

УДК 631.861:631.41:631.582:631.445.24

АГРОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПРИМЕНЕНИЯ ОРГАНО-МИНЕРАЛЬНОГО УДОБРЕНИЯ ЗА РОТАЦИЮ ПОЛЕВОГО СЕВОБОРОТА НА ДЕГРАДИРОВАННОЙ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЕ

© 2021 г. А. И. Иванов¹, *, Ж. А. Иванова¹

¹ Агрофизический научно-исследовательский институт
195220 Санкт-Петербург, Гражданский просп., 14, Россия

*E-mail: office@agrophis.ru

Поступила в редакцию 17.06.2020 г.

После доработки 27.08.2020 г.

Принята к публикации 11.03.2021 г.

В многолетнем полевом опыте (2012–2018 гг.) изучено влияние нового органо-минерального удобрения (ОМУ) в среднегодовых дозах от 1.6 до 3.9 т/га на агрохимические свойства подвергшейся деградации окультуренной дерново-подзолистой почвы и продуктивность 7-польного полевого севооборота. Наиболее значительные позитивные изменения произошли с кислотно-основным и фосфатным состоянием почвы. При внесении ОМУ 1 т/га повышение показателей составило: pH_{KCl} —0.041 ед., S —0.068 смоль(экв)/кг, V —1.2%, $P_2O_{5\text{подв}}$ —4 мг/кг. На фоне средних и высоких доз ОМУ увеличилось содержание гумуса (на 0.27%) и подвижного калия (на 39 мг/кг). Следствием улучшения свойств и режимов почвы стало повышение продуктивности полевого севооборота в среднем на 53% (с 2.51 до 3.84 з.е./м²), а при сочетании с полным минеральным удобрением — на 102%, достигнув 5.08 з.е./м², вариабельность продуктивности культур и севооборота по годам сократилась в среднем в 1.2–1.4 и 1.7–3.0 раза соответственно. При использовании малых и средних доз эффективным было легирование ОМУ калием (K_2SO_4) из расчета 10 кг K_2O /т.

Ключевые слова: деградированная дерново-подзолистая почва, агрохимические свойства, севооборот, продуктивность, органо-минеральное удобрение (ОМУ), доза, баланс, эффективность удобрения.

DOI: 10.31857/S0002188121060053

ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день преобладающая часть пахотных почв Нечерноземья затронута деградационными процессами [1–5]. Особенно ощутимы негативные изменения кислотно-основных свойств и калийного режима прежних окультуренных дерново-подзолистых почв [5–9]. Это осложняет и без того непростую ситуацию с обеспечением хотя бы минимальной рентабельности полевого земледелия. В то же время в ряде областей Нечерноземья (и в частности, в Ленинградской обл.) неудовлетворительно используют немалые ресурсы для производства пометных удобрений [10, 11]. В значительной мере это определяется жесткими экологическими требованиями к применению последних, делающими практически обязательной предварительную промышленную переработку помета [11–14].

В Ленинградской области в ООО “Билавис” разработана энергосберегающая технология производства высококонцентрированного органо-минерального удобрения (ОМУ), представляющего собой гранулированную смесь сухого помета и золы. Последняя является продуктом сжигания части помета с целью высушивания основной его партии [15]. Цель работы — анализ основных данных завершеного многолетнего полевого опыта по агроэкологической оценке этого удобрения.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Микрополевой опыт в полиэтиленовых сосудах без дна площадью 1 м² проводили в 2012–2018 гг. в Меньковском филиале АФИ на базе развернутого во времени полевого севооборота “пар сидеральный” (люпиновый)—пшеница озимая—ячмень +

+ многолетние травы—многолетние травы—многолетние травы—картофель—рапс яровой. С целью более объективной оценки влияния метеорологических условий опыт формировали одновременно в 3-х закладках, открывавшихся полями, в которых вносили ОМУ (пар под озимую пшеницу, ячмень с подсевом трав и картофель).

Для набивки сосудов использовали затронутую деградационным процессом супесчаную дерново-подзолистую почву контрольного (без удобрений) варианта стационарного опыта АФИ. Ее основные агрохимические свойства на этот момент были следующими: pH_{KCl} 4.74, гумус — 1.85%, $P_2O_{5подв}$ — 217 мг/кг, $K_2O_{подв}$ — 92 мг/кг (в 1982 г. при закладке стационарного опыта pH_{KCl} 5.60, гумус — 2.77%, $P_2O_{5подв}$ — 256 мг/кг и $K_2O_{подв}$ — 197 мг/кг).

