

АГРОХИМИЯ  
И ПЛОДОРОДИЕ ПОЧВ

УДК 631,8:631.452:631.445.2

ИЗМЕНЕНИЕ АГРОХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ  
ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ТЯЖЕЛОСУГЛИНИСТОЙ ПОЧВЫ  
ПРИ ДЛИТЕЛЬНОМ ПРИМЕНЕНИИ АЗОТНЫХ, ФОСФОРНЫХ  
И КАЛИЙНЫХ УДОБРЕНИЙ В УСЛОВИЯХ ПРЕДУРАЛЬЯ

© 2022 г. М. Т. Васбиева<sup>а</sup>, \*, Н. Е. Завьялова<sup>а</sup>, Д. Г. Шишков<sup>а</sup>

<sup>а</sup>Пермский федеральный исследовательский центр,  
ул. Культуры, 12, с. Лобаново, Пермский район, Пермский край, 614532 Россия

\*e-mail: vashbievamt15@gmail.com

Поступила в редакцию 27.02.2022 г.

После доработки 16.05.2022 г.

Принята к публикации 25.05.2022 г.

Изучено влияние длительного применения азотных, фосфорных и калийных удобрений на изменение в дерново-подзолистой почве (Albic Retisol (Abruptic, Agric)) содержания органического углерода, минерального азота, подвижных форм фосфора и калия, показателей почвенно-поглощающего комплекса. Исследования проведены в метровом слое почвы в условиях многолетнего стационарного опыта, заложенного в Пермском крае в 1978 г. Направление, характер и интенсивность изменений агрохимических свойств почвы зависели от вида и сочетания удобрений (N, P, K, NP, NK, PK и NPK). В опыте применяли аммиачную селитру или мочевины, двойной или простой суперфосфат и калий хлористый. Доза удобрений – 90 кг д. в./га. Установлено, что длительное применение азотных удобрений (N<sub>90</sub>) привело к существенным потерям в почве органического углерода до глубины 40–60 см, запасы C<sub>орг</sub> в метровом слое уменьшились почти на 30%. Длительное применение калия хлористого (K<sub>90</sub>) способствовало увеличению содержания C<sub>орг</sub> в метровом слое почвы, запасы возросли на 40%. Длительное одностороннее внесение суперфосфата (P<sub>90</sub>) не оказало существенного влияния на изменения C<sub>орг</sub> по профилю почвы. Азотные удобрения, как при одностороннем внесении, так и в сочетании с фосфором и калием (NP, NK, NPK), способствовали существенному подкислению почвы. Уменьшение показателя pH<sub>KCl</sub> и увеличение гидролитической кислотности наблюдали до глубины 40–60 см или в метровом слое почвы. В данных вариантах отмечено увеличение содержания минерального азота в почве. Интенсивность миграции минерального азота по профилю зависела от сочетания видов удобрений. Калий хлористый в сочетании с суперфосфатом (P<sub>90</sub>K<sub>90</sub>, N<sub>90</sub>P<sub>90</sub>K<sub>90</sub>) способствовал миграции фосфора по профилю. Отмечено увеличение содержания подвижных соединений фосфора до глубины 60–80 см или в метровом слое почвы. Суперфосфат нивелировал влияние азотных или калийных удобрений на показатели плодородия почвы.

**Ключевые слова:** минеральные удобрения, органический углерод, кислотность почвы, минеральный азот, подвижные соединения фосфора, подвижные соединения калия

DOI: 10.31857/S0032180X22110132

ВВЕДЕНИЕ

Нерациональное использование почв в сельском хозяйстве ведет к деградации их плодородия. По данным ФАО, в мире потеряно около 2 млрд га продуктивных почв, что существенно ограничивает возможности регенеративного растениеводства [9, 14]. Происходят заметные изменения в сложившихся природных циклах углерода, азота, фосфора и калия [16, 28, 31, 36]. В результате отсутствия применения удобрений или нерационального их использования в почве наблюдается уменьшение общего содержания основных элементов питания растений и их подвижных форм или, наоборот, избыточное накопление,

что приводит к загрязнению сопредельных сред. Оптимизация круговоротов веществ в агроэкосистемах, сохранение плодородия почв или его расширение воспроизводством посредством применения удобрений, продолжают оставаться актуальными для решения задач по конструированию агроэкосистем, устойчивых к антропогенным нагрузкам. Основой для создания рациональных и сбалансированных систем удобрений являются результаты исследований в длительных опытах, которые позволяют выявить направленность изменений плодородия почв под влиянием систематического применения агрохимикатов, что представляет большую научную ценность [6, 8, 21, 22, 28].

