

АГРОХИМИЯ  
И ПЛОДОРОДИЕ ПОЧВ

УДК 631.8:631.45:631.445.2

ИЗМЕНЕНИЕ АГРОХИМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ  
ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЫ ПРЕДУРАЛЬЯ  
ПРИ ДЛИТЕЛЬНОМ ПРИМЕНЕНИИ УДОБРЕНИЙ

© 2021 г. М. Т. Васбиева\*

Пермский федеральный исследовательский центр,  
ул. Культуры, 12, с. Лобаново, Пермский район, Пермский край, 614532 Россия

\*e-mail: [vasbievamt15@gmail.com](mailto:vasbievamt15@gmail.com)

Поступила в редакцию 20.02.2020 г.

После доработки 14.04.2020 г.

Принята к публикации 24.04.2020 г.

Изучено влияние длительного применения органических и минеральных удобрений на изменение в дерново-подзолистой почве (Glossic Retisol (Loamic, Aric)) содержания органического углерода, доступных и подвижных форм азота и фосфора, показателей почвенно-поглощающего комплекса. Исследования проведены в метровом слое почвы в условиях многолетнего стационарного опыта, заложенного в Пермском крае в 1976 г. Установлено, что применение минеральных удобрений в дерново-подзолистой почве в течение пяти ротаций полевого семипольного севооборота существенно (в 1.2–2.6 раза) увеличило содержание легкогидролизуемого азота и подвижного фосфора. Запасы легкогидролизуемого азота в пахотном слое возросли с 0.3 до 0.4 т/га, в метровом слое – с 1.3 до 1.6 т/га, подвижного фосфора с 0.3 до 0.8 т/га и с 3.1 до 4.8 т/га. Увеличение содержания органического вещества отмечено только в подпахотном слое (20–40 см). Систематическое внесение минеральных удобрений оказало отрицательное влияние на кислотность почвы, отмечено достоверное увеличение гидролитической кислотности по метровому профилю. Внесение навоза крупного рогатого скота (КРС) (насыщенность 5.7 т/га) обеспечило улучшение показателей почвенно-поглощающего комплекса (уменьшение гидролитической кислотности, увеличение степени насыщенности основаниями) до глубины 60 см. Отмечено увеличение содержания легкогидролизуемого, минерального азота и степени подвижности фосфатов в слое почвы 0–20 см, содержание органического углерода возросло незначительно. Только совместное применение навоза КРС и минеральных удобрений достоверно увеличило содержание органического вещества в 1.2–1.6 раза в пахотном и подпахотном слоях, обеспечило воспроизводство к его исходному количеству при закладке полевого опыта. Запасы органического углерода возросли с 28.3 до 32.2 т/га в слое 0–20 см и с 71.5 до 81.8 т/га в метровом слое почвы. Внесение навоза уменьшило отрицательное влияние минеральных удобрений на кислотность почвы. Наибольшая продуктивность полевого севооборота получена при использовании органо-минеральной системы удобрений.

*Ключевые слова:* органические удобрения, минеральные удобрения, плодородие почвы, полевой семипольный севооборот

DOI: 10.31857/S0032180X21010135

## ВВЕДЕНИЕ

Преобладающую часть пахотных земель Пермского края занимают дерново-подзолистые почвы, характеризующиеся низким естественным плодородием. Для улучшения показателей почвенного плодородия и получения стабильных, высоких и качественных урожаев сельскохозяйственных культур на данных почвах необходимо применение удобрений [2, 10, 18]. В Пермском крае с 1966 по 1990 гг. насыщенность пашни минеральными удобрениями варьировала от 30 до 97 кг/га д. в., органическими от 2.0 до 4.3 т/га в год. За последние двадцать лет насыщенность

пашни минеральными удобрениями составила 10–14 кг д. в., органическими 0.9–1.4 т/га. Возмещение выноса элементов питания за последние годы с учетом вносимых объемов удобрений, применения сидератов и соломы составило 10–15%. Нарушение баланса питательных веществ в земледелии приводит к снижению плодородия почвы и урожайности сельскохозяйственных культур. В связи с резким сокращением применения удобрений с 2008 г. в крае наблюдается ухудшение показателей плодородия почв [9]. Согласно данным центра агрохимической службы на конец 2019 г., 84% пахотных земель в Пермском крае от-

носятся к категории низкой и очень низкой обеспеченности по гумусу, 79% составляют кислые почвы, 34 и 14% – с низким содержанием подвижного фосфора и калия.

Удобрения – это сильнодействующий фактор, который влияет на естественные почвенные процессы и приводит к изменению параметров плодородия. Особый интерес вызывает миграция химических элементов по профилю. Результаты исследований в длительных опытах представляют большую научную ценность, так как позволяют выявить направленность изменения плодородия почв под влиянием систематического применения удобрений [5–7, 15, 33]. Влияние применения удобрений на агрохимические свойства почвы, в том числе дерново-подзолистой, установлено многочисленными исследованиями. Степень и направленность влияния зависит от особенностей почв, доз и форм применяемых удобрений, возделываемых культур, климатических особенностей региона [14, 17, 25, 31, 34]. Однако большинство исследований посвящено изучению пахотного и подпахотного слоев почвы; работ, в которых показано изменение параметров плодородия по профилю немного.