Опыт выполняли по двухфакторной схеме: фактор А — минеральная система удобрения со средними (N75P50K50) и повышенными (N100P75K75) разовыми дозами (четырёхкратное внесение за ротацию), фактор Б — дозы ОМУ: малые (3–4), средние (5–7) и высокие (7–10) т/га, в том числе с легированием калием K_2SO_4 из расчета 10 кг K_2O /т ОМУ (трехкратное внесение за ротацию севооборота). Более детальная характеристика методики дана в работе [16].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Поскольку в 1 т ОМУ содержалось 130 кг кальция, магния и калия в значительной степени в форме оксидов, гидрооксидов и гидрокарбонатов, среди агрохимических свойств почвы наибольшие позитивные изменения соответствовали кислотнo-основным (табл. 1). Ранее при анализе данных первых 3-х лет опыта [16], была отмечена незначительность влияния средних и повышенных доз полного минерального удобрения на кислотнo-основное состояние почвы. Но в целом за ротацию севооборота негативные изменения стали вполне ощутимыми. На фоне среднегодовых доз N43P29K29 pH_{KCl} исходно среднекислой почвы снизился на 0.36 ед. при увеличении показателя гидролитической кислотности на 1.14 смоль(экв)/кг. Такие изменения носили критический характер для развития требовательных к почвенной реакции культур: пшеницы озимой, ячменя и рапса. Поэтому на их фоне в начале вегетации в условиях прохладной дождливой погоды резко увеличивалось (вплоть до внешних признаков токсикоза) содержание подвижного марганца (до 38–46 мг/кг), усугубляемое оптимизацией азотного режима за счет минеральных удобрений.

Нейтрализующее действие ОМУ коррелировало с его дозами. В среднем в опыте в расчете на 1 т ОМУ/га повышение показателей за ротацию севооборота составило: pH_{KCl} — на 0.041 ед., $S_{обм}$ — на 0.068 смоль(экв)/кг, V — на 1.2%, снижение показателей — $H_{обм}$ — на 0.018 смоль(экв)/кг, H_T — на 0.078 смоль(экв)/кг. Дополнение ОМУ калием минерального удобрения эту закономерность не изменяло. С учетом принятых нормативов затрат извести для сдвига pH_{KCl} почвы на единицу [17], нейтрализующее действие 1 т ОМУ/га можно оценить эквивалентным действием 293 кг Са- CO_3 /га. Анализ трансформации всех показателей кислотнo-основного состояния почвы позволил считать, что применение изученного ОМУ в полевых севооборотах на дерново-подзолистых почвах в среднегодовых дозах от 1.6 до 2.7 т/га может компенсировать инфильтрационные потери оснований и остановить ставший сегодня хроническим процесс подкисления указанных почв, а в дозе 3.9 т/га — оптимизировать это состояние.

Не столь однозначны полученные в опыте данные относительно влияния ОМУ на гумусное состояние и питательный режим почвы. Хотя и в этом случае прослежена зависимость от величин баланса органического вещества и питательных элементов (табл. 2).

В условиях севооборота с 3-мя полями бобовых и одним полем пропашных культур в вариантах опыта без удобрений и с одними минеральными удобрениями исходное содержание гумуса (1.82–1.88%) сохранялось. Хотя теоретические расчеты (по методике ВНИПТИОУ [18]) указывали на значительный дефицит его баланса. Одностороннее применение средних и высоких доз ОМУ обеспечивало формирование положительного баланса гумуса, выразившееся повышением его содержания относительно исходного показателя в среднем на 0.20%. На фоне минеральных удобрений расчеты показывали ухудшение показателей баланса. Но фактически, при сочетании полного минерального удобрения со средними и высокими дозами ОМУ содержание гумуса в почве увеличилось в среднем на 0.3%. Вероятно, при этом происходило накопление большей массы пожнивнo-корневых остатков.