Цель исследований – оценить влияние видов и соотношений минеральных удобрений на показатели плодородия дерново-подзолистой почвы по профилю.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Полевой стационарный опыт был заложен в 1978 г. на опытном поле Пермского НИИСХ (филиала ПФИЦ УрО РАН) на дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почве (Albic Retisol (Abruptic, Agic, Loamic)). Постановка полевого опыта была проведена по неполной факториальной схеме 1/9 ( $6 \times 6 \times 6$ ). Для исследований были выбраны варианты: без удобрений – контроль;  $N_{90}$ ;  $P_{90}$ ;  $K_{90}$ ;  $(NP)_{90}$ ;  $(NK)_{90}$ ;  $(PK)_{90}$ ;  $(NPK)_{90}$ . В опыте использовали аммиачную селитру или мочевины, простой или двойной суперфосфат и хлористый калий. Исследования проводили в восьмипольном севообороте со следующим чередованием культур: чистый пар, озимая рожь, картофель, пшеница, клевер 1 года пользования (г. п.), клевер 2 г. п., ячмень, овес. Минеральные удобрения вносили под зерновые культуры и картофель, на клевере изучали последствие. Перед закладкой опыта проводили известкование по 1.0 гидролитической кислотности (Нг). Органические удобрения в опыте не использовали. Общая площадь делянки – 120 м<sup>2</sup>, учетная – 76.4 м<sup>2</sup>. Размещение вариантов в опыте рандомизированное. В I–V ротациях солома при уборке отчуждалась с поля, в VI ротации изменился технологический процесс уборки, солому измельчали и запахивали.

Отбор образцов почвы в опыте проводили систематически, осенью, после окончания ротации и уборки последней (замыкающей) культуры севооборота. В начале VI ротации для исследований осенью после уборки сельскохозяйственных культур по профилю отбирали индивидуальные образцы в трех точках на каждой делянке по слоям, через каждые 20 см до глубины 1 м. На момент отбора образцов по профилю в почву в зависимости от варианта было внесено N, P и K – по 2440 кг д. в./га. Основные агрохимические показатели почвы определяли в соответствии с ГОСТами и методиками ЦИНАО. Запасы органического углерода и элементов питания рассчитывали через массу пахотного слоя [24].

Исследования проводили в IV 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 в среднем составляет 115 дней. С температурой выше 15°C – 60 дней. Район относится к зоне достаточного увлажнения: средний ГТК составляет 1.4; осадков за год выпадает 470–500 мм, большая часть приходится на теплое полугодие – с апреля по октябрь (66–77%). Число дней со снежным покровом в среднем составляет 176 [1].

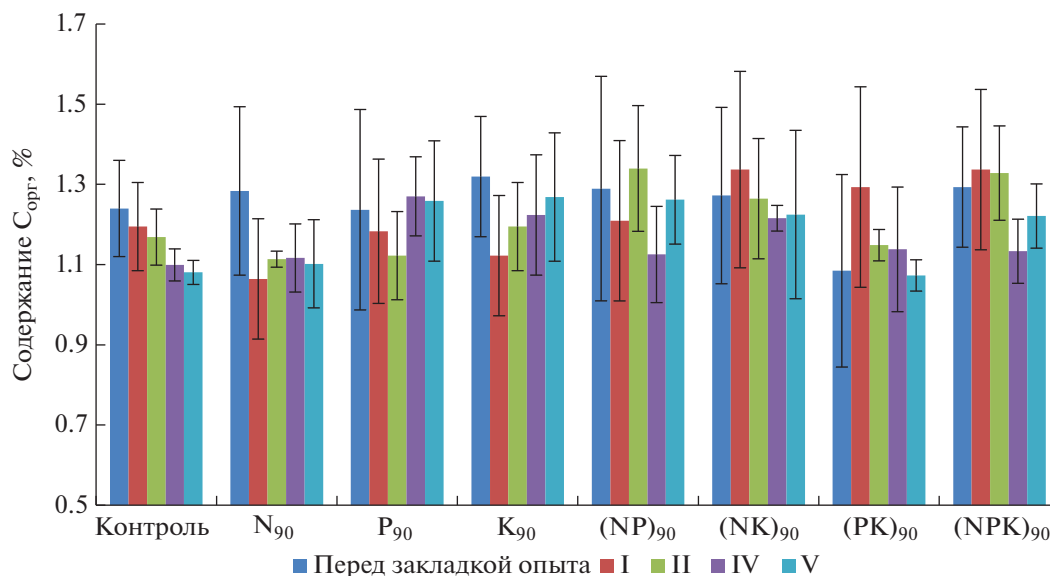
Максимальная продуктивность полевого восьмипольного севооборота в среднем за пять ротаций получена при внесении  $(NPK)_{90}$  – 3.3 т к. ед./га в год, что на 32% достоверно больше контрольного варианта. Минимальный прирост продуктивности отмечен при внесении  $P_{90}$ ,  $K_{90}$  и  $(PK)_{90}$  [10].