Цель исследований – изучить влияние длительного применения органических и минеральных удобрений на изменение агрохимических свойств дерново-подзолистой почвы в метровом слое почвы.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Исследования проводили на базе длительного стационарного опыта, заложенного в 1976 г. Схема опыта: 1) контроль, 2) навоз, 3) NPK, 4) навоз + NPK. Почва опытного участка дерново-мелкоподзолистая тяжелосуглинистая (Glossic Retisol (Abruptic, Loamic, Aric, Cutanic, Ochric)). Агрохимическая характеристика почвы на момент закладки опыта:  $C_{орг}$  – 1.28%,  $pH_{KCl}$  – 4.8,  $Hг$  – 3.7 и  $S$  – 18.1 смоль(экв)/кг, подвижный  $P_2O_5$  и  $K_2O$  (по Кирсанову) – 154 и 170 мг/кг. Почвообразующая порода – желто-бурая некарбонатная покровная глина. Характерной особенностью почвы, сформированной на богатых в минералогическом отношении пермских глинах, является высокое содержание обменных форм кальция и магния, которое увеличивается с глубиной, как и сумма поглощенных оснований.

Наблюдения проводили в полевом семипольном севообороте с чередованием культур: чистый или занятый пар – озимая рожь – яровая пшеница с подсевом клевера – клевер 1 года пользования (г. п.) – клевер 2 г. п. – ячмень – овес. Минеральные удобрения (I ротация –  $N_{120}P_{120}K_{120}$ , II ротация –  $N_{90}P_{90}K_{90}$ , III-Вротации –  $N_{60}P_{60}K_{60}$ ) вносили под все зерновые культуры севооборота

под предпосевную культивацию в виде аммиачной селитры или мочевины, простого, двойного суперфосфата и хлористого калия. Навоз КРС по 40 т/га натуральной влажности вносили 1 раз в ротацию севооборота в пару, вариант с навозом был введен с третьей ротации севооборота. Повторность вариантов в опыте трехкратная, расположение делянок систематическое. Общая площадь делянки 47.5 м<sup>2</sup>. Химический состав навоза (в среднем): содержание органического вещества на сухое вещество – 71%, содержание элементов питания в удобрении с исходной влажностью  $N_{общ}$  – 0.4%,  $P_{общ}$  – 0.6%,  $K_{общ}$  – 0.3%,  $pH_{KCl}$  7.3, влажность – 72%.

Для выполнения поставленной цели проведен отбор почвенных образцов в метровом слое почвы – 0–20, 20–40, 40–60, 60–80, 80–100 см. Агрохимические свойства почвы изучали с использованием следующих методов: содержание органического вещества по методу Тюрина в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26213-91), сумму обменных оснований по Каппену-Гильковицу (ГОСТ 27821-88),  $pH_{KCl}$  – потенциметрически по методу ЦИНАО (ГОСТ 26483-85), гидролитическую кислотность – по методу Каппена в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26212-91), подвижный фосфор по Кирсанову (ГОСТ 26207-91), степень подвижности фосфатов по Карпинскому, Замятиной [11], легкогидролизуемый азот по Тюрину и Кононовой [20], аммиачный азот фотометрическим методом (ГОСТ 26489-85), нитратный азот потенциметрически (ГОСТ 26951-86). Содержание минерального азота рассчитывали суммированием аммонийной и нитратной форм. Лабораторные исследования проводили в воздушно-сухих образцах почвы.

Исследования проводили в четвертом агроклиматическом районе Пермского края. В физико-географическом отношении район находится в подзоне южной тайги и хвойно-широколиственных лесов. Климат умеренно-континентальный с холодной, продолжительной, снежной зимой и теплым коротким летом. Сумма средних суточных температур выше 10°C составляет 1700–1900°C. Переход среднесуточных температур воздуха через 10°C весной приходится на вторую декаду мая, осенью на конец первой–начало второй декады сентября. Длительность периода активной вегетации (период с температурой выше 10°C) в среднем составляет 115 дней. С температурой выше 15°C – 60 дней. Район относится к зоне достаточного увлажнения: ГТК 1.4; осадков за год выпадает 470–500 мм, большая часть которых приходится на теплое полугодие – с апреля по октябрь (66–77%). Число дней со снежным покровом в среднем составляет 176 [1].

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

При длительном сельскохозяйственном использовании дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почвы в севообороте без применения удобрений в пахотном слое отмечена тенденция постепенного уменьшения содержания органического углерода ( $C_{орг}$ ) с 1.28 до 1.13% (рис. 1). Его запасы после пяти ротаций сократились на 7 т/га. Основными причинами потерь  $C_{орг}$  в почве при вовлечении ее в сельскохозяйственный оборот являются уменьшение поступления растительных остатков, усиление процессов минерализации, эрозии и дефляции [28]. Наблюдается тенденция к подкислению почвы. Показатель  $pH_{KCl}$  уменьшился от первой к пятой ротации с 4.8 до 4.4, гидролитическая кислотность возросла с 3.7 до 4.5 смоль(экв)/кг. Подкислению почвы способствует вынос с урожаем кальция, магния, калия [35]. Подкисление почвы может быть вызвано не только сельскохозяйственным использованием, но и агроклиматическими изменениями в регионе и загрязнением окружающей среды, выпадением кислотных дождей [26, 27, 33, 36]. Отмечено небольшое снижение степени насыщенности основаниями. Содержание подвижного фосфора с первой по четвертую ротацию практически не изменялось и варьировало в узких пределах 142–169 мг/кг, в пятой ротации отмечено минимальное значение – 126 мг/кг.

Содержание органического углерода в дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почве в контрольном варианте севооборота уменьшалось с глубиной с 1.13% (0–20 см) до 0.27% (80–100 см) (табл. 1). Запасы органического углерода в верхнем горизонте (0–20 см) составили 28.3 т/га или 39.6% от его запасов в метровом слое почвы (табл. 2).