Анализ данных показал также, что использованная в опыте система удобрения на основе ОМУ имела и существенный недостаток — значительный дисбаланс в поступлении и потреблении растениями основных макроэлементов. Особенно остродефицитным был хозяйственный баланс азота, что определило и низкое содержание в почве минерального азота в конце опыта. Естествен-

Таблица 1. Влияние системы удобрения на кислотно-основные свойства дерново-подзолистой почвы (средние 3-х закладок опыта)

Вариант (фактор Б)	Агрохимические показатели почвы в конце ротации севооборота						V, %
	рН _{KCl}	Н _{обм}	Al _{подв}	H _г	S _{обм}	ЕКО	
Без минеральных удобрений (фактор А)							
Контроль (без ОМУ)	4.69	0.50	0.37	2.83	2.53	5.36	47
ОМУ 11 т/га	5.37	0.27	0.17	2.30	3.30	5.60	59
ОМУ 19 т/га	5.70	0.16	0.10	1.67	3.93	5.60	70
ОМУ 27 т/га	5.90	0.11	0.04	1.53	4.27	5.80	74
ОМУ 11 т/га + K110	5.43	0.29	0.18	2.43	3.87	6.30	61
ОМУ 19 т/га + K190	5.77	0.17	0.11	1.80	4.77	6.57	73
ОМУ 27 т/га + K270	5.93	0.10	0.03	1.53	4.70	6.23	75
N300P200K200 (фон 1) (фактор А)							
Контроль (без ОМУ)	4.57	0.61	0.47	3.97	2.50	6.47	39
ОМУ 11 т/га	5.10	0.34	0.23	2.93	2.97	5.90	50
ОМУ 19 т/га	5.40	0.27	0.19	2.33	3.63	5.96	61
ОМУ 27 т/га	5.63	0.19	0.11	1.80	4.50	6.30	71
ОМУ 11 т/га + K110	5.03	0.35	0.22	2.80	3.43	6.23	55
ОМУ 19 т/га + K190	5.27	0.23	0.17	2.50	3.93	6.43	61
ОМУ 27 т/га + K270	5.93	0.11	0.05	1.53	4.63	6.13	75
N400P300K300 (фон 2) (фактор А)							
Контроль (без ОМУ)	4.43	0.66	0.52	4.20	1.90	6.10	31
ОМУ 11 т/га	4.87	0.37	0.24	3.17	2.43	5.60	43
ОМУ 19 т/га	5.27	0.25	0.16	2.37	3.47	5.84	59
ОМУ 27 т/га	5.60	0.18	0.12	1.67	4.23	5.90	72
ОМУ 11 т/га + K110	5.23	0.28	0.16	2.50	3.27	5.77	57
ОМУ 19 т/га + K190	5.37	0.25	0.17	2.23	3.97	6.20	64
ОМУ 27 т/га + K270	5.83	0.14	0.08	1.67	5.20	6.87	76
HCP ₀₅ фактор А	0.15	0.08	0.05	0.14	0.15	0.29	1
фактор Б	0.19	0.14	0.08	0.21	0.23	0.44	3

но, что показатели биологического баланса были лучшими, поскольку 33% севооборотной площади занимали активные азотфиксаторы – клевер и люпин. Иначе был бы невозможен столь высокий агрономический эффект.

Напротив, вследствие высокого содержания в ОМУ фосфора (45 кг/т), интенсивность хозяйственного баланса этого элемента (особенно при высоких дозах) была необоснованно завышенной (до 248–363%). Конечно, при этом наблюдали значительное накопление в почве подвижных соединений фосфора (69 мг P₂O₅/кг) в среднем в вариантах опыта с удобрениями (по 4 мг/кг в расчете на 1 т ОМУ/га). Для повышения содержания P₂O₅ на 1 мг/кг затрачивалось, таким образом, остаточного фосфора удобрений 7.2 кг/га. В абсо-

лютном контроле (без удобрений) содержание подвижного P₂O₅ за 7 лет снизилось на 50 мг/кг, или по 1 мг/кг в расчете на каждые 4 кг/га дефицита баланса фосфора. Это свидетельствовало о резком снижении фосфатной буферной способности среднекультуренных почв относительно их хорошокультуренных аналогов [19], главным образом вследствие постепенного расходования их органической составляющей и ретраградации при подкислении. В целом трансформация показателей фосфатного состояния почвы под влиянием ОМУ указывала на обоснованность приоритетного использования этого нового удобрения на бедных фосфатами почвах.