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

При длительном экстенсивном возделывании сельскохозяйственных культур в полевом севообороте отмечена тенденция сокращения содержания органического углерода ( $C_{орг}$ ) в пахотном слое с 1.24 до 1.12% (табл. 1, рис. 1), запасы на начало шестой ротации уменьшились на 3 т/га. Аналогичное уменьшение содержания  $C_{орг}$  в дерново-подзолистой почве до 32% от исходного было отмечено в работах [18, 37]. По данным Завьяловой [11], Замятина [12], Козловой [15], Куликовой [17] наличие двух полей клевера в севообороте замедляет процессы дегумификации в почве.

Длительное одностороннее применение азотных удобрений ( $N_{90}$ ) не способствовало сохранению  $C_{орг}$  на исходном уровне, оно, как и в контрольном варианте, уменьшилось на 14%. Аналогичные результаты отмечены в работе Иванова [13]. Следует отметить, что в варианте без удобрений наблюдали постепенное уменьшение содержания  $C_{орг}$  по ротациям севооборота, а при применении азотных удобрений максимальные потери отмечены в первой ротации севооборота, далее происходило поддержание содержания  $C_{орг}$  примерно на одном уровне. Полученные результаты можно объяснить тем, что даже при применении азотных удобрений, 50–60% своих потребностей в этом элементе растения удовлетворяют за счет его органически связанных соединений, переходящих в доступную форму в результате минерализации [19].

При одностороннем применении фосфорных и калийных удобрений в первые ротации были отмечены тенденции к уменьшению содержания  $C_{орг}$ , что могло быть как аналитической ошибкой, так и связано с выносом растениями азота. Однако в IV–VI ротациях наблюдали небольшое увеличение содержания  $C_{орг}$  и выравнивание с исходным уровнем. Возможно, улучшение калийного и фосфатного режимов повлияло на количество и качество послеуборочных остатков [20] и привело



**Рис. 1.** Изменение содержания  $C_{орг}$  в дерново-подзолистой почве (0–20 см) при длительном применении различных видов и соотношений минеральных удобрений, %.

к стабилизации содержания  $C_{орг}$  в почве. Известно, что калий усиливает азотфиксацию и способствует формированию клубеньков на корнях бобовых [4, 25, 26]. В работе Якименко [32] показано, что фиксация аммония почвой в сильной степени зависела от ее калийного состояния; в почве с истощенными запасами калия содержание необменного аммония заметно уменьшилось (вероятно, до минимального уровня), тогда как при бездефицитном калийном балансе в агроценозе количество фиксированного аммония в почве значительно увеличилось. Фосфаты способствуют росту корневой системы и ускоряют развитие растений [27].

При внесении азотно-калийных, фосфорно-калийных, азотно-фосфорных удобрений и полного минерального удобрения (NPK) отмечено варьирование содержания  $C_{орг}$  по ротациям, что скорее всего связано с динамикой урожайности сельскохозяйственных культур.

Распределение запасов  $C_{орг}$  по профилю является одним из важнейших показателей генезиса почвы и ее окультуренности. Запасы  $C_{орг}$  в корнеобитаемом слое определяют производительность почв и в большой мере способствуют устойчивости урожаев сельскохозяйственных культур благодаря способности органического вещества к накоплению и сохранению почвенной влаги во

**Таблица 1.** Изменение содержания  $C_{орг}$  по профилю почвы при длительном применении минеральных удобрений

Вариант	Содержание $C_{орг}$ , %						Запасы $C_{орг}$ , т/га			
	перед закладкой, 0–20	VI ротация					перед закладкой, 0–20	VI ротация		
		0–20	20–40	40–60	60–80	80–100		0–20	0–40	0–100
Без удобрений	1.24	1.12	0.76	0.42	0.28	0.19	32	29	50	77
$N_{90}$	1.28	1.10	0.30	0.24	0.24	0.15	33	29	37	56
$P_{90}$	1.24	1.20	0.65	0.33	0.25	0.16	32	31	49	71
$K_{90}$	1.32	1.38	0.81	0.57	0.59	0.50	34	36	59	110
$(NP)_{90}$	1.29	1.29	0.78	0.49	0.46	0.38	34	34	55	96
$(NK)_{90}$	1.27	1.28	1.07	0.58	0.49	0.46	33	33	62	109
$(PK)_{90}$	1.08	1.07	0.76	0.58	0.57	0.41	28	28	49	96
$(NPK)_{90}$	1.29	1.33	0.86	0.57	0.45	0.39	34	34	58	101
$HCP_{05}$	—	0.19	0.23	0.18	0.20	0.25	—	5	6	20