Длительное применение удобрений оказало достоверное влияние на содержание органического углерода почвы в слое 0–40 см, в более глубоких слоях содержание органического углерода варьировало не значительно по всем вариантам опыта. Увеличение содержания органического вещества в почве отмечено под влиянием длительного совместного внесения органических и минеральных удобрений, в пахотном слое в 1.2 раза и подпахотном в 1.6 раза. Запасы органического вещества в метровой толще почвы возросли на 10.3 т/га (14.4%). Стоит также отметить, что органо-минеральная система удобрений при сравнении содержания органического углерода с его исходным количеством при закладке полевого опыта (1976 г. – 1.28%) к концу пятой ротации обеспечила его воспроизводство (1.31%). При внесении навоза в дозе 40 т/га 1 раз в ротацию семипольного севооборота (насыщенность 5.7 т/га) отмечены только тенденции повышения органического вещества в пахотном слое. Длительное

применение минеральных удобрений (I ротация –  $N_{120}P_{120}K_{120}$ , II ротация –  $N_{90}P_{90}K_{90}$ , III–V ротации –  $N_{60}P_{60}K_{60}$ ) обеспечило достоверное увеличение органического углерода в подпахотном слое (в 1.5 раза), запасы в метровом слое почвы возросли на 10.3 т/га (14.4%). Минеральные удобрения способны поддерживать постоянный уровень содержания или обеспечивать увеличение органического вещества благодаря росту количества поступающих в почву органического материала с пожнивными остатками, изменению численности и активности почвенных микроорганизмов [8, 21, 30].

Показатель  $pH_{KCl}$  в контрольном варианте дерново-подзолистой почвы с глубиной возрастал с 4.4 (0–20) до 4.6 (80–100), гидролитическая кислотность уменьшалась с 4.2 до 2.5 смоль(экв)/кг, сумма обменных оснований и степень насыщенности оснований возрастали. Длительное применение минеральных удобрений оказало существенное влияние на кислотность почвы по всему метровому слою. Отмечено достоверное уменьшение показателя актуальной кислотности на 0.2 единицы в каждом слое почвы по сравнению с контрольным вариантом. Гидролитическая кислотность возросла на 0.2–1.4 смоль(экв)/кг (в 1.1–1.3 раза). Максимальный рост гидролитической кислотности отмечен в пахотном и подпахотном слоях. В результате отмечено снижение степени насыщенности основаниями. Достоверные изменения наблюдали до глубины 60 см. В верхнем горизонте почвы установлено увеличение суммы обменных оснований на 1.3 смоль(экв)/кг (в 1.1 раза). Внесение навоза позволило уменьшить отрицательное влияние минеральных удобрений на кислотность почвы, увеличение  $pH_{KCl}$  отмечено до глубины 40 см, снижение гидролитической кислотности – по всему метровому слою.

При внесении только органических удобрений отмечено улучшение показателей почвенно-поглощающего комплекса. В пахотном слое почвы наблюдали увеличение  $pH_{KCl}$ , суммы обменных оснований и соответственно степени насыщенности основаниями с 80 (контроль) до 82%. Максимальное достоверное уменьшение гидролитической кислотности установлено в слоях 20–40 и 40–60 см, в результате чего степень насыщенности основаниями в данных слоях почвы увеличилась.

Важнейшим показателем окультуренности почв, обязательным условием высокой продуктивности сельскохозяйственных культур и их устойчивости к неблагоприятным факторам является степень обеспеченности почв азотом и фосфором. Непосредственным источником питания растений является минеральный азот (нитратный, аммонийный), ближайшим резервом азотного питания – легкогидролизуемая фракция азотистых веществ.