Баланс калия в севообороте был дефицитным почти во всех вариантах опыта. Но снижение со-

Таблица 2. Влияние систем удобрения на гумусное состояние и питательный режим дерново-подзолистой почвы (средние 3-х закладок опыта)

Дозы ОМУ за ротацию (фактор Б)	Агрохимические показатели почвы в конце ротации севооборота (2018 г.)							
	Гумус		N		P ₂ O ₅		K ₂ O	
	баланс, т/га	%	баланс, кг/га	N _{мин.} , мг/кг	баланс, кг/га	P ₂ O ₅ подв, мг/кг	баланс, кг/га	K ₂ O _{подв} , мг/кг
Без минеральных удобрений (фактор А)								
0	-10.2	1.88	-735	15	-196	167	-588	82
ОМУ 11 т/га	+0.11	1.97	-636	19	+211	256	-486	90
ОМУ 19 т/га	+2.23	2.08	-503	22	+523	277	-365	130
ОМУ 27 т/га	+5.53	2.05	-201	24	+882	32	-108	144
ОМУ 11 т/га + K110	-0.65	2.00	-729	15	+188	257	-27	94
ОМУ 19 т/га + K190	+2.27	2.08	-533	19	+516	298	-199	146
ОМУ 27 т/га + K270	+4.61	2.00	-309	21	+852	318	+76	163
N300P200K200 за ротацию севооборота (фон 1) (фактор А)								
0	-2.67	1.88	-638	17	-85	226	-656	76
ОМУ 11 т/га	-0.50	2.03	-555		+318	273	-566	99
ОМУ 19 т/га	+2.45	2.20	-345	26	+651	277	-385	115
ОМУ 27 т/га	+4.27	2.25	-228	28	+958	314	-274	139
ОМУ 11 т/га + K110	-2.11	1.93	-770	19	+152	248	-629	91
ОМУ 19 т/га + K190	+0.43	2.05	-606	22	+581	296	-402	128
ОМУ 27 т/га + K270	+4.04	2.05	-284	28	+944	326	-46	119
N400P300K300 за ротацию севооборота (фон 2) (фактор А)								
0	-4.02	1.82	-770	18	-57	209	-776	76
ОМУ 11 т/га	-2.74	1.97	-794	20	+318	263	-772	94
ОМУ 19 т/га	+0.37	2.12	-537	22	+662	305	-553	98
ОМУ 27 т/га	+2.29	2.30	-406	24	+774	331	-431	112
ОМУ 11 т/га + K110	-2.39	1.90	-840	15	+304	272	-583	101
ОМУ 19 т/га + K190	-0.52	2.15	-675	19	+625	325	-270	120
ОМУ 27 т/га + K270	+2.84	2.15	-361	24	+786	336	-368	152
<i>HCP</i> ₀₅ фактор А		0.08		3		14		7
фактор Б		0.12		7		17		10

держания его подвижных форм (на 8–10 мг/кг) произошло только в вариантах без применения ОМУ. На фоне тоже отрицательного баланса в вариантах с малыми дозами ОМУ содержание подвижного калия сохранилось на исходном уровне, а в вариантах со средними и высокими дозами даже повысилось (в среднем на 38 мг/кг). Установленная закономерность является очередным подтверждением обоснованности мнения ряда ученых [7, 8, 20] о недостаточной изученности процессов преобразования соединений калия в почве. Вероятно, в почвенно-агрохимических условиях обсуждаемых вариантов опыта имело место стимулирующее действие ОМУ в направлении мобилизации калия с более энергоемких позиций [7, 8, 21].

Внесение в почву НРК в составе ОМУ в количестве от 1133 до 2781 кг/га и органического вещества 8–20 т/га за ротацию севооборота сопровождалось улучшением не только агрохимических, но и агрофизических свойств почвы [15], следовательно и ее питательного и водно-воздушного режимов. Поэтому положительное действие этого удобрения на первых культурах отметили даже при визуальных наблюдениях уже в начальных фазах онтогенеза. Напротив, полное минеральное удобрение (а вероятнее, его азотный компонент) в условиях выраженного подкисления почвы на фоне прохладной дождливой погоды в начале вегетации вызывало и при повышении дозы усиливало признаки марганцевого токсикоза мо-