время засухи и поддержанию благоприятного воздушного режима в период избыточного увлажнения. Кроме того, запас  $C_{орг}$  по профилю определяет интенсивность биологической активности всего корнеобитаемого слоя почвы, способствующей высвобождению необходимых для растений элементов питания и закреплению их избытка с последующей мобилизацией в зависимости от потребности растений и почвенной биоты [29].

Установлено, что длительное одностороннее применение азотных удобрений в опыте, получение высоких урожаев культур в данном варианте и соответственно высокий вынос азота привели к истощению почвы нижележащих горизонтов. Отмечено достоверное уменьшение содержания  $C_{орг}$  в слоях почвы 20–40 и 40–60 см, в результате запасы  $C_{орг}$  в слое 0–100 см уменьшились с 77 (контрольный вариант) до 56 т/га (на 27%).

В вариантах с односторонним применением хлористого калия, а также сочетаний НК отмечается тенденция увеличения  $C_{орг}$  по метровому слою почвы. Запасы  $C_{орг}$  в слое 0–100 см при длительном одностороннем внесении хлористого калия и азотно-калийных удобрений возросли до 110 т/га (на 40%). Влияние хлористого калия на изменение содержания  $C_{орг}$  в почве, возможно, связано не столько с положительным влиянием калия, сколько с хлорид-ионом, содержащимся в данном виде удобрений.

Следует отметить, что хлор, наряду с калием, относится к необходимым элементам минерального питания растений. Этот элемент участвует в общих физиологических процессах поддержания гомеостаза [2, 33, 34]. Хлорид-ион обладает высокой растворимостью и миграционной способностью. По данным Якименко [34] длительное внесение КСl приводит к существенному возрастанию концентрации хлора по всему профилю почвы. Хлорид-ион, благодаря своей подвижности, может легко мигрировать по профилю почвы и постепенно превращаться в устойчивые к разложению хлорорганические вещества; в верхних горизонтах почвы возможно при участии микроорганизмов, в более глубоких слоях – абиотическим путем [5].

Хлорированию почвенного органического вещества способствуют минеральные удобрения. Природные хлорорганические соединения гораздо менее подвижны по сравнению с ионами  $Cl^-$  и представляют неотъемлемую часть органического вещества естественных экосистем [5, 38]. Хлорорганические соединения устойчивы к выщелачиванию [35].

При внесении полного минерального удобрения (NPK) существенных изменений  $C_{орг}$  по профилю почвы не наблюдали, что, возможно, связано с влиянием фосфора на изменение условий питания растений или характер почвенных процессов.

При длительном экстенсивном возделывании сельскохозяйственных культур в опыте выявлена тенденция к подкислению почвы и уменьшению суммы обменных оснований относительно исходного уровня (табл. 2). Подкислению почвы и уменьшению суммы обменных оснований способствует вынос с урожаем сельскохозяйственных культур кальция, магния, калия. Подкисление почвы также может быть связано с загрязнением окружающей среды, выпадением кислотных дождей.

Почвообразующая порода почвы в опыте – 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 обменных оснований [7], что объясняет нейтральную актуальную кислотность почвы и низкое значение гидролитической кислотности в слое 80–100 см контрольного варианта опыта.

Длительное применение азотных удобрений как при одностороннем внесении, так и в сочетании с фосфором и калием (NP, NK, NPK) способствовало существенному подкислению почвы. Увеличение кислотности почвы наблюдали относительно контрольного варианта и исходного уровня при закладке опыта. При длительном внесении  $N_{90}$  и  $(NP)_{90}$  отмечено уменьшение показателя  $pH_{КСl}$  и увеличение гидролитической кислотности до глубины 60 см, при внесении  $(NK)_{90}$  и  $(NPK)_{90}$  по метровому слою. В зависимости от варианта и слоя почвы уменьшение показателя  $pH_{КСl}$  варьировало от 0.3 до 1.2 единиц, гидролитическая кислотность увеличилась на 0.4–1.5 смоль(экв)/кг (в 1.3–1.8 раза). Длительное внесение калийных удобрений способствовало поддержанию кислотности почвы на исходном уровне. Применение фосфорных удобрений не оказало существенного влияния на показатели кислотности почвы, изменения находились на уровне варианта без удобрений.