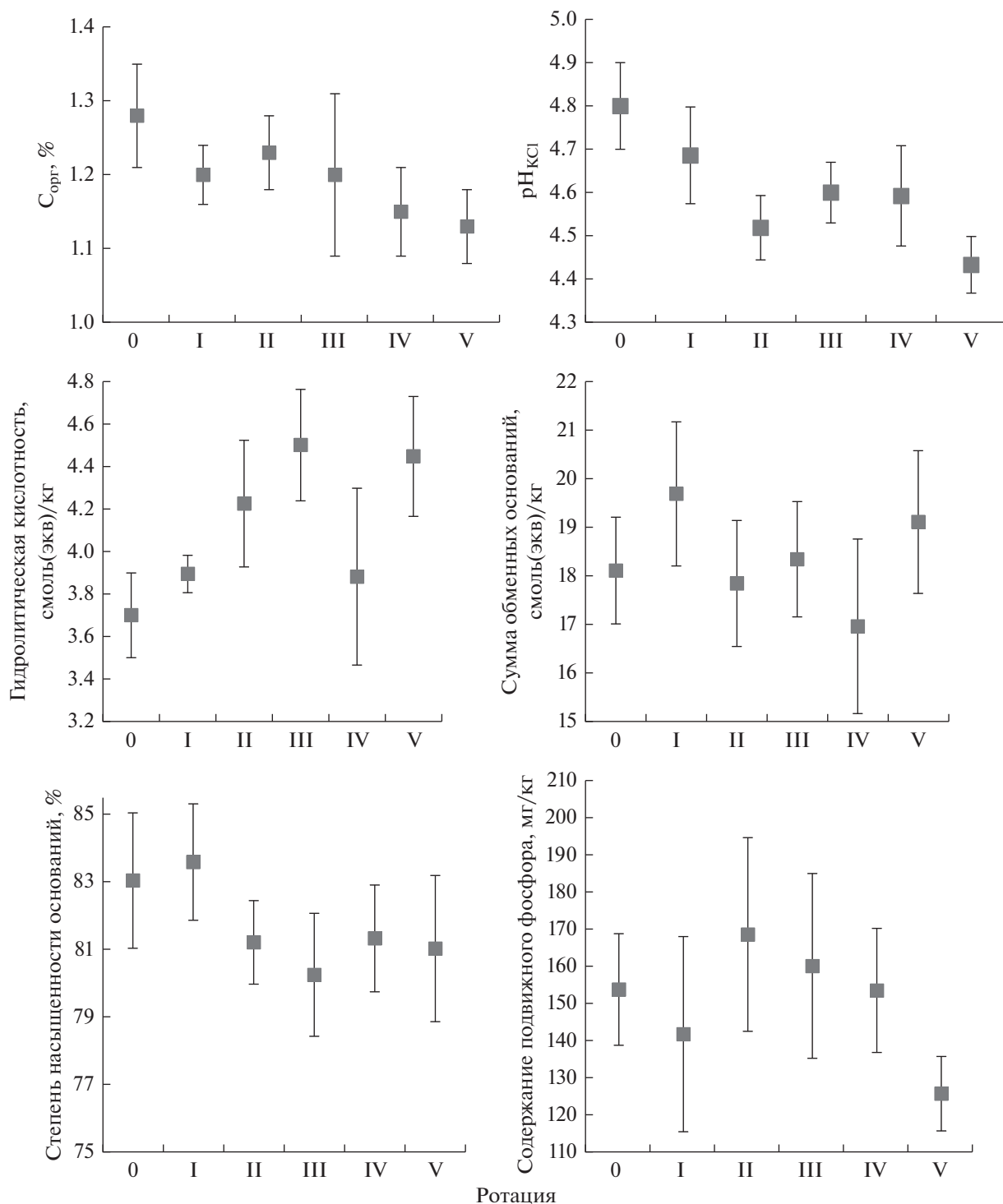


Рис. 1. Динамика агрохимических свойств почвы пахотного горизонта в контрольном варианте длительного стационарного опыта.

В ее состав входят минеральный азот и наиболее подвижные органические соединения (амиды, часть аминов), которые при благоприятных условиях способны перейти в минеральную форму [22]. Содержание минерального азота в контрольном варианте (слой 0–20 см) составило 21.5 мг/кг

(1.8% от общего количества азота почвы), легкогидролизуемого – 118 мг/кг (10%) [32]. Абсолютное количество минеральной и легкогидролизуемой фракций азота находилось в прямой зависимости от общего содержания элемента и вниз по профилю постепенно уменьшалось, на глубине

**Таблица 1.** Влияние длительного применения органических и минеральных удобрений на агрохимические свойства дерново-подзолистой почвы (пятая ротация)

Вариант	Глубина, см				
	0–20	20–40	40–60	60–80	80–100
	$C_{\text{орг}}, \%$				
Контроль	1.13	0.48	0.38	0.34	0.27
Навоз	1.18	0.52	0.36	0.29	0.28
NPK	1.17	0.74	0.41	0.33	0.33
Навоз + NPK	1.31	0.78	0.37	0.30	0.26
HCP <sub>05</sub>	0.07	0.23	$F_{\phi} < F_T$	$F_{\phi} < F_T$	$F_{\phi} < F_T$
	$pH_{\text{KCl}}$				
Контроль	4.4	4.4	4.5	4.5	4.6
Навоз	4.5	4.4	4.5	4.5	4.5
NPK	4.2	4.2	4.3	4.3	4.4
Навоз + NPK	4.3	4.3	4.4	4.4	4.4
HCP <sub>05</sub>	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2
	Нг				
Контроль	4.2	3.8	2.8	2.7	2.5
Навоз	4.1	3.2	2.6	2.6	2.4
NPK	5.6	4.7	3.1	2.9	2.9
Навоз + NPK	5.3	4.1	2.9	2.7	2.7
HCP <sub>05</sub>	0.3	0.6	0.2	0.2	0.2
	S, смоль(экв)/кг				
Контроль	17.5	21.7	26.9	26.4	28.8
Навоз	18.8	24.1	26.5	27.9	27.3
NPK	19.3	23.0	25.9	28.5	28.8
Навоз + NPK	19.4	21.7	26.9	28.1	29.7
HCP <sub>05</sub>	1.3	$F_{\phi} < F_T$	$F_{\phi} < F_T$	$F_{\phi} < F_T$	$F_{\phi} < F_T$
	V, %				
Контроль	80	85	90	91	92
Навоз	82	88	91	91	92
NPK	78	83	89	91	91
Навоз + NPK	79	84	90	91	92
HCP <sub>05</sub>	2	2	1	$F_{\phi} < F_T$	$F_{\phi} < F_T$

Примечание. Нг, смоль(экв)/кг – гидролитическая кислотность; S, смоль(экв)/кг – сумма обменных оснований; V, % – степень насыщенности основаниями.