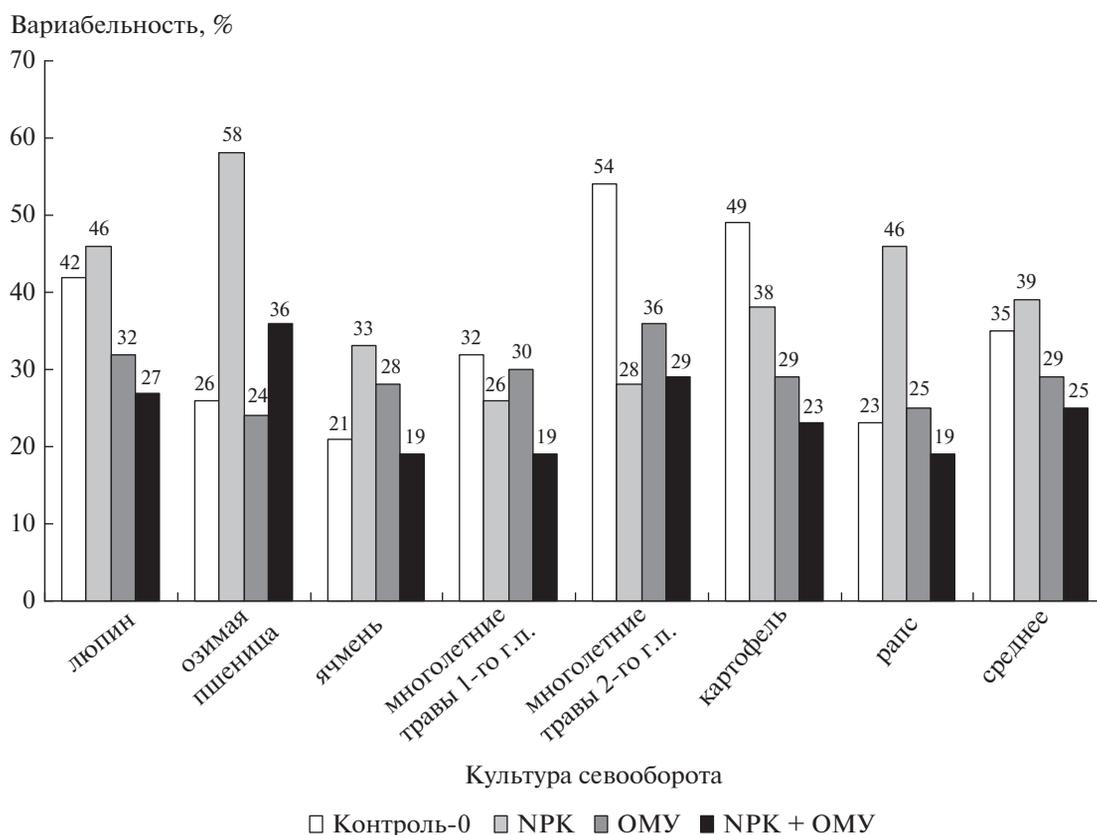


Рис. 1. Временная вариабельность (коэффициент вариации) продуктивности полевых культур.

лодых растений озимой пшеницы, ячменя и даже требовательного к элементу рапса. Характер и остроту их проявления определяли погодно-климатические условия (степень переувлажнения почвы и продолжительность волны холода). При этом негативный физиологический эффект напрямую зависел от дозы минерального (в первую очередь азотного) удобрения. Обычно негативные последствия преодолевались молодыми посевами через 10–15 сут после наступления устойчиво теплой погоды, но полностью компенсировать возникающие таким образом издержки для продукционного процесса было уже невозможно. Прямым результатом этого стало не только снижение окупаемости удобрений в отдельные годы, но и резкое (в 2 раза) повышение с 21–26 до 33–58% временной вариабельности продуктивности этих культур под действием минеральной системы удобрения (рис. 1).

Агрономическая эффективность ОМУ в целом зависела от величины его доз, биологических особенностей сельскохозяйственных растений и погодных условий. Урожайность и озимой пшеницы, и ячменя, и картофеля закономерно увеличивалась по мере повышения доз ОМУ с 3–4 до 7–10 т/га, хо-

тя при этом окупаемость 1 кг NPK снижалась. Средние для изученных доз прибавки урожайности зерновых культур составили 89, картофеля – 77% (вероятно, сказывалась более высокая отзывчивость пшеницы и ячменя на раскисление почвы). Сочетание ОМУ с полным минеральным удобрением обеспечивало как значительное повышение урожайности (до 5.2–6.4 т зерна и 60.5 т клубней картофеля на 1 га), так и увеличение оплаты 1 кг NPK зерновыми культурами с, 62 до 7.1 з.е., картофеля – с 7.7 до 11 з.е.

С учетом относительной обедненности ОМУ калием легирование его калийным удобрением было эффективным и в посадках картофеля, и в посевах зерновых: в расчете на 1 кг K_2O в составе K_2SO_4 было получено 20 и 9 з.е. соответственно. Исключение составил вариант, в котором высокие дозы ОМУ вносили на фоне повышенных доз минеральных удобрений.