В вариантах  $(NK)_{90}$  и  $(NPK)_{90}$  отмечено наибольшее уменьшение суммы обменных оснований относительно исходного уровня (на 24–27%). При внесении азотно-калийных удобрений одновременно с увеличением показателей кислотности почвы отмечено уменьшение по всему профилю суммы обменных оснований в 1.1–1.6 раза. В варианте  $(NPK)_{90}$  достоверное уменьшение суммы обменных оснований по профилю отмечено только в слое 80–100 см. Уменьшение суммы обменных оснований в этих вариантах в первую очередь происходило из-за выщелачивания обменных катионов в результате сильного подкисления почвы за пределы метрового слоя. Однако в вариантах  $N_{90}$  и  $(NP)_{90}$  не наблюдали уменьше-

**Таблица 2.** Изменение кислотности почвы, суммы обменных оснований и степени насыщенности почв основаниями по профилю при длительном применении минеральных удобрений (Нг – гидролитическая кислотность, S – сумма обменных оснований, V – степень насыщенности почвы основаниями)

Вариант	Перед закладкой, 0–20	VI ротация				
		0–20	20–40	40–60	60–80	80–100
pH <sub>KCl</sub>						
Без удобрений	5.7	5.2	4.9	4.8	4.8	6.0
N <sub>90</sub>	5.7	4.9	4.5	4.5	4.9	5.6
P <sub>90</sub>	5.9	5.1	5.1	4.9	4.9	5.7
K <sub>90</sub>	6.0	5.5	5.1	4.7	4.7	5.7
(NP) <sub>90</sub>	5.5	4.5	4.3	4.2	5.0	6.0
(NK) <sub>90</sub>	5.5	4.6	4.6	4.3	4.5	4.9
(PK) <sub>90</sub>	6.0	5.2	4.7	4.5	4.7	5.7
(NPK) <sub>90</sub>	5.9	4.7	4.6	4.5	4.5	4.7
HCP <sub>05</sub>		0.3	0.4	0.3	0.3	0.5
Нг, смоль(экв)/кг						
Без удобрений	2.2	2.5	2.7	2.8	2.8	1.4
N <sub>90</sub>	2.4	3.5	3.7	3.3	2.6	1.7
P <sub>90</sub>	2.1	2.6	2.9	3.1	2.7	1.7
K <sub>90</sub>	1.9	1.6	2.4	2.7	2.7	1.6
(NP) <sub>90</sub>	2.5	3.8	3.9	4.0	2.8	1.3
(NK) <sub>90</sub>	2.8	3.9	3.3	3.6	3.1	2.2
(PK) <sub>90</sub>	2.8	2.6	2.7	3.0	2.6	1.3
(NPK) <sub>90</sub>	2.0	4.0	3.5	3.5	2.9	2.5
HCP <sub>05</sub>	–	0.2	0.4	0.5	0.3	0.4
S, смоль(экв)/кг						
Без удобрений	20.0	17.0	18.3	24.0	27.7	40.7
N <sub>90</sub>	21.0	18.7	22.5	25.7	28.5	38.3
P <sub>90</sub>	20.8	19.1	19.3	24.6	26.7	38.1
K <sub>90</sub>	21.8	18.6	21.6	23.8	25.7	36.0
(NP) <sub>90</sub>	19.3	15.9	18.8	22.8	26.9	43.0
(NK) <sub>90</sub>	18.0	13.6	15.0	22.0	24.5	26.1
(PK) <sub>90</sub>	17.0	16.8	20.2	22.6	24.9	36.6
(NPK) <sub>90</sub>	21.5	15.7	18.5	23.0	25.7	29.6
HCP <sub>05</sub>	–	3.4	2.8	1.9	3.1	7.0
V, %						
Без удобрений	90	87	87	90	91	97
N <sub>90</sub>	90	84	85	88	92	96
P <sub>90</sub>	91	88	87	89	91	96
K <sub>90</sub>	92	92	90	89	90	96
(NP) <sub>90</sub>	89	80	83	85	91	97
(NK) <sub>90</sub>	87	78	82	86	89	92
(PK) <sub>90</sub>	86	87	88	88	90	96
(NPK) <sub>90</sub>	91	79	84	87	90	92
HCP <sub>05</sub>		3	3	2	2	2

ние показателей суммы обменных оснований, что, по-видимому, связано с тем, что складывающееся соотношение N : P : K в почве по-разному влияло на почвенные процессы. Степень насыщенности почвы основаниями в вариантах (NK)<sub>90</sub> и (NPK)<sub>90</sub> уменьшилась по всему метровому слою, в вариантах N<sub>90</sub> и (NP)<sub>90</sub> – до глубины 40–60 см.