**Таблица 2.** Влияние длительного применения органических и минеральных удобрений на запасы органического углерода, легкогидролизуемого, минерального азота и подвижного фосфора в дерново-подзолистой почве, т/га (пятая ротация)

Вариант	$C_{\text{орг}}$		$N_{\text{лг}}$		$N_{\text{мин}}$		$P_2O_5$	
	0–20	0–100	0–20	0–100	0–20	0–100	0–20	0–100
Контроль	28.3	71.5	0.3	1.3	0.05	0.2	0.3	3.1
Навоз	29.4	71.7	0.3	1.3	0.08	0.3	0.4	3.4
NPK	29.1	81.8	0.4	1.6	0.08	0.4	0.8	4.8
Навоз + NPK	32.2	81.8	0.4	1.5	0.10	0.4	0.9	4.9
HCP <sub>05</sub>	1.0	9.2	0.1	0.2	0.02	0.1	0.2	0.7

**Таблица 3.** Влияние длительного применения органических и минеральных удобрений на содержание легкогидролизуемого и минерального азота в дерново-подзолистой почве (пятая ротация)

Вариант	Показатель (мг/кг)/слой почвы (см)				
	0–20	20–40	40–60	60–80	80–100
$N_{лг}$					
Контроль	118	106	94	81	67
Навоз	125	100	84	76	64
НПК	167	125	105	94	80
Навоз + НПК	159	126	90	85	77
НСП <sub>05</sub>	4	9	5	5	5
$N-NH_4$					
Контроль	21.3	20.5	19.5	15.7	9.3
Навоз	30.0	26.1	21.6	20.0	18.9
НПК	31.4	25.1	24.9	20.7	19.9
Навоз + НПК	38.8	27.3	26.8	27.8	23.6
НСП <sub>05</sub>	7.4	$F_{\phi} < F_T$	$F_{\phi} < F_T$	$F_{\phi} < F_T$	10.6
$N-NO_3$					
Контроль	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1
Навоз	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1
НПК	0.5	0.5	0.3	0.2	0.2
Навоз + НПК	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3
НСП <sub>05</sub>	0.3	0.2	0.1	0.1	0.1

80–100 см составило 9.4 и 67 мг/кг соответственно. В составе минерального азота преобладала аммонийная форма. В пахотном слое контрольного варианта количество аммонийного азота составило 21.3 мг/кг, нитратного 0.2 мг/кг. Отбор почвенных образцов проводили осенью, когда процессы нитрификации затухают, что повлияло на содержание нитратного азота. По данным Пискунова количество аммонийного азота в пахотном горизонте дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почвы Предуралья (отбор почвенных образцов проводили в апреле или сентябре) варьировало от 25.9 до 54.0, нитратного азота – от 0.1 до 16.6 мг/кг, в материнской породе – от 26.7 до 38.5 и от следовых количеств до 19.1 мг/кг соответственно [19]. Нитраты отличаются высокой подвижностью, в связи с чем содержание их в почве подвержено большим колебаниям. Из пахотных горизонтов почв нитратный азот может вымываться атмосферными осадками в более глубокие слои (до грунтовых вод) [22].

Внесение минеральных удобрений способствовало повышению содержания легкогидролизуемого азота по всему метровому слою почвы в 1.1–1.4 раза, максимальное увеличение отмечено в пахотном горизонте (табл. 3).

Запасы легкогидролизуемого азота в слое почвы 0–20 см возросли на 33%, в слое 0–100 см – на 23%.

При внесении навоза наблюдается увеличение содержания легкогидролизуемого азота в пахотном горизонте, а затем отмечены тенденции уменьшения его количества до глубины 80–100 см.

Достоверное увеличение минеральной фракции азота установлено (независимо от применяемой системы удобрений) в слоях 0–20 см (в 1.4–1.5 раза) и 80–100 см (в 2.0–2.1 раза). На глубине 70–100 см находится горизонт В или горизонт вымывания. Запасы минерального азота в пахотном горизонте и метровом слое почвы возросли на 50–100%. При внесении минеральных удобрений по всему профилю наблюдали увеличение содержания  $N-NO_3$  на 0.1–0.3 мг/кг – в 2–3 раза.

Содержание подвижного фосфора в пахотном слое почвы контрольного варианта к концу пятой ротации составило 126 мг/кг (соответствует повышенному уровню – 100–150 мг/кг) и увеличивалось вниз по профилю, что обусловлено составом почвообразующих пород (табл. 4). Количество подвижного фосфора в слое почвы 80–100 см было в 2.4 раза больше, чем в слое 0–20 см. Важный показатель оценки обеспеченности сельскохозяйственных культур фосфором – степень подвижности фосфатов (концентрация фосфатионов, находящихся в почвенном растворе) [11]. Трансформация, поглощение и миграция фосфатов происходят с участием почвенного раствора, в

**Таблица 4.** Влияние длительного применения органических и минеральных удобрений на содержание подвижного фосфора и степень подвижности фосфатов дерново-подзолистой почвы (пятая ротация)

Вариант	Показатель/слой почвы (см)				
	0–20	20–40	40–60	60–80	80–100
$P_2O_5$ , мг/кг					
Контроль	126	140	217	267	305
Навоз	158	180	233	275	318
НРК	331	302	334	341	340
Навоз + НРК	345	311	352	324	373
НСР <sub>05</sub>	65	56	51	60	58
Степень подвижности фосфатов, мг/л					
Контроль	0.03	0.02	0.02	0.02	0.01
Навоз	0.06	0.03	0.03	0.02	0.01
НРК	0.45	0.04	0.05	0.04	0.03
Навоз + НРК	0.78	0.15	0.05	0.03	0.04
НСР <sub>05</sub>	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02

который переходят наиболее подвижные, растворимые формы фосфатов. В почвенном растворе присутствует лишь малая доля общего фосфора, содержащегося в почве вообще, состав и формы фосфатов в почвенном растворе могут существенно отличаться от таковых в твердой фазе почвы, в связи с чем, при изучении фосфатного режима почв исследованию фосфатов почвенного раствора следует уделять особое внимание [3, 23, 24]. По данным Ключковского [12], концентрация фосфора в почвенном растворе составляет 0.05–1.0 мг/л, а минимальная концентрация фосфора, при которой растения могут его усваивать – 0.01–0.03 мг/л  $P_2O_5$ .