Существенное влияние на агрономическую эффективность ОМУ оказывали погодные условия. Обычно в неблагоприятные по метеословиям годы относительные прибавки урожайности от этого удобрения оставались достаточно высокими, но значительно меньшими по абсолютной

Таблица 3. Агронимическая эффективность ОМУ за ротацию севооборота (средние 3-х закладок опыта)

Доза ОМУ за ротацию	Продуктивность севооборота, з.е./м ²	Вариабельность продуктивности, %	Прибавка продуктивности						Оплата 1 кг NPK, з.е.		
			от всех удобрений		от ОМУ		от K ₂ O		всех удоб-рений	ОМУ	K ₂ O
			з.е./м ²	%	з.е./м ²	%	з.е./м ²	%			
Без минеральных удобрений (фактор А)											
0	2.51	12	—	—	—	—	—	—	—	—	—
ОМУ 11 т/га	3.41	9	0.90	36	0.90	36	—	—	7.9	7.9	—
ОМУ 19 т/га	3.92	7	1.41	56	1.41	56	—	—	7.2	7.2	—
ОМУ 27 т/га	4.20	8	1.69	67	1.69	67	—	—	6.1	6.1	—
ОМУ 11 т/га + K110	3.52	5	1.01	40	1.01	40	0.115	5	8.1	8.1	10.5
ОМУ 19 т/га + K190	4.11	4	1.60	64	1.60	64	0.184	7	7.4	7.4	9.7
ОМУ 27 т/га + K270	4.33	6	1.82	72	1.82	72	0.124	5	6.0	6.0	4.6
N300P200K200 за ротацию севооборота (фон 1) (фактор А)											
0	3.26	8	0.75	30	—	—	—	—	10.7	—	—
ОМУ 11 т/га	4.17	2	1.67	66	0.91	28	—	—	9.1	8.1	—
ОМУ 19 т/га	4.69	6	2.18	87	1.43	44	—	—	8.2	7.3	—
ОМУ 27 т/га	5.11	3	2.60	103	1.85	57	—	—	7.5	6.6	—
ОМУ 11 т/га + K110	4.50	2	1.99	79	1.24	38	0.326	10	10.2	10.0	29.6
ОМУ 19 т/га + K190	5.08	5	2.57	103	1.82	56	0.392	12	9.0	8.5	20.6
ОМУ 27 т/га + K270	5.37	4	2.86	114	2.11	65	0.264	8	7.6	6.9	9.8
N400P300K300 за ротацию севооборота (фон 2) (фактор А)											
0	3.78	8	1.28	51	—	—	—	—	12.8	—	—
ОМУ 11 т/га	4.82	6	2.31	92	1.04	27	—	—	10.8	9.1	—
ОМУ 19 т/га	5.20	2	2.70	107	1.42	38	—	—	9.1	7.3	—
ОМУ 27 т/га	5.68	2	3.17	126	1.89	50	—	—	8.4	6.8	—
ОМУ 11 т/га + K110	5.18	5	2.67	106	1.40	37	0.361	10	11.9	11.2	32.8
ОМУ 19 т/га + K190	5.49	4	2.98	119	1.71	45	0.288	8	9.5	8.0	15.2
ОМУ 27 т/га + K270	5.69	3	3.18	127	1.9	50	0.015	0.4	7.9	6.3	0.6
HCP ₀₅ фактор А			0.20								
фактор Б			0.30								
взаимодействие АБ			0.49								

величине. Соответственно снижалась и окупаемость единицы действующего вещества. При этом степень благоприятности погодных условий определялась во многом биологическими особенностями культуры. Например, весна и лето 2012 г., характеризовавшиеся чередованием продолжительных периодов засухи и обильных осадков, оказались крайне неблагоприятными для ячменя (на 1 кг NPK в составе ОМУ было получено всего от 1.4 до 5.5 з.е.), но вполне благополучными для картофеля (оплата 1 кг NPK – от 6.2 до 14.7 з.е.).

В отличие от минеральных удобрений, дестабилизирующих в почвенно-климатических усло-

виях опыта продуктивность требовательных к почвенной реакции культур, ОМУ снижало вариабельность в среднем в 1.2 раза, в сочетании с минеральными удобрениями – в 1.4 раза (рис. 1).

Поскольку в севообороте ОМУ вносили через 1–2 года, то агронимическая эффективность его в последствии в посевах многолетних трав, ярового рапса и даже малотребовательного однолетнего люпина была также существенной. В результате это обеспечило повышение продуктивности севооборота при внесении ОМУ в чистом виде на 36–72%, при сочетании с минеральными удобрениями – на 66–127% (табл. 3).