Содержание обменных соединений кальция и магния в опыте по профилю увеличивалось с глубиной: с 13.4–16.9 (0–20 см) до 26.2–32.4 смоль(экв)/кг (80–100 см) и с 1.9–2.6 до 3.8–7.1 смоль(экв)/кг соответственно. Для пахотного слоя почвы не выявлено существенных закономерностей изменения содержания обменных форм кальция и магния в результате длительного внесения удобрений. Большие запасы валового содержания кальция и магния в исследуемой дерново-подзолистой почве могут являться основной причиной устойчивого содержания их обменных форм [23].

Важнейшим показателем окультуренности почв, обязательным условием высокой продуктивности сельскохозяйственных культур и их устойчивости к неблагоприятным факторам является степень обеспеченности почв азотом, фосфором и калием.

Содержание минерального азота в почве, его нитратной и аммонийной форм, содержание подвижных соединений калия с глубиной по профилю в контрольном варианте опыта уменьшалось, содержание подвижных соединений фосфора возрастало (табл. 3, 4).

Длительное применение азотных удобрений как при одностороннем внесении, так и в сочетании с фосфорными и калийными удобрениями (NK, NP, NPK) способствовало существенному накоплению минерального азота в почве. Однако различное сочетание N, P, K в вариантах по-разному влияло на количественные изменения и глубину миграции минерального азота. Длительное внесение азотных удобрений в чистом виде увеличило содержание нитратного азота в почве по всему метровому слою в 1.5–2.5 раза, аммонийного – в 1.5–14.6 раза, в сумме минерального – в 1.8–5.9 раза. Запасы минерального азота в почве в слое 0–20 см выросли в 2 раза, слое 0–100 см – почти в 3 раза.

Накопление минерального азота в почве в вариантах (NP)<sub>90</sub>, (NK)<sub>90</sub> и (NPK)<sub>90</sub> проходило с меньшей интенсивностью. При внесении (NP)<sub>90</sub> отмечено достоверное увеличение содержания в метровом слое почвы только нитратной формы азота. В варианте (NK)<sub>90</sub> накопление минерального азота за счет обеих его форм отмечено только в пахотном и подпахотном слоях почвы, при внесении полного минерального удобрения (NPK)<sub>90</sub> – до глубины 40–60 см. Запасы минерального азота в вариантах (NP)<sub>90</sub>, (NK)<sub>90</sub> и

(NPK)<sub>90</sub> в слое 0–20 см увеличились в 2–3 раза, в слое 0–100 см – в 2 раза. Максимальное накопление минерального азота в пахотном слое почвы наблюдали при внесении полного минерального удобрения.

При длительном внесении калийных и фосфорно-калийных удобрений отмечено достоверное уменьшение содержания нитратного азота с глубины 40–60 см. Возможно, это связано с увеличением потребления нитратного азота растениями, что сократило его естественные потери в нижележащие слои почвы в сравнении с контрольным вариантом. В работе [32] отмечается, что оптимизация калийного состояния почвы привела к усилению потребления растениями нитратов.

В варианте без удобрений доля нитратного азота в составе минерального с глубиной возрастала, а аммонийного уменьшалась. Длительное применение удобрений привело к увеличению доли аммонийного азота с глубиной. Только внесение полного минерального удобрения (NPK)<sub>90</sub> способствовало сохранению близкого к контрольному варианту соотношения двух форм азота по профилю.

Содержание подвижных соединений фосфора в пахотном слое почвы при длительном экстенсивном возделывании сельскохозяйственных культур (без удобрений) уменьшилось на 20%, что связано с выносом урожаем. В варианте N<sub>90</sub> отмечено сохранение подвижных соединений фосфора на исходном уровне, в вариантах K<sub>90</sub> и (NK)<sub>90</sub> – отмечены тенденции к увеличению этого показателя в 1.3–1.5 раза. Полученные результаты не согласуются с хозяйственным балансом фосфора. Баланс фосфора в контрольном варианте опыта, при внесении K<sub>90</sub>, N<sub>90</sub>, и (NK)<sub>90</sub> был на одном уровне и составил минус 19–21 кг/га в год. Устойчивость различных минеральных соединений фосфора в значительной степени зависит от величины кислотности почвенного раствора [3, 30]. Подкисление почвы в результате длительного применения азотных и азотно-калийных удобрений могло увеличить растворимость некоторых минеральных соединений фосфора и повлиять на увеличение содержания его подвижной формы. Также в вариантах N<sub>90</sub> и (NK)<sub>90</sub> отмечено достоверное уменьшение содержания подвижных соединений фосфора в подпахотном горизонте (20–40 см) на 30–35%, поэтому, возможно, на слой 20–40 см приходились основные потери фосфора. Создание высокого калийного фона при длительном внесении калийных удобрений могло привести к замещению или вытеснению фосфора из его труднодоступных соединений. Тенденции увеличения содержания подвижных соединений фосфора в