В пахотном горизонте дерново-подзолистой почвы на контроле показатель степени подвижности фосфатов составил 0.03 мг/л, что говорит об очень низком содержании легкодоступного фосфора для растений (<0.04 мг/л). Степень подвижности фосфатов уменьшалась с глубиной.

Внесение минеральных удобрений под все зерновые культуры полевого севопольного севооборота в течение пяти ротаций (всего в почву поступило около 1800 кг фосфора) увеличило содержание подвижного фосфора в слое почвы 0–20 см в 2.6 раза. Содержание подвижного фосфора составило 331 мг/кг, что соответствует очень высокому уровню (>250 мг/кг). Степень подвижности фосфатов возросла до 0.45 мг/л, что соответствует высокому уровню обеспеченности растений легкодоступным фосфором. Влияние минеральных удобрений на показатели фосфатного режима наблюдали по всему метровому слою. Запасы подвижного фосфора в пахотном горизонте почвы увеличились на 0.5, в метровом слое – на 1.7 т/га. Увеличение содержания подвижного фосфора с

глубиной возможно связано с существенным подкислением почвы и частичным переходом фосфора из одной фракции в другую, а также его миграцией. Исследованиями Титовой, проведенными на дерново-подзолистых почвах, выявлено, что при высоком содержании подвижных соединений фосфора в почве увеличивается вероятность его миграции по профилю. Расстояние миграции определяется дозой и видом вносимых удобрений, фракционным составом фосфора, а также особенностями генетического строения почв. Глубина проникновения достигает 40–80 см [23]. В работе Минеева, Гомоновой отмечается изменение фосфатного режима дерново-подзолистой почвы в результате применения различных систем удобрения до глубины 40–60 см [16]. Шустикова и Шаповалова отмечают положительное влияние минеральных удобрений на накопление подвижного фосфора в метровом слое чернозема обыкновенного [29]. Нами также установлено, что внесение минеральных удобрений в течение пяти ротаций способствовало существенному увеличению в слое почвы 0–20 см валового с 785 до 1180 и минерального фосфора с 450 до 850 мг/кг. Повышение содержания валового и минерального фосфора наблюдали по всему метровому слою. Запасы общего и минерального фосфора в метровом слое увеличились с 10.7 до 14.1 и с 8.4 до 11.6 т/га [4].

В меньшей степени на фосфатный режим почвы оказало влияние внесения органических удобрений по сравнению с минеральными. При внесении навоза КРС (насыщенность 5.7 т/га) отмечены тенденции увеличения содержания подвижного фосфора в пахотном и подпахотном горизонтах на 32–40 мг/кг. Отмечено достоверное увеличение степе-

**Таблица 5.** Влияние длительного применения органических и минеральных удобрений на урожайность сельскохозяйственных культур полевого севооборота (среднее за III–V ротации)

Вариант	Урожайность, т/га					Продуктивность, корм. ед./га пашни
	озимая рожь (зерно)	яровая пшеница (зерно)	клевер 1 + 2 г. п. (сено 16%)	ячмень (зерно)	овес (зерно)	
Контроль	1.64	1.78	8.68	2.59	1.67	2165
Навоз	2.38	2.19	10.57	3.08	1.98	2705
НРК	2.38	2.31	9.12	3.82	2.50	2855
Навоз + НРК	2.51	2.71	9.78	3.88	2.81	3094
НСР <sub>05</sub>	0.23	0.36	0.98	0.50	0.23	230

ни подвижности фосфатов в верхнем горизонте до 0.06 мг/л. Навоз – существенный источник фосфора, в основном в органической форме. В тех случаях, когда накопление фосфор-органических соединений преобладает над минерализацией (идущих в почве одновременно), особенно при применении высоких доз навоза, имеет место обогащение почвы фосфором. Но внесение навоза в невысоких дозах может способствовать ускоренной минерализации органического фосфора почвы вследствие усиления микробиологической деятельности [3, 23]. Всего с навозом в почву было внесено около 750 кг фосфора. Запасы подвижного фосфора в пахотном горизонте почвы увеличились на 0.1, в метровом слое на 0.3 т/га. Внесение навоза в сочетании с минеральными удобрениями существенно повысило в пахотном и подпахотном слоях почвы степень подвижности фосфатов.

Улучшение показателей плодородия почвы привело к увеличению урожайности полевых культур (табл. 5). Внесение навоза КРС увеличило урожайность зерна озимой ржи на 0.74 т/га, яровой пшеницы, ячменя и овса на 0.31–0.49 т/га и сена клевера на 1.89 т/га. Продуктивность полевого семипольного севооборота (в среднем на 1 га пашни) возросла на 540 корм. ед. (25%). Применение минеральных удобрений обеспечило повышение урожайности зерновых культур на 0.53–1.23 т/га, сена клевера – на 0.44 т/га, продуктивность севооборота возросла на 690 корм. ед. (32%). Внесение органических по фону минеральных удобрений повысило урожайность зерновых культур на 0.87–1.29 т/га, сена клевера – на 1.1 т/га. Отмечено максимальное увеличение продуктивности севооборота – на 929 корм. ед. (43%).

За 2007–2013 гг. исследований был проведен корреляционный анализ между агрохимическими показателями почвы и продуктивностью культур пятой ротации севооборота. Установлена достоверная сильная ( $r > 0.7$ ) корреляционная зависимость между урожайностью культур и содержанием в почве (слой 0–20 см) органического углерода, легкогидролизуемого, минерального азота, подвижного фосфора и степенью подвижности фосфатов. Ко-

эффициенты корреляции в зависимости от года исследования и конкретной культуры варьировали от 0.81 до 0.98.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Наибольшее влияние на изменение агрохимических свойств дерново-подзолистой почвы отмечено при длительном систематическом внесении минеральных удобрений и сочетании навоза КРС с минеральными удобрениями. Установлено достоверное увеличение содержания легкогидролизуемого азота, подвижного фосфора, степени подвижности фосфатов глубиной до метра. Однако применение минеральных удобрений привело к подкислению почвы, отмечено увеличение гидrolитической кислотности по всему метровому слою. Дополнительное внесение навоза сократило отрицательное влияние минеральных удобрений на кислотность. Только органо-минеральная система удобрений обеспечила стабилизацию и увеличение содержания органического вещества почвы. Применение органических удобрений в чистом виде в меньшей степени повлияло на показатели плодородия почвы, изменения отмечены в основном в слое 0–60 см. Максимальная продуктивность полевого семипольного севооборота получена при использовании органо-минеральной системы удобрений.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агроклиматические ресурсы Пермской области / Под ред. Григорчук Е.В. Л.: Гидрометеоиздат, 1979. 156 с.
2. Агрохимия на службе земледелия / Под ред. Поповой С.И. Пермь: Кн. изд-во, 1981. 176 с.
3. Андрианов С.Н. Формирование фосфатного режима дерново-подзолистой почвы в разных системах удобрений. М.: ВНИИА, 2004. 296 с.
4. Васбиева М.Т., Завьялова Н.Е., Фомин Д.С., Тетерлев И.С. Изменение фосфатного режима дерново-подзолистой почвы по профилю при длительном применении удобрений // Плодородие. 2017. № 5(98). С. 17–20.
5. Гавришко О.С., Ткаченко Н.А., Олифир Ю.Н., Партыка Т.В. Изменение физико-химических и агро-



- химических свойств генетических горизонтов светло-серой лесной поверхностноуглеенной почвы при длительном антропогенном воздействии // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. 2018. № 3. С. 81–84.
6. *Гамзиков Г.П.* Состояние и перспективы исследований в длительных стационарных опытах с удобрениями в Сибири // Плодородие. 2016. № 5. С. 6–9.
  7. *Гомонова Н.Ф., Минеев В.Г.* Динамика гумусного состояния и азотного режима дерново-подзолистой среднесуглинистой почвы при длительном применении удобрений // Агрохимия. 2012. № 6. С. 23–31.
  8. *Завьялова Н.Е., Косолапова А.И., Сторожева А.Н.* Влияние возрастающих доз полного минерального удобрения на органическое вещество и азотный режим дерново-подзолистой почвы Предуралья // Агрохимия. 2014. № 6. С. 20–28.
  9. *Кайгородов Н.Т.* 50 лет агрохимической службе Пермского края. Пермь, 2014. 52 с.
  10. *Калинин А.И.* Агрохимические свойства дерново-подзолистых почв и продуктивность растений. Киров, 2004. 220 с.
  11. *Карпинский Н.П., Замятина В.Б.* Фосфатный уровень почвы // Почвоведение. 1958. № 11. С. 27–39.
  12. *Клечковский В.М.* Об усвоении растениями поглощенных почвой фосфатов // Доклады ТСХА. 1945. № 11. С. 11–14.
  13. *Косолапова А.И., Завьялова Н.Е., Митрофанова Е.М., Васбиева М.Т., Ямалтдинова В.Р., Фомин Д.С., Терлеву И.С.* Эффективность длительного применения удобрений на дерново-подзолистой почве Предуралья // Агрохимия. 2018. № 2. С. 42–25. <https://doi.org/10.7868/S0002188118020047>
  14. *Кузьменко Н.Н.* Изменение показателей плодородия дерново-подзолистой почвы при использовании агротехнологий различной интенсивности в льянном севообороте // Агрохимия. 2018. № 9. С. 14–19. <https://doi.org/10.1134/S0002188118090077>
  15. *Мерзлая Г.Е.* Эффективность длительного применения биологизированных систем удобрения // Агрохимия. 2018. № 10. С. 27–33. <https://doi.org/10.1134/S0002188118100113>
  16. *Минеев В.Г., Гомонова Н.Ф.* Значение фосфора в улучшении свойств дерново-подзолистой почвы при действии и последствии длительного применения минеральных удобрений // Проблемы агрохимии и экологии. 2009. № 2. С. 3–9.
  17. *Минеев В.Г., Гомонова Н.Ф., Морачевская Е.В.* Изменение свойств и калийного состояния дерново-подзолистой среднесуглинистой почвы при 40-летнем применении агрохимических средств // Агрохимия. 2013. № 10. С. 3–12.
  18. *Петухов М.П., Прокошев В.Н.* Применение удобрений в Предуралье. Пермь: Пермское кн. изд-во, 1964. 204 с.
  19. *Пискунов А.С.* Азот почвы и эффективность азотных удобрений на зерновых культурах в Предуралье. Пермь, 1994. 165 с.
  20. Практикум по агрохимии: Учеб. пособие / Под ред. Минеева В.Г. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2001. 639 с.
  21. *Семенов В.М., Когут Б.М.* Почвенное органическое вещество. М.: ГЕОС, 2015. 233 с.
  22. *Сычев В.Г., Соколов О.А., Шмырева Н.Я.* Роль азота в интенсификации продукционного процесса сельскохозяйственных культур. Агрохимические аспекты роли азота в продукционном процессе. М.: ВНИИА, 2009. Т. 1. 424 с.
  23. *Титова В.И., Шафранов О.Д., Варламова Л.Д.* Фосфор в земледелии Нижегородской области. Новгород: Изд-во ВВАГС, 2005. 219 с.
  24. *Фокин А.Д., Чистова Е.Д.* О влиянии гумусовых веществ на сорбцию фосфатов почвами // Агрохимия. 1964. № 11. С. 41–47.
  25. *Хайдуков К.П., Шевцова Л.К., Коваленко А.А., Милютин А.А.* Влияние длительного применения и последствия различных систем удобрения на кислотность, содержание и качественный состав органического вещества почвы // Плодородие. 2014. № 1(76). С. 30–33.
  26. *Чижикова Н.П.* Проблема плодородия почв с позиции трансформации их минерального состава // Российский химический журн. 2005. Т. XLIX. № 3. С. 44–47.
  27. *Шамрикова Е.В., Соколова Т.А., Забоева И.В.* Кислотно-основная буферность органогенных горизонтов подзолистых и болотно-подзолистых почв республики Коми // Почвоведение. 2003. № 7. С. 797–807.
  28. *Шарков И.Н.* Концепция воспроизводства гумуса в почвах // Агрохимия. 2011. № 12. С. 21–27.
  29. *Шустикова Е.П., Шаповалова Н.Н.* Азотный режим чернозема обыкновенного и продуктивность сельскохозяйственных культур в последствии различных доз азотных удобрений // Агрохимия. 2014. № 2. С. 20–25.
  30. *Christopher S.F., Lal R.* Nitrogen management affects carbon sequestration in North American cropland soils // Critical Rev. Plant Sci. 2007. V. 26. P. 45–64. <https://doi.org/10.1080/07352680601174830>
  31. *Dai S., Wang J., Cheng Y., Zhang J., Cai Z.* Effects of long-term fertilization on soil gross N transformation rates and their implications // J. Integrative Agriculture. 2017. V. 16(12). P. 2863–2870. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(17\)61673-3](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(17)61673-3)
  32. *Vasbieva M.T.* Effect of Long-Term Application of Organic and Mineral Fertilizers on the Organic Carbon Content and Nitrogen Regime of Soddy-Podzolic Soil // Eurasian Soil Science. 2019. V. 52. P. 1422–1428. <https://doi.org/10.1134/S1064229319110139>
  33. *Veremeenko S.I., Furmanets O.A.* Changes in the agrochemical properties of dark gray soil in the Western Ukrainian forest-steppe under the effect of long-term agricultural use // Eurasian Soil Science. 2014. V. 47. P. 483–490. <https://doi.org/10.1134/S106422931405024X>
  34. *Wanga H., Xua J., Liub X., Zhanga D., Lia L., Lia W., Shenga L.* Effects of long-term application of organic fertilizer on improving organic matter content and retarding acidity in red soil from China // Soil and Tillage Research. 2019. V. 195. Article 104366. <https://doi.org/10.1016/j.still.2019.104382>
  35. *Whitney D.A., Lamond R.E.* Liming acid soils. 1993. P. 1–4.
  36. *Zheng S.J.* Crop production on acidic soils: overcoming aluminium toxicity and phosphorus deficiency // Annals of Botany. 2010. V. 106. № 1. P. 183–184.

## Change of Agrochemical Properties in Soddy-Podzolic Soil Owing to Long-Term Application of Fertilizers

M. T. Vasbieva\*

*Perm Agricultural Researcher Institute Perm Federal Research Center Ural Branch Russian Academy of Sciences, Lobanovo, Russia*

*\*e-mail: vasbievamt15@gmail.com*

The influence of the long-term use of organic and mineral fertilizers on the changes in soddy-podzolic soil (Glossic Retisol (Loamic, Aric)) properties was studied. These were: organic carbon content, available and mobile forms of nitrogen and phosphorus, soil exchange complex. The studies were carried out in one meter soil thickness in a long-lasting stationary experiment arranged in the Perm region in 1976. It was determined that mineral fertilizers use during five rotation cycles of the seven-course crop rotation significantly increased the contents of easily hydrolyzed nitrogen and available phosphorus; the increase by 1.2–2.6 times compared with control was noted for the whole profile. Easily hydrolyzed nitrogen pool increased in the plow layer from 0.3 to 0.4 t/ha, in one meter-thick layer – from 1.3 to 1.6 t/ha, that of available phosphorus – from 0.3 to 0.8 t/ha and 3.1 to 4.8 t/ha, respectively. The increase of organic matter content was noted only for the layer of 20–40 cm. The systematic application of mineral fertilizers promoted a significant decrease of actual and total acidity throughout the whole profile. Cattle manure application (40 t/ha in a rotation) ensured an improvement of soil exchange complex parameters – increase of base saturation to a depth of 60 cm. Hydrolyzed and mineral nitrogen contents increase, as well as phosphate mobility in the upper soil layer (0–20 cm), the organic carbon content increased insignificantly. Only the joint application of cattle manure and mineral fertilizers significantly increased the content of organic matter in the soil by 1.2–1.6 times in the upper and underlying layers, and ensured recovery of its initial content. Organic carbon pool increased from 28.3 to 32.2 t/ha in the 0–20 cm layer and from 71.5 to 81.8 t/ha in one meter thickness. Cattle manure use reduced the negative effect of mineral fertilizers in relation of soil acidity.

*Keywords:* organic fertilizers, mineral fertilizers, soil fertility, seven-field crop rotation