Как и урожайность первых культур, продуктивность севооборота стабильно возрастала по мере увеличения доз ОМУ, хотя оплата 1 кг NPK при этом снижалась с 7.9–9.1 (доза 11 т/га) до 7.2–7.3 (доза 19 т/га) и до 6.1–6.8 з.е. (доза 27 т/га). При совместном применении ОМУ с минеральными удобрениями оплата 1 кг NPK повышалась в среднем с 7.1 до 7.5 з.е.

Следует отметить, что применительно к продуктивности севооборота в целом ее временная вариабельность оказалась уже незначительной (коэффициент вариации в среднем в вариантах опыта составил 6%), в то время как по показателям урожайности отдельных культур в отдельных вариантах он доходил до 80%. Объясняется это и сглаживающим влиянием последствия удобрений (после лет ослабленного прямого действия, как правило, повышался эффект последствия) и неодинаковой реакцией разных культур на погодные условия. Это указывало на первостепенное значение севооборота в адаптации регионального земледелия к погодно-климатическим аномалиям. При этом положительный стабилизирующий характер имело действие минеральной системы удобрения, нового органо-минерального удобрения и их сочетания (коэффициент вариации продуктивности севооборота по годам снизился в 1.5, 1.7 и 3 раза соответственно).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Применение в полевом севообороте на деградированной дерново-подзолистой почве нового ОМУ в разовых дозах от 3 до 10 т/га (от 11 до 27 т/га за ротацию) сопровождалось улучшением большинства изученных агрохимических свойств почвы. Особенно существенные позитивные изменения достигались использованием средних и высоких доз ОМУ: повышение pH_{KCl} относительно исходного показателя на 0.89 ед., содержания обменных оснований – на 1.77 смоль(экв)/кг, гумуса – на 0.27%, подвижного фосфора – на 94 мг/кг, подвижного калия – на 39 мг/кг.

Произошедшее под влиянием удобрения улучшение свойств и режимов почвы обеспечило высокую эффективность ОМУ в прямом действии (увеличение урожайности картофеля и зерновых культур на 77–89%) и последствии. В результате продуктивность полевого севооборота возросла в среднем на 53% (с 2.51 до 3.84 з.е./м²), а при сочетании с минеральными удобрениями – на 102%, достигнув продуктивности 5.08 з.е./м². При этом вариабельность продуктивности культур и севооборота по годам сократилась в среднем в 1.2–1.4 и 1.7–3.0 раза соответственно. При использовании

малых и средних доз эффективным было легирование ОМУ K_2SO_4 из расчета 10 кг K_2O /т ОМУ.

Есть основание прогнозировать повышение агроэкологической эффективности применения ОМУ на обедненных фосфатами почвах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Шафран С.А.* Динамика применения удобрений и плодородие почв // *Агрохимия*. 2004. № 1. С. 18–24.
2. *Ефимов В.Н., Иванов А.И.* Деградация хорошо окультуренных дерново-подзолистых почв // *Докл. РАСХН*. 2001. № 6. С. 21–23.
3. *Шафран С.А.* Динамика плодородия почв Нечерноземной зоны и резервы // *Агрохимия*. 2016. № 8. С. 3–10.
4. *Архипов М.В.* Оценка биопотенциала производства продовольствия в Северо-Западном регионе России. СПб.–Пушкин, 2016. 136 с.
5. *Иванов А.И., Воробьев В.А., Иванова Ж.А.* Современные деградационные процессы в хорошо окультуренных дерново-подзолистых почвах // *Пробл. агрохим. и экол.* 2015. № 3. С. 15–19.
6. *Иванов А.И.* Некоторые закономерности изменения кислотно-основного состояния дерново-подзолистых легкосуглинистых почв при сельскохозяйственном использовании // *Агрохимия*. 2000. № 10. С. 28–33.
7. *Иванов А.И., Иванов И.А., Воробьев В.А., Лямцева Е.Г.* Изменение калийного состояния хорошо окультуренной дерново-подзолистой почвы при применении калий-дефицитной системы удобрения // *Агрохимия*. 2009. № 4. С. 21–26.
8. *Воробьев В.А.* Агроэкологические аспекты природно-антропогенной трансформации калийного состояния дерново-подзолистых почв Северо-Запада России: Дис. ... д-ра с.-х. наук. Великие Луки, 2016. 272 с.
9. *Иванов А.И., Вязовский А.А., Конашенков А.А., Петров И.И., Воробьев В.А.* Актуальные вопросы известкования кислых почв Нечерноземья // *Агротех. вестн.* 2019. № 6. С. 3–9.
10. *Мерзлая Г.Е., Лысенко В.П.* Ресурсы птицефабрик для производства органических удобрений // *Агротех. вестн.* 2005. № 3. С. 21–23.
11. *Брюханов А.Ю.* Методы проектирования и критерии оценки технологий утилизации навоза, помета, обеспечивающие экологическую безопасность: Автореф. дис. ... д-ра техн. наук. СПб.: СПбГАУ, 2017. 49 с.
12. ГОСТ 53765-2009 “Помет птицы. Сырье для производства органических удобрений. Технические условия”.
13. *Сычев В.Г.* Экология применения органических удобрений. М.: ВНИИА, 2017. 336 с.
14. Производство, изучение и применение удобрений на основе птичьего помета / Под ред. А.И. Иванова, В.В. Лапы. СПб.: АФИ, 2018. 317 с.
15. *Фрейдкин И.А.* Агроэкологическая оценка эффективности применения нового органо-минерально-