**Таблица 3.** Изменение содержания минерального азота по профилю почвы при длительном применении минеральных удобрений

Вариант	Содержание, мг/кг					Запасы, кг/га		
	0–20	20–40	40–60	60–80	80–100	0–20	0–40	0–100
$N_{\text{мин}}$								
Без удобрений	10.3	7.7	5.1	4.5	3.9	27	47	89
$N_{90}$	20.3	13.5	11.2	26.6	11.9	53	89	242
$P_{90}$	10.0	10.1	5.4	10.9	4.3	26	53	117
$K_{90}$	7.8	8.3	5.0	4.6	5.4	20	43	89
$(NP)_{90}$	21.4	13.6	9.3	7.8	12.9	56	92	185
$(NK)_{90}$	18.6	24.4	7.6	6.5	6.5	48	114	177
$(PK)_{90}$	8.3	6.4	4.9	4.9	6.3	22	39	88
$(NPK)_{90}$	29.9	11.8	10.0	6.8	6.2	78	110	179
$HCP_{05}$	8.3	5.8	3.2	9.0	3.6	20	38	53
$N-NO_3$								
Без удобрений	5.0	5.3	4.0	3.0	2.6	13	27	57
$N_{90}$	12.3	8.1	6.4	5.4	5.2	32	54	106
$P_{90}$	4.0	3.8	2.7	2.3	2.1	10	21	42
$K_{90}$	3.9	3.0	1.4	1.3	1.6	10	18	31
$(NP)_{90}$	14.2	7.9	5.4	5.4	7.9	37	58	116
$(NK)_{90}$	10.7	6.8	4.0	3.8	3.8	28	46	82
$(PK)_{90}$	4.1	3.3	2.0	1.6	2.5	11	19	38
$(NPK)_{90}$	13.3	6.5	5.5	3.5	3.6	34	52	90
$HCP_{05}$	7.2	2.6	1.9	1.4	1.7	18	30	39
$N-NH_4$								
Без удобрений	5.3	2.4	1.1	1.5	1.3	14	20	32
$N_{90}$	8.0	5.4	4.8	21.2	6.7	21	35	136
$P_{90}$	6.0	6.3	2.8	8.6	2.2	16	33	74
$K_{90}$	3.8	5.3	3.6	3.3	3.8	10	24	57
$(NP)_{90}$	7.2	5.7	4.0	2.3	5.0	19	34	69
$(NK)_{90}$	7.9	17.7	3.6	2.7	2.7	21	68	96
$(PK)_{90}$	4.2	3.1	2.9	3.3	3.8	11	19	50
$(NPK)_{90}$	16.7	5.3	4.5	3.3	2.6	43	58	89
$HCP_{05}$	2.6	7.2	3.1	9.9	3.8	30	33	57

почве в варианте  $K_{90}$  наблюдаются с IV ротации севооборота.

Длительное внесение фосфорных удобрений в чистом виде и в сочетании с азотом и калием (NP, PK, NPK) обеспечило повышение уровня исходного содержания подвижных соединений фосфора в 1.9–2.7 раза, что подтверждается расчетами баланса фосфора (+34–37 кг в год). Максимальное накопление в пахотном слое почвы отмечено в варианте  $P_{90}$ , запасы увеличились с 0.4 до 1.2 т/га. Длительное односторонне внесение фосфорных

удобрений привело к достоверному увеличению содержания подвижных соединений фосфора в почве до глубины 40–60 см,  $(NPK)_{90}$  – до глубины 60–80 см. Фосфорно-калийные удобрения способствовали увеличению содержания подвижной формы фосфора в слое 0–20, 40–60, 60–80 и 80–100 см. Запасы в метровом слое почвы в данных вариантах возросли относительно контрольного варианта с 3.3 до 4.5–5.0 т/га (в 1.4–1.5 раза). Сочетание фосфорных удобрений с азотными привело к увеличению содержания подвижных со-

**Таблица 4.** Изменение содержания подвижных соединений фосфора и калия по профилю почвы при длительном применении минеральных удобрений

