wheat in Technologies of Different Intensity

G. E. Merzlaya^{a,#}, I. V. Ponkratenkova^{b,##}, and A. Yu. Gavrilo^b

^a*D.N. Pryanishnikov All-Russian Research Institute of Agrochemistry
ul. Pryanishnikova 31a, Moscow 127550, Russia*

^b*Federal Research Center for Bast Fiber Crops
ul. Nakhimova 21, Smolensk 214025, Russia*

[#]*E-mail: lab.organic@mail.ru*

^{##}*E-mail: augavrilo@gmail.com*

On the basis of field stationary experience the regularities of long-term action and aftereffect of organic and mineral fertilizers in a wide range of doses and combinations in the cultivation of spring wheat in the field grain-grass crop rotation. It is established that in the years of aftereffect the yield of spring wheat decreased at low and moderate doses of fertilizers and increased with their intensive use. During the aftereffect period, organic fertilizers had the greatest positive impact on grain yield, especially in high doses in combinations with mineral fertilizers. Effective, environmentally safe doses were N60P60K60 against the background of 6 t/ha of manure and provided an increase in the yield of spring wheat to control 74% in action and 38% in the aftereffect of fertilizers.

Key words: agroecological assessment, continuous application of fertilizers, organic and mineral fertilizers, spring wheat, technologies of different intensity.