- го удобрения в условиях Северо-Запада РФ: Дис. ... канд. с.-х. наук. СПб.: АФИ, 2017. 144 с.
16. *Иванов А.И., Иванова Ж.А., Фрейдкин И.А., Соколов И.В.* Изменение агрохимических свойств деградированной дерново-подзолистой почвы при внесении нового органо-минерального удобрения // *Агрохимия*. 2019. № 3. С. 30–36.
 17. *Фрид А.С.* Зонально-провинциальные нормативы изменений агрохимических, физико-химических и физических показателей основных пахотных почв европейской территории России при антропогенных воздействиях. Метод. рекоменд. М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 2010. 176 с.
 18. *Попов П.Д., Жуков А.И., Лукин С.М., Мосалева В.В.* Расчет баланса гумуса и потребности в органических удобрениях: Метод. рекоменд. Владимир, 1986. 17 с.
 19. *Иванов А.И., Ильющенко В.В.* Фосфатный режим хорошо окультуренных дерново-подзолистых почв Северо-Запада России и его трансформация в современных условиях // *Докл. РАСХН*. 2000. № 2. С. 23–25.
 20. *Сычев В.Г.* Возможности совершенствования градиции содержания доступного калия // *Агрохим. вестн.* 2000. № 5. С. 30–34.
 21. *Никитина Л.В., Володарская И.В.* Динамика обменного калия и его минимальные уровни в агроценозах на дерново-подзолистых почвах // *Агрохимия*. 2007. № 2. С. 14–18.

Agroecological Evaluation of Organic-Mineral Fertilizer for One Rotation of a Field Crop Rotation in Degraded Sod-Podzolics Soil

A. I. Ivanov^{a, #} and Zh. A. Ivanova^a

^a *Agrophysical Research Institute, Grazhdansky prosp. 14, St. Petersburg 195220, Russia*

[#] *E-mail: office@agrophis.ru*

In a long-term field experiment (2012–2018), the influence of a new organo-mineral fertilizer (OMF) in average annual doses from 1.6 to 3.9 t/ha on the agrochemical properties of degraded cultivated sod-podzolic soil and the productivity of a 7-field crop rotation was studied. The most significant positive changes occurred with the acid-base and phosphate state of the soil. With the introduction of OMF 1 t/ha, the increase in indicators was: pH_{KCl} – on 0.041 units, S – on 0.068 cmol(eq)/kg, V – 1.2%, $P_2O_{5mobile}$ – 4 mg/kg. Against the background of medium and high doses of OMF, the content of humus (by 0.27%) and mobile potassium (by 39 mg/kg) increased. The improvement of soil properties and regimes resulted in an increase in the productivity of field crop rotation by an average of 53% (from 2.51 to 3.84 f.u./m²), and when combined with full mineral fertilizer – by 102%, reaching 5.08 f.u./m². The variability of crop productivity and crop rotation over the years decreased by an average of 1.2–1.4 and 1.7–3.0 times, respectively. When using small and medium doses, the doping of OMF with potassium (K_2SO_4) at the rate of 10 kg K_2O /t was effective.

Key words: degraded sod-podzolic soil, agrochemical properties, crop rotation, productivity, organo-mineral fertilizer (OMF), dose, balance, fertilizer efficiency.