Вариант	Содержание, мг/кг						Запасы, т/га			
	перед закладкой, 0–20	VI ротация					перед закладкой, 0–20	VI ротация		
		0–20	20–40	40–60	60–80	80–100		0–20	0–40	0–100
<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>										
Без удобрений	240	192	167	139	236	376	0.6	0.5	0.9	3.3
N <sub>90</sub>	198	188	110	175	283	337	0.5	0.5	0.8	3.2
P <sub>90</sub>	169	461	225	243	300	419	0.4	1.2	1.8	4.8
K <sub>90</sub>	152	235	194	166	207	361	0.8	0.6	1.1	3.4
(NP) <sub>90</sub>	203	397	153	140	250	330	0.5	1.0	1.4	3.7
(NK) <sub>90</sub>	138	185	122	119	246	410	0.4	0.5	0.8	3.2
(PK) <sub>90</sub>	177	397	172	188	408	526	0.5	1.0	1.5	5.0
(NPK) <sub>90</sub>	194	371	225	188	328	428	0.5	1.0	1.6	4.5
HCP <sub>05</sub>	–	123	41	48	91	100	–	0.3	0.3	0.8
<b>K<sub>2</sub>O</b>										
Без удобрений	190	129	116	98	91	82	0.49	0.34	1.0	2.6
N <sub>90</sub>	157	112	101	100	90	79	0.41	0.29	0.8	2.5
P <sub>90</sub>	159	108	95	102	103	82	0.41	0.28	0.8	2.5
K <sub>90</sub>	156	217	129	107	94	85	0.41	0.56	1.3	3.0
(NP) <sub>90</sub>	169	109	100	112	104	85	0.44	0.28	0.8	2.5
(NK) <sub>90</sub>	158	218	135	124	108	91	0.41	0.57	1.3	3.3
(PK) <sub>90</sub>	162	195	110	107	88	72	0.42	0.51	1.1	2.7
(NPK) <sub>90</sub>	185	230	140	122	102	98	0.48	0.60	1.4	3.3
HCP <sub>05</sub>	–	17	13	18	$F_{\phi} < F_{\tau}$	$F_{\phi} < F_{\tau}$	–	0.05	0.1	0.2

единений фосфора только в верхнем слое почвы (0–20). Полученные результаты свидетельствуют, что калий хлористый в сочетании с суперфосфатом способствовал миграции фосфора из удобрений по профилю.

Длительное экстенсивное использование пашни без удобрений, а также внесение только азотных и фосфорных удобрений (N, P, NP) привело к уменьшению содержания подвижных соединений калия в пахотном слое почвы относительно исходного уровня на 29–36%. Почва по обеспеченности подвижными соединениями калия перешла из групп “высокое и повышенное содержание” в группу “среднее содержание”. В вариантах N<sub>90</sub>, P<sub>90</sub> и (NP)<sub>90</sub> отмечено уменьшение количества подвижных соединений калия и в подпахотном слое почвы, что связано с более высокой урожайностью культур и соответственно более интенсивным выносом калия по сравнению с контролем. В результате запасы подвижных соединений калия в почве в слое 0–40 см уменьшились с 1.0 в контрольном варианте до 0.8 т/га (на 20%).

Длительное применение калийных удобрений как при одностороннем внесении, так и в сочетании с азотными и фосфорными, обеспечило увеличение содержания подвижных соединений калия в пахотном слое почвы относительно исходного уровня на 20–40%. Длительное внесение калия хлористого в чистом виде увеличило содержание подвижной формы калия в пахотном и подпахотном слоях почвы, в вариантах (NK)<sub>90</sub> и (NPK)<sub>90</sub> – до глубины 40–60 см. В результате запасы подвижных соединений калия в метровом слое почвы увеличились в 1.2–1.3 раза. Внесение фосфорно-калийных удобрений оказало влияние только на пахотный слой почвы.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Соотношение N : P : K в почве по-разному влияло на показатели плодородия почвы, что говорит о сложности происходящих в ней процессов, о наличии множества зависимостей между



показателями и влиянии сопутствующих условий среды.

Длительное одностороннее применение азотных удобрений ( $N_{90}$ ) на дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почве в течение 40 лет привело к существенным потерям содержания органического углерода в слое почвы 0–60 см, запасы  $C_{орг}$  в метровом слое уменьшились почти на 30%. В слое 0–60 см наблюдали подкисление почвы. Отмечено увеличение содержания минерального азота в метровом слое, запасы возросли почти в 3 раза. Это свидетельствует об усилении процессов минерализации органического вещества в почве и непроизводительных потерях азота. Установлено достоверное уменьшение содержания подвижных соединений фосфора в подпахотном слое и подвижных соