

УДК 631.51(450)

ВЛИЯНИЕ ВИДА ПАРА, СОЛОМЫ И СИСТЕМ ОБРАБОТКИ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЫ НА ЕЕ АГРОХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

© 2020 г. Н. А. Пегова

Удмуртский федеральный исследовательский центр УрО РАН, структурное подразделение –
Удмуртский научно-исследовательский институт сельского хозяйства
427007 с. Первомайский, Завьяловский р-н, ул. Ленина, 1, Удмуртская республика, Россия

E-mail: ugniish-nauka@yandex.ru

Поступила в редакцию 04.06.2019 г.

После доработки 06.08.2019 г.

Принята к публикации 13.01.2020 г.

В многолетнем стационарном полевом опыте по изучению систем зяблевой обработки почвы (отвальной, комбинированной, безотвальной), видов пара (чистый пар, чистый пар с внесением навоза, сидеральные горчишный и клеверный) и внесения соломы в начале 2-й ротации севооборота (пары – озимая рожь – яровая пшеница – клевер – озимая рожь – яровая пшеница – овес) проведено агрохимическое исследование пахотного слоя с целью выявить влияние длительного применения систем зяблевой обработки почвы (2006–2018 гг.) и биоресурсов на ее агрохимические свойства. Безотвальная система обработки почвы обеспечила условия для большего накопления обменного калия в пахотном слое, чем отвальная. В слое 0–10 см калия содержалось 158 мг/кг, подвижного – 1.55 мг/100 г, при отвальной обработке – 138 и 1.24 соответственно, при одинаковом содержании подвижных форм калия в слое 10–20 см. Агрохимические показатели при комбинированной системе обработки почвы были на уровне отвальной. В вариантах с сидеральными парами, в сравнении с чистым, с изменением показателей кислотности в сторону понижения уменьшалось содержание P_2O_5 , K_2O , их подвижность, а также содержание $N-NH_4$ и Mg , но увеличилось содержание $N-NO_3$, Ca и Al . Внесение навоза КРС 60 т/га обеспечило наиболее значительное улучшение агрохимических свойств пахотного слоя. На 3-й год после внесения соломы озимой ржи (4 т/га) отмечено увеличение содержания аммонийного азота (2.31–2.72 мг/100 г), снижение содержания обменного магния (2.43–2.91 мг-экв/100 г), в вариантах без соломы соответственно – 1.84–2.05 мг/100 г и 3.63–3.73 мг-экв/100 г. Использование биоресурсов в любом сочетании понизило H_T с 5.27 до 2.59–4.68 ммоль/100 г, показатель $pH_{КС}$ увеличился с 5.08 до 5.31–5.91, $S_{осн}$ возросла с 9.1 до 10.1–12.6 ммоль/100 г.

Ключевые слова: виды пара, солома, системы обработки почвы, дерново-подзолистая почва, агрохимические свойства.

DOI: 10.31857/S0002188120040109

ВВЕДЕНИЕ

Среди видов работ в земледелии механическая обработка почвы оказывает многостороннее влияние на многие свойства почвы. Это влияние многократно усиливается при длительном применении той или иной системы обработки почвы. Знание закономерностей изменения почвенного плодородия при разработке ресурсосберегающих технологий производства зерна в сравнении с отвальной системой обработки почвы имеет актуальное и приоритетное значение [1, 2].

Необходимым условием поддержания и повышения почвенного плодородия пахотных почв является внесение в почву органических удобрений,

сидерация, возврат в почву побочной продукции урожая и других источников органического вещества. Общеизвестно, что внесение навоза обеспечивает существенное повышение содержания органического вещества в почве. Клевер оставляет в почве значительное количество биологического азота. В исследованиях [3] внесение навоза, посев многолетних бобовых культур способствовали улучшению комплекса агрохимических показателей почвы и повышению продуктивности севооборота. Горчица белая в качестве сидерального пара относится к легко мобилизуемым микроорганизмам и органическим веществам, поэтому ее роль в регулирова-

нии биологической активности почвы весьма значительна [4, 5]. Солома зерновых культур с высоким содержанием углерода является ценным материалом для синтеза органического вещества почвы. Однако непосредственная заделка соломы оказывает депрессирующее влияние как на почву, так и на возделываемые культуры, зачастую снижая их урожайность из-за образования токсичных и кислых продуктов разложения органического вещества, а также иммобилизации минерального азота почвы [6]. Ученые Марийского НИИСХ подтверждают целесообразность использования клевера, сидератов и соломы в качестве наиболее экономичных источников органического вещества [7].

Поступление растительных остатков в почву служит важным фактором увеличения биологической активности почвы, накопления микробной массы, что предохраняет элементы питания растений от вымывания, снижает загрязнение грунтовых вод и окружающей среды. Поступая в почвенный раствор в процессе медленного и непрерывного разложения органической массы в течение летнего периода, питательные элементы не накапливаются в избыточных количествах, способствуют экономному расходованию и сохранению почвенного плодородия [8]. Направленность трансформации органического вещества в почве зависит от многих факторов, в том числе и от обработки почвы [9, 10]. Изменение агрохимических показателей почвы в зависимости от системы обработки почвы и вносимых органических удобрений позволяют оценить степень их воздействия на почвенное плодородие.

Цель работы – выявить влияние длительного применения систем обработки почвы (отвальной, комбинированной, безотвальной), вида пара (чистого, чистого с внесением навоза, сидерального горчицевого и сидерального клеверного), а также соломы озимой ржи на агрохимические свойства пахотного слоя почвы.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование проводили в стационарном полевом опыте в начале 2-й ротации севооборота: пары (2014 г.) – озимая рожь (2015 г.) – яровая пшеница с подсевом клевера (2016 г.) – клевер 1 года пользования (г.п.) (2017 г.) – озимая рожь (2018 г.) – ячмень – овес. Почвенные пробы отбирали осенью после посева озимой ржи в 2014 г. и после ее уборки в 2015 и 2018 гг. Схема опыта включала 3 системы основной обработки почвы (фактор *A*): 1 – отвальная (**О**) – ежегодная вспашка на 20 см (контроль); 2 – комбинированная (**К**) –

вспашка для заделки дернины клевера на 20 см в 2009 г., вспашка в пару под озимую рожь в 2014 г., вспашка дернины клевера в 2017 г., безотвальные обработки на 12–16 см под остальные культуры севооборота; 3 – безотвальная (**Б**) – ежегодная безотвальная обработка на 12–16 см. Варианты обработки почвы расщеплены видами паров (2014 г.) и внесением соломы озимой ржи в объеме урожая (4 т/га) в 2015 г. при уборке зерновым комбайном с измельчителем соломы (фактор *B*): 1 – чистый пар без органических удобрений (контроль); 2 – чистый пар + солома (**С**); 3 – чистый пар с внесением навоза КРС 60 т/га (**Нав**); 4 – чистый пар с внесением навоза КРС 60 т/га + солома (**Нав+С**); 3 – сидеральный пар (зеленая масса горчицы белой 12.5 т/га) + солома (**Г+С**); 4 – сидеральный пар (зеленая масса клевера 1 г.п. 13.0 т/га) + солома (**Кл+С**). Для ускорения разложения соломы осенью в 2015 г. был внесен азот из расчета 10 кг/т соломы. Навоз, биомасса горчицы и клевера в паровом поле были заделаны в почву в соответствии со схемой опыта в вариантах фактора *A* с предварительной дискацией в 2 следа за 1 мес. до посева озимой ржи. Вариант сидерального клеверного пара был заложен по завершении 1-й ротации в 2013 г., когда был проведен уравнильный посев яровой пшеницы на всем опытном участке с подсевом клевера в вариантах, где по схеме опыта должен быть сидеральный клеверный пар в 2014 г. Повторность опыта четырехкратная, площадь делянки 130 м².

Почва опытного участка – агродерново-подзолистая слабосмытая среднесуглинистая на покровных глинах и тяжелых суглинках. В пахотном слое на начало закладки опыта (2006 г.) содержалось гумуса 1.85%, подвижного фосфора – 316–317 мг/кг, обменного калия – 115–119 мг/кг, сумма поглощенных оснований ($S_{осн}$) составляла 16.5–17.4 ммоль/100 г почвы, гидролитическая кислотность (H_t) – 1.77–1.78 ммоль/100 г почвы, pH_{KCl} 5.7–5.8, степень подвижности фосфора и калия соответственно – 0.52–0.54 и 2.80–3.25 мг/100 г почвы.

Почвенные образцы отобраны по ГОСТ 17.4.3.01-83 и проанализированы в лаборатории биохимического анализа Удмуртского НИИСХ общепринятыми методами: подвижный фосфор и обменный калий – по Кирсанову в модификации ЦИНАО – (ГОСТ 26207-91); степень подвижности фосфора в 0.03 н. K_2SO_4 , степень подвижности калия – в 0.05 н. $CaCl_2$; pH_{KCl} – потенциометрическим методом (ГОСТ 26483-85), гидролитическая кислотность – по Каппену (ГОСТ 26212-91), сумма поглощенных оснований –

Таблица 1. Агрохимические показатели пахотного слоя (0–20 см) в зависимости от системы обработки почвы и вида пара (2014 г.)

Обработка почвы (фактор А)	Вид пара и биоресурсы (фактор В)	P ₂ O ₅	K ₂ O	Степень подвижности		Са	Mg	S _{осн}	H _Г	рН _{KCl}
				P ₂ O ₅	K ₂ O					
		мг/кг		мг/100 г		мг-экв/100 г		ммоль/100 г		ед.
О	Чистый пар (контроль)	343	117	0.44	1.40	11.4	4.01	11.7	3.43	5.27
	Чистый пар + Нав	337	168	0.66	2.18	12.8	4.76	13.1	3.43	5.63
	Сидеральный пар (Г)	342	137	0.48	1.53	11.9	3.82	12.6	2.76	5.60
	Сидеральный пар (Кл)	302	121	0.44	1.29	12.5	3.28	12.8	2.75	5.65
Средние (О)		341	136	0.51	1.60	12.1	3.97	12.6	3.09	5.54
К	Чистый пар (контроль)	336	111	0.42	1.19	11.5	4.34	12.4	3.20	5.50
	Чистый пар + Нав	357	172	0.62	2.05	13.0	4.38	13.4	3.19	5.79
	Сидеральный пар (Г)	304	131	0.49	1.48	11.9	3.11	12.4	2.81	5.54
	Сидеральный пар (Кл)	310	125	0.43	1.13	12.1	3.80	12.7	2.80	5.65
Средние (К)		326	135	0.49	1.46	12.1	3.91	12.7	3.00	5.62
Б	Чистый пар (контроль)	315	105	0.43	1.23	11.8	3.20	12.2	3.44	5.59
	Чистый пар + Нав	333	181	0.64	2.11	12.1	3.48	12.0	3.64	5.58
	Сидеральный пар (Г)	305	138	0.50	1.51	12.2	3.44	12.0	3.13	5.59
	Сидеральный пар (Кл)	326	135	0.43	1.41	12.8	3.43	13.9	3.10	5.66
Средние (Б)		320	140	0.50	1.56	12.2	3.39	12.5	3.33	5.60
Средние (чистый пар, контроль)		331	111	0.43	1.27	11.6	3.85	12.1	3.36	5.45
Средние (чистый пар + Нав)		356	174	0.64	2.11	12.6	4.21	12.9	3.42	5.66
Средние (сидеральный пар Г)		317	136	0.49	1.51	12.0	3.46	12.3	2.90	5.58
Средние (сидеральный пар Кл)		313	127	0.44	1.28	12.5	3.50	13.1	2.88	5.65
HCP ₀₅ (А)		F _f < F _t	F _f < F _t	F _f < F _t	0.10	F _f < F _t	0.64	F _f < F _t	0.24	F _f < F _t
HCP ₀₅ (В)		F _f < F _t	15	0.08	0.23	0.79	0.56	0.66	0.21	0.16
HCP ₀₅ (АВ)		F _f < F _t	27	0.15	0.41	F _f < F _t	1.12	1.15	0.44	F _f < F _t

Примечание. О – отвальная, К – комбинированная, Б – безотвальная обработка; солома – С, навоз – Нав, горчица белая – Г, клевер – Кл. То же в табл. 2–5.

по Каппену–Гильковицу (ГОСТ 27821-88); обменный кальций и обменный магний (Са и Mg) – в 0.1 н. NaCl (ГОСТ 26487-85); обменная кислотность и подвижный алюминий – по Соколову; нитратный азот (N-NO₃) – ионометрическим методом (ГОСТ 26489-85); аммиачный азот (N-NH₄) – с реактивом Несслера (ГОСТ 24689-85).

Статистическую обработку результатов исследования проводили методом дисперсионного и корреляционного анализов, с использованием программы STRAZ.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В наших исследованиях длительное проведение безотвальной зяблевой обработки почвы (2006–2013 гг.) в сравнении с отвальной и комбинированной существенно не изменило агрохими-

ческие свойства пахотного слоя 0–20 см, но в среднем в опыте на начало 2-й ротации (2014 г.) способствовало увеличению гидролитической кислотности до 3.33 ммоль/100 г. При отвальной обработке она составила 3.09, комбинированной – 3.00 ммоль/100 г при HCP₀₅ = 0.24. При безотвальной обработке отмечена тенденция к снижению содержания обменного магния до 3.39 мг-экв/100 г (при отвальной обработке – 3.97, комбинированной – 3.91 мг-экв/100 г) (табл. 1).

Отсутствие механической обработки почвы в течение одного года (период вегетации озимой ржи) привело к дифференциации пахотного слоя по содержанию основных элементов питания. В вариантах с безотвальной и комбинированной обработками, где растительные остатки располагались преимущественно в верхней части пахотного слоя, содержание подвижного фосфора в

Таблица 2. Агрохимические показатели пахотного слоя почвы (0–10 и 10–20 см) в зависимости от системы обработки почвы и вида пара (2015 г.)

Обработка почвы (А)	Вид пара и биоресурсы (В)	P ₂ O ₅		K ₂ O		Степень подвижности					
		мг/кг почвы				P ₂ O ₅		K ₂ O			
		слой почвы, см								мг/100 г	
		0–10	10–20	0–10	10–20	0–10	10–20	0–10	10–20		
О	Чистый пар (контроль)	386	381	147	107	0.58	0.62	1.79	1.37		
	Чистый пар + Нав	355	357	198	156	0.66	0.66	2.42	2.73		
	Сидеральный пар (Г)	345	330	156	113	0.56	0.54	1.93	1.17		
	Сидеральный пар (Кл)	269	275	146	94	0.40	0.38	1.82	1.14		
Средние (О)		339	336	162	117	0.56	0.56	1.99	1.60		
К	Чистый пар	343	354	130	95	0.54	0.55	1.60	1.31		
	Чистый пар + Нав	332	350	179	159	0.66	0.72	2.41	2.22		
	Сидеральный пар (Г)	328	337	148	101	0.56	0.54	1.89	1.33		
	Сидеральный пар (Кл)	269	285	129	99	0.42	0.41	1.76	1.08		
Средние (К)		318	332	147	114	0.55	0.55	1.92	1.49		
Б	Чистый пар	337	348	162	89	0.58	0.49	1.94	1.17		
	Чистый пар + Нав	305	303	189	122	0.73	0.55	2.14	1.83		
	Сидеральный пар (Г)	322	318	154	89	0.52	0.45	2.08	1.12		
	Сидеральный пар (Кл)	306	326	163	92	0.44	0.38	2.26	1.02		
Средние (Б)		317	327	167	98	0.57	0.47	2.10	1.28		
Средние чистый пар (контроль)		355	361	147	97	0.57	0.55	1.78	1.28		
Средние чистый пар + Нав		331	337	189	146	0.69	0.65	2.32	2.26		
Средние сидеральный пар (Г)		332	328	153	101	0.55	0.51	1.97	1.20		
Средние сидеральный пар (Кл)		281	295	146	95	0.42	0.39	1.95	1.08		
HCP ₀₅ (А)		19	$F_f < F_t$	$F_f < F_t$	19	$F_f < F_t$	0.07	$F_f < F_t$	0.36		
HCP ₀₅ (В)		44	51	19	19	0.11	0.10	0.26	0.42		
HCP ₀₅ (АВ)		74	85	32	33	0.17	0.18	0.44	0.71		

слое 0–10 см было меньше – 317 и 318 мг/кг, чем при отвальной обработке – 339 мг/кг почвы. В нижней части пахотного слоя (10–20 см) при одинаковом содержании подвижного фосфора (327–337 мг/кг), его подвижность при безотвальной обработке была меньше – 0.47 мг/100 г, чем при отвальной и комбинированной – 0.55–0.56 мг/100 г почвы (табл. 2, рис. 1). Таким образом, концентрация легкогидролизуемого органического вещества в слое 0–10 см почвы снижала содержание подвижных форм фосфора. Во время разложения растительных остатков в этом слое почвы происходит увеличение популяции микроорганизмов и, следовательно, возрастает также потребность в фосфоре. По мнению [11], в разлагаемом органическом веществе критическое содержание фосфора составляет ≈0.2%; при его концентрации выше и ниже будет происходить соответственно

чистая минерализация или иммобилизация. Предположили, что в данном случае происходила биологическая аккумуляция подвижного фосфора почвенными микроорганизмами. После уборки 4-й культуры севооборота в 2018 г. снижение содержания подвижного фосфора до 238 мг/кг и его подвижности до 0.56 мг/100 г в сравнении с отвальной и комбинированной обработками (246–256 мг/кг и 0.60–0.67 мг/100 г при HCP₀₅ = 14 мг/кг и 0.04 мг/100 г) отмечено при безотвальной обработке только в слое 10–20 см (табл. 3).

Дифференциация пахотного слоя по содержанию обменного калия и степени его подвижности, независимо от примененной системы обработки почвы, была обусловлена большей подвижностью его соединений в почве. Содержание обменного калия в вариантах опыта тесно коррелировало со степенью его подвижности, $r = 0.857$.

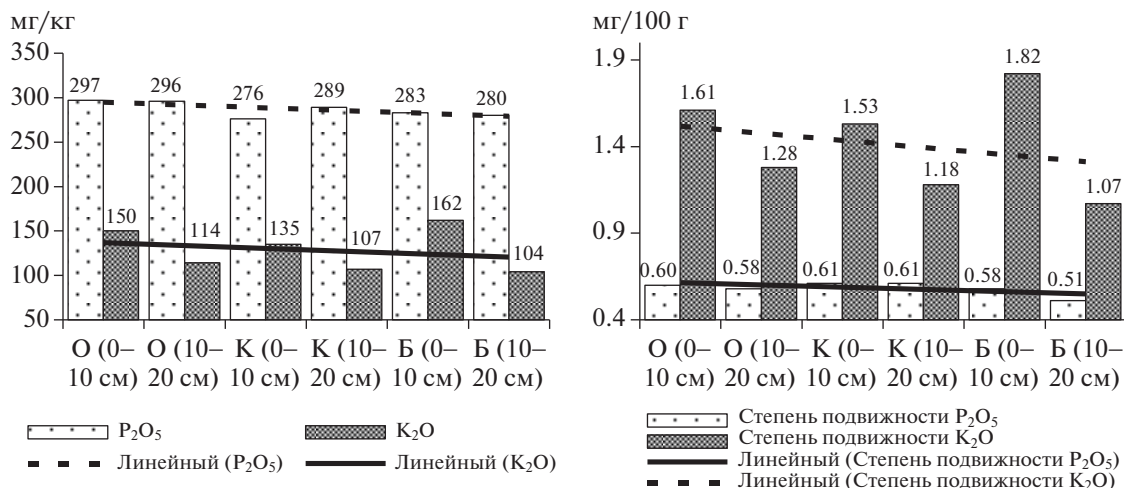


Рис. 1. Содержание подвижных форм фосфора и калия в пахотном слое в зависимости от системы обработки почвы (средние за 2015 и 2018 гг.).

В среднем в вариантах обработки почвы в 2015 г. в слое 0–10 см обменного калия содержалось 147–167, в слое 10–20 см – 98–117 мг/кг, его подвижность соответственно – 1.92–2.10 и 1.28–1.60 мг/100 г почвы. Наибольшая разница между слоями почвы по содержанию подвижных форм калия отмечена на фоне безотвальной системы обработки почвы (табл. 2). Аналогичное распределение подвижных форм калия по профилю пахотного слоя отмечено в 2018 г. (табл. 3). Снижение подвижности фосфора и калия в слое 10–20 см в варианте с безотвальной системой обработки почвы в сравнении с отвальной было связано с естественным процессом почвообразования в условиях промывного режима в отсутствие оборота пласта. При безотвальной обработке затруднено поступление органического вещества в нижнюю часть пахотного слоя, происходит естественное его уплотнение, создаются анаэробные условия для физико-химико-биологических процессов. В 2015 г. в варианте с безотвальной обработкой плотность слоя 10–20 см почвы составила 1.29 г/см³. На фоне отвальной обработки, при ежегодном обороте верхнего и нижнего слоев, плотность этого слоя составила 1.26 г/см³. В наших исследованиях плотность почвы отрицательно коррелировала со степенью подвижности фосфора, $r = -0.445$, со степенью подвижности калия – $r = -0.489$.

Величины содержания подвижных элементов питания в пахотном слое почвы в зависимости от системы обработки почвы в среднем за 2015 и 2018 гг. показали тенденцию к снижению содержания подвижного фосфора при комбинированной и безотвальной системах обработки почвы, степени подвижности фосфора при безотвальной

обработке, содержания обменного калия и степени его подвижности в слое 10–20 см при комбинированной и безотвальной системах обработки, но увеличение его содержания и степени подвижности в слое 0–10 см (рис. 1). Физико-химические свойства пахотного слоя ($S_{очн}$, H_r , pH_{KCl} , Ca, Mg) в зависимости от изученных систем обработки почвы существенных различий в 2015 и в 2018 гг. не имели. Изменения этих показателей представлены на рис. 2, в табл. 4, 5.

Таким образом, установлено, что длительная безотвальная основная обработка почвы в сравнении с отвальной в слое 0–10 см способствовала увеличению содержания обменного калия, его подвижности, но снижала содержание подвижного фосфора. Нижняя прослойка пахотного слоя (10–20 см), при безотвальной обработке, на оборот, обеднялась элементами питания, снижались содержание подвижного фосфора, обменного калия, их подвижность.

Внесение навоза и использование сидеральных (горчичного и клеверного) паров существенно повлияло на агрохимические свойства пахотного слоя почвы. От внесения навоза, независимо от системы обработки почвы, в 2014 г. возросло содержание основных элементов питания, но статистически доказуемым это увеличение было только для калия – 174 мг/кг. Показатель подвижности калия и фосфора в варианте с навозом имел наибольшие величины – 1.64 и 2.11 мг/100 г, показатель обменной кислотности pH_{KCl} был равен 5.66. В варианте с навозом отмечено наибольшее содержание обменного кальция – 12.6 и обменного магния – 4.21 мг-экв/100 г. Соответственно возросла и сумма поглощенных оснований до 12.9 ммоль/100 г (табл. 1). Положительное влияние

Таблица 3. Агрохимические показатели пахотного слоя почвы в зависимости от системы обработки почвы, вида пара и внесения соломы озимой ржи (С) (2018 г.)

Обработка почвы (А)	Вид пара и биоресурсы (В)	P ₂ O ₅		K ₂ O		Степень подвижности					
		мг/кг почвы				P ₂ O ₅ ,		K ₂ O			
										мг/100 г	
		слой почвы, см									
		0–10	10–20	0–10	10–20	0–10	10–20	0–10	10–20		
О	Чистый пар (контроль)	236	286	140	113	0.72	0.70	1.31	0.82		
	Чистый пар + С	277	266	107	89	0.60	0.58	0.78	0.60		
	Чистый пар + Нав	277	306	141	119	0.60	0.56	1.24	0.94		
	Чистый пар + Нав + С	252	196	185	148	0.80	0.68	1.83	1.40		
	Сидеральный пар (Г) + С	278	226	165	129	0.60	0.56	1.71	1.36		
	Сидеральный пар (Кл) + С	227	234	113	87	0.51	0.50	1.19	0.88		
Средние (О)		258	256	138	111	0.64	0.60	1.24	0.96		
К	Чистый пар (контроль)	227	243	85	94	0.54	0.56	0.69	0.94		
	Чистый пар + С	267	295	98	84	0.65	0.68	0.78	0.72		
	Чистый пар + Нав	205	199	147	111	0.77	0.74	1.38	0.86		
	Чистый пар + Нав + С	224	258	165	124	0.88	0.88	1.57	1.10		
	Сидеральный пар (Г) + С	242	242	142	113	0.66	0.65	1.40	1.06		
	Сидеральный пар (Кл) + С	230	227	122	98	0.51	0.51	1.13	1.04		
Средние (К)		234	246	123	100	0.67	0.67	1.15	0.88		
Б	Чистый пар (контроль)	255	245	129	81	0.45	0.45	1.25	0.66		
	Чистый пар + С	264	236	165	132	0.63	0.65	1.57	1.00		
	Чистый пар + Нав	252	218	185	120	0.76	0.68	1.86	1.00		
	Чистый пар + Нав + С	268	261	176	114	0.62	0.59	1.84	0.94		
	Сидеральный пар (Г) + С	237	237	160	99	0.46	0.38	1.63	0.90		
	Сидеральный пар (Кл) + С	215	234	152	111	0.53	0.50	1.19	0.94		
Средние (Б)		250	238	158	111	0.59	0.56	1.55	0.87		
Средние чистый пар (контроль)		239	258	118	96	0.57	0.57	1.08	0.81		
Средние чистый пар + С		269	266	123	102	0.63	0.64	1.04	0.77		
Средние чистый пар + Нав		245	241	158	117	0.71	0.66	1.49	0.93		
Средние чистый пар + Нав + С		248	238	175	129	0.77	0.72	1.75	1.15		
Средние сидеральный пар (Г) + С		252	235	156	114	0.57	0.53	1.44	0.96		
Средние сидеральный пар (Кл) + С		224	232	129	99	0.52	0.50	1.08	0.80		
HCP ₀₅ (А)		15	14	10	$F_t < F_t$	0.05	0.04	0.17	0.04		
HCP ₀₅ (В)		27	23	13	13	0.07	0.06	0.18	0.14		

навоза на агрохимические свойства пахотного слоя почвы сохранилось в 2015 и 2018 гг. (табл. 2–5).

Внесение в пару зеленого удобрения (горчица, клевер) иначе, чем навоз, повлияло на агрохимические показатели пахотного слоя. В сидеральных парах (2014 г.) наблюдали увеличение содержания обменного калия на 22.5 и 14.7% (136 и 127 мг/кг), в сравнении с чистым паром (111 мг/кг), после сидерального горчицевого пара возросла его подвижность до 1.51 мг/100 г. В чистом пару она составила

1.27 мг/100 г. Можно отметить тенденцию к снижению содержания подвижного фосфора в вариантах с сидеральными парами до 317–313 мг/кг, после чистого и унавоженного паров фосфора содержалось 331 и 356 мг/кг (табл. 1). Через год после уборки озимой ржи содержание обменного калия в вариантах с сидеральными горчицевым и клеверным парами, а также его подвижность были на уровне контрольного варианта с чистым паром. Сохранилось снижение содержания подвижного

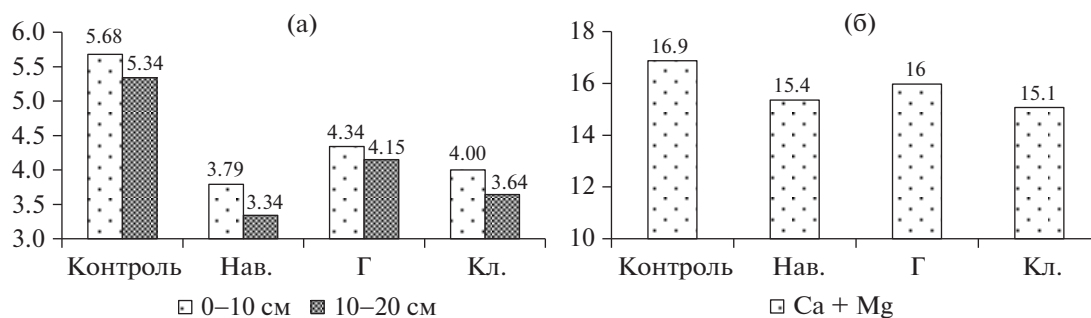


Рис. 2. Содержание Mg в пахотном слое 0–20 см почвы (а), суммарное содержание Ca и Mg (б) в зависимости от вида пара (2015 г.), мг-экв/100 г.

фосфора в варианте с сидеральным клеверным паром в сравнении с чистым, на 74 мг/кг в слое 0–10 см (281 мг/кг) и на 66 мг/кг в слое 10–20 см (295 мг/кг) при $HCP_{05} = 44$ и 51 мг/кг. Соответственно и подвижность фосфора в варианте с сидеральным клеверным паром была наименьшей – 0.42 и 0.39 мг/100 г. В варианте с чистым паром степень подвижности фосфора составила 0.57 и 0.55 мг/100 г (табл. 2). В 2018 г. в среднем в опыте сохранилась тенденция к снижению содержания подвижного фосфора в варианте с сидеральным клеверным паром. В слое 0–10 см фосфора содержалось 224 мг/кг (в других вариантах – 239–269 мг/кг), в слое 10–20 см – 232 мг/кг (238–266 мг/кг) соответственно. Подвижность фосфора в этом варианте также была наименьшей в опыте (табл. 3). Таким образом, существенное снижение содержания подвижного фосфора в пахотном слое почвы от внесения зеленой массы клевера 13 т/га подтвердило сделанное выше предположение о биологической аккумуляции фосфора почвы. Данный вывод не противоречит результатам исследований [12], где отмечено, что совместное внесение органических и минеральных удобрений способствовало снижению доли минеральных фосфатов. В представленном исследовании в 1-й ротации также отмечали сниже-

ние содержания подвижного фосфора в вариантах с внесением соломы озимой ржи [13]. На нарушение сложившегося равновесия между органическими и минеральными формами азота при внесении большого количества органического вещества в почву указано в работе [14]. Известно, что органический фосфор не усваивается растениями. Питание растений происходит за счет минеральных соединений фосфора, а органический фосфор принимает в нем участие по мере минерализации, являясь запасным материалом [15].

Виды пара (чистый, унавоженный, сидеральные) в опыте оказали существенное влияние на физико-химические свойства пахотного слоя почвы. В вариантах с сидеральными горчицей и клеверным парами в год внесения биоресурсов гидролитическая кислотность почвы была существенно меньше (2.90 и 2.88 ммоль/100 г) в сравнении с чистым и унавоженным парами (3.36 и 3.42 ммоль/100 г) при $HCP_{05} = 0.21$ ммоль/100 г (табл. 1). В 2015 г. этот показатель существенно понизился, не зависел от вида пара и составил в слое 0–20 см почвы 1.51–1.88 ммоль/100 г почвы (табл. 5). В 2018 г. в вариантах с любым сочетанием биоресурсов этот показатель был меньше на 15.6–50.8%, чем в контрольном варианте без биоресурсов (5.27 ммоль/100 г). Показатель обмен-

Таблица 4. Влияние вида пара на агрохимические свойства пахотного слоя 0–20 см (2015 г.)

Обработка почвы (А)	Виды паров (В)	Подвижность		P ₂ O ₅	K ₂ O	N-NO ₃	N-NH ₄	H _г	H _{обм}	pH _{KCl}	Ca	Mg	Al
		P ₂ O ₅	K ₂ O										
		мг/100 г		мг/кг			мг/100 г	ммоль/100 г	ед.	мг-экв/100 г	мг/100 г		
О	Чистый	0.64	2.07	370	152	4.17	2.37	1.85	0.031	5.45	11.6	4.46	0.10
	Сидеральный	0.47	1.51	305	127	4.69	2.26	1.72	0.030	5.47	11.7	4.17	0.11
К	Чистый	0.62	1.89	345	141	4.11	2.32	1.83	0.033	5.45	11.7	4.83	0.09
	Сидеральный	0.48	1.51	305	119	4.54	2.31	1.62	0.029	5.51	11.8	3.92	0.12
Б	Чистый	0.58	1.77	323	141	4.56	2.33	1.75	0.035	5.44	11.5	4.32	0.08
	Сидеральный	0.45	1.62	318	124	5.93	2.28	1.67	0.029	5.53	11.75	4.00	0.11

Таблица 5. Физико-химические свойства пахотного слоя 0–20 см почвы в зависимости от вида пара и внесения соломы озимой ржи (2018 г.)

Вид пара и биоресурсы	N-NH ₄	S _{осн}	H _г	pH _{KCl}	Ca	Mg
	мг/100 г	ммоль/100 г			мг-экв/100 г	
Чистый (контроль)	1.84	9.1	5.27	5.08	11.9	3.73
Чистый + С	2.72	12.6	2.59	5.91	11.7	2.91
Чистый + Нав	2.05	10.2	4.12	5.42	13.7	3.63
Чистый + Нав + С	2.53	10.3	4.44	5.41	12.5	2.47
Сидеральный (Г) + С	2.32	10.1	4.09	5.31	11.0	2.43
Сидеральный (Кл) + С	2.31	11.1	4.68	5.42	10.9	2.52
HCP ₀₅	0.33	1.0	0.57	0.10	0.7	0.80

ной кислотности pH_{KCl} соответственно был выше – 5.31–5.91 против 5.08 в контроле без удобрений. Корреляционная связь между этими показателями была сильной и обратной, $r = -0.84$. В слоях 0–10 и 10–20 см не выявлено существенной разницы показателей кислотности. Таким образом, установлено, что при внесении в почву свежего органического вещества гидролитическая кислотность снижалась независимо от системы обработки почвы.

Содержание обменных оснований кальция и магния в пахотном слое почвы также подверглось существенному изменению при внесении биоресурсов. В паровом поле отмечено существенное увеличение содержания обменного кальция в вариантах с внесением навоза – до 12.6 мг-экв/100 г и биомассы клевера – до 12.5 мг-экв/100 г в сравнении с чистым и сидеральным горчицным парами (11.6 и 12.0 мг-экв/100 г) при HCP₀₅ = 0.8 (табл. 1). В 2015 и в 2018 гг. повышенное содержание кальция отмечено только в вариантах с внесением навоза. В вариантах с сидеральными парами и последующим внесением соломы содержание кальция было наименьшим в опыте – 11.0 мг-экв/100 г, в контроле – 11.9 мг-экв/100 г при HCP₀₅ = 0.7.

Обменный магний оказался более подверженным влиянию внесения свежего органического вещества в почву. В сидеральных парах в 2014 г. обменного магния было меньше (3.46 и 3.50 мг-экв/100 г) в сравнении с чистым и унавоженным парами (3.85 и 4.21 мг-экв/100 г). В 2015 г. в вариантах с внесением органических удобрений в пару: навоза 60 т/га, зеленой массы горчицы 12.5 т/га, клевера 13.0 т/га, отмечено существенное снижение содержания обменного магния в пахотном слое почвы в сравнении с чистым паром, как в верхней (3.79–4.34 мг-экв/100 г), так и в нижней (3.34–4.15 мг-экв/100 г) прослойке пахотного горизонта. В контроле без удобрений его содержание составило 5.68 и 5.34 мг-экв/100 г при HCP₀₅ = 0.82 (рис. 2). Очевидно, это было связано

с биологической аккумуляцией этого элемента в почве при внесении большого количества легкогидролизуемого органического вещества. Суммарное содержание обменных кальция и магния также было меньше в вариантах с внесением органических удобрений (рис. 3). В исследовании [16] показано, что в сидеральных парах, как правило, снижалось содержание обменного магния в сравнении с контролем (черным паром).

По данным агрохимического анализа 2015 г., внесение навоза за счет поступления в почву несвойственных ей, активных штаммов микроорганизмов и сидеральные пары за счет внесения большого количества легкогидролизуемого органического вещества и существенного изменения микробного пула почвы оказали разнонаправленное влияние на агрохимические свойства пахотного слоя почвы. В среднем в опыте в вариантах с сидеральными парами (горчицным и клеверным) в сравнении с чистым и унавоженным, независимо от системы обработки почвы, с последовательным изменением показателей кислотности почвы в сторону понижения, уменьшились: содержание в пахотном слое подвижного фосфора, обменного калия, степень подвижности фосфора и калия, содержание аммонийного азота, а также обменного магния. Содержание обменного кальция, подвижного алюминия и нитратного азота, наоборот, увеличивалось в вариантах с сидеральными парами в сравнении с чистыми (табл. 4).

Ввиду особенностей химического состава, солома, внесенная в 2015 г. в разных сочетаниях с биоресурсами, внесенными в пару (навозом, биомассой горчицы и клевера) оказала существенное влияние на химические и физико-химические свойства пахотного слоя почвы в 2018 г. (табл. 3, 5). В среднем в опыте сочетание сидерального клеверного пара с последующим внесением соломы озимой ржи не обеспечило повышения содержания подвижного фосфора и обменного калия в

пахотном слое в сравнении с контролем без удобрений. На фоне внесения соломы сохранилась тенденция к снижению содержания подвижного фосфора и степени его подвижности в варианте с сидеральным клеверным паром. При этом, в варианте, где солома была внесена в сочетании с чистым паром, содержание подвижного фосфора было наибольшим: в слое 0–10 см – 269, в слое 10–20 см – 266 мг/кг, содержание обменного калия – на уровне чистого пара без удобрений. В вариантах с внесением соломы существенно возросло содержание аммонийного азота и снизилось содержание обменного магния. Содержание аммонийного азота в пахотном слое составило 2.31–2.72 мг/100 г, в вариантах с чистым и унавоженным парами без дополнительного внесения соломы – 1.84 и 2.05 мг/100 г ($HCP_{05} = 0.33$). Содержание нитратного азота отмечено на уровне следов. Обменного магния в вариантах с соломой содержалось 2.43–2.91, без соломы – 3.63–3.73 мг-экв/100 г ($HCP_{05} = 0.80$). Внесение соломы существенно понизило гидролитическую кислотность пахотного слоя почвы до 2.59–4.68 ммоль/100 г в сравнении с контрольным вариантом – чистым паром без соломы (5.27 ммоль/100 г). Изменение кислотности в сторону ее снижения в вариантах с внесением соломы и наиболее существенное – в варианте с чистым паром ($H_r = 2.29$ ммоль/100 г, $pH_{KCl} 5.91$) – в сравнении с контролем чистым паром ($H_r = 5.27$ ммоль/100 г, $pH_{KCl} 5.08$) было обусловлено более медленным разложением соломы без дополнительного источника азота. Дефицит азота при разложении соломы в почве компенсируется многими источниками, в том числе деструкцией органического вещества почвы, имеющего кислую реакцию, в частности фульвокислот. Такое заключение было сделано в предыдущих исследованиях на основании того, что в вариантах с внесением соломы содержание специфического гумуса и фульвокислот снизилось на 0.25% в сравнении с вариантами, где солому не вносили [17].

Внесение соломы озимой ржи в сочетании с сидеральными горчичным и клеверным парами выявило существенное снижение содержания обменного кальция (11.0 мг-экв/100 г) в сравнении с чистым (11.7–11.9) и унавоженным (12.5–13.7 мг-экв/100 г) парами.

ВЫВОДЫ

1. Длительная безотвальная основная обработка дерново-подзолистой почвы в сравнении с отвальной способствовала увеличению содержания обменного калия, его подвижности в верхней части пахотного слоя, но снижала содержание по-

движного фосфора. В нижней его части (10–20 см) уменьшалось содержание подвижного фосфора, обменного калия, их подвижность.

2. Внесение в почву свежего органического вещества (биомассы горчицы, клевера) способствовало снижению гидролитической кислотности и содержания обменного магния в пахотном слое независимо от системы обработки почвы.

3. Вид органического удобрения оказывал существенное влияние на агрохимические свойства пахотного слоя. Внесение зеленого удобрения в качестве сидерата в сравнении с чистым паром с изменением показателей кислотности в сторону понижения способствовало уменьшению содержания P_2O_5 , K_2O , их подвижности, содержания $N-NH_4$ и Mg , но увеличению содержания $N-NO_3$, Ca и Al . Внесение навоза КРС 60 т/га обеспечило наиболее значительное улучшение агрохимических свойств пахотного слоя.

4. На 3-й год после внесения соломы озимой ржи (4 т/га) отмечено существенное ее влияние на агрохимические свойства пахотного слоя почвы. В вариантах с соломой увеличилось содержание аммонийного азота до 2.31–2.72 мг/100 г, снизилось содержание обменного магния до 2.43–2.91 мг-экв/100 г в сравнении с вариантами без соломы (чистый пар и унавоженный чистый пар), где содержание этих элементов соответственно составило 1.84–2.05 мг/100 г и 3.63–3.73 мг-экв/100 г.

5. Использование биоресурсов в любом сочетании в сравнении с контролем без удобрений понизило гидролитическую кислотность с 5.27 до 2.59–4.68 ммоль/100 г, показатель pH_{KCl} увеличился с 5.08 до 5.31–5.91, $S_{очн}$ возросла с 9.1 до 10.1–12.6 ммоль/100 г.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дринча В.Н. Технологические проблемы производства зерна // Земледелие. 2000. № 4. С. 6–7.
2. Рядчиков В.Г. Тенденция производства калорий белка и лизина в мировом земледелии // Вестн. РАСХН. 2002. № 1. С. 46–49.
3. Владыкина Н.И. Влияние вида пара на изменение агрохимических показателей плодородия почвы и продуктивность севооборота в длительном опыте // Аграрн. наука Евро-Северо-Востока. 2015. № 5. С. 62–67.
4. Возняковская Ю.М., Попова Ж.Н., Петрова В.Г. Сидеральные удобрения – регуляторы почвенно-микробиологических процессов // Докл. ВАСХНИЛ. 1988. № 2. С. 23–26.
5. Лошаков В.Г. Поживная сидерация и плодородие дерново-подзолистых почв // Земледелие. 2007. № 1. С. 11–14.

6. *Верниченко Л.Ю., Мишустин Е.Н.* Влияние соломы на почвенные процессы и урожайность сельскохозяйственных культур // Использование соломы как органического удобрения. М.: Наука, 1980. С. 3–33.
7. *Христофоров Л.В.* Пути воспроизводства плодородия пахотных угодий в современном адаптивно-ландшафтном земледелии Республики Марий Эл // Мат-лы научн. практ. конф., посвящ. 120-летию со дня рожд. В.А. Жуковского “Научные основы рационального землепользования с.-х. территорий Северо-Востока Европейской части России”. Сывьтывкар. 2002. С. 152–155.
8. *Матюк Н.С., Селицкая О.В., Солдатова С.С.* Роль сидератов и соломы в стабилизации процессов трансформации органического вещества в дерново-подзолистой почве // Изв. ТСХА. 2013. Вып. 3. С. 63–73.
9. *Картамышев Н.И.* Критика современной теории гумусообразования // Аграр. Россия. 2002. № 6. С. 7–9.
10. *Пупонин А.И.* Обработка почвы в интенсивном земледелии Нечерноземной зоны. М.: Колос, 1984. 184 с.
11. *Alexander M.* Introduction to soil microbiology. N.Y.: Wiley, 1961. P. 353–369.
12. *Варламова Л.Д., Нефедьева В.В.* Изменение фракционного состава фосфатов при многолетнем применении удобрений // Аграрн. наука Евро-Северо-Востока. 2014. 2014. № 5. С. 38–42.
13. *Пегова Н.А.* Влияние систем обработки почвы и биоресурсов на агрохимические свойства дерново-подзолистой суглинистой почвы // Вестн. Рос. сел.-хоз. науки. 2017. № 6. С. 31–35.
14. *Дабыхова Е.В.* Эколого-агрономическая оценка применения различных систем удобрения на светло-серой лесной почве: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. М., 1998. 37 с.
15. *Возбуцкая А.Е.* Химия почвы. М.: Высш. шк., 1968. 427 с.
16. *Дзюин А.Г., Дзюин Г.П.* Агрохимическое состояние дерново-подзолистой почвы при использовании навоза, сидератов и соломы совместно с минеральными удобрениями // Владимир. земледелец. 2016. № 4. С. 6–11.
17. *Пегова Н.А.* Органическое вещество пахотной дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы в зависимости от системы обработки почвы и фона удобрения // Достиж. науки и техн. АПК. 2013. № 9. С. 22–26.

Influence of the Type of Fallow, Straw and Tillage Systems of Sod-Podzolic Soil on Its Agrochemical Properties

N. A. Pegova

*Udmurt Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Structural Unit –
Udmurt Scientific Research Institute of Agriculture
ul. Lenina 1, Zavyalovsky district, p. Pervomaysky 427007, Udmurt Republic, Russia*

E-mail: ugniish-nauka@yandex.ru

In the multi-year stationary field experiment at the study of the autumn about the development of the soil (conventional, combination, subsurface), types of steam (pure steam, pure steam with manure mustard green manure and clover) and making straw at the beginning of the 2nd crop rotation (pair – winter rye – spring wheat – clover – winter rye, spring wheat, oats) held agrochemical study of the topsoil in order to identify the effect of duration systems application of under-winter tillage (2006–2018) and of biological resources on its agrochemical properties. The waste-free system of tillage provided conditions for a greater accumulation of exchange potassium in the arable layer than the dump system. In a layer of 0–10 cm of potassium contained 158 mg/kg, mobile – 1.55 mg/100 g, with dump processing – 138 and 1.24, respectively, with the same content of mobile forms of potassium in a layer of 10–20 cm Agrochemical indicators in the combined system of soil treatment were at the level of the dump. In the variants with sideral pairs, in comparison with pure ones, the content of P₂O₅, K₂O, their mobility, as well as the content of N-NH₄ and Mg decreased with a decrease in acidity indicators, but the content of N-NO₃, Ca and Al increased. Introduction of cattle manure 60 t/ha provided the most significant improvement in the agrochemical properties of the arable layer. In the 3rd year after the introduction of winter rye straw (4 t/ha), there was an increase in the content of ammonium nitrogen (2.31–2.72 mg/100 g), a decrease in the content of total magnesium (2.43–2.91 mg-eq/100 g), in the variants without straw, respectively – 1.84–2.05 mg/100 g and 3.63–3.73 mg-eq/100 g. The use of bioresources in any combination lowered the H_a from 5.27 to 2.59–4.68 mmol/100 g, while the pH_{KCl} increased from 5.08 to 5.31–5.91, the S increased from 9.1 to 10.1–12.6 mmol/100 g.

Key words: types of steam, straw, soil treatment systems, sod-podzolic soil, agrochemical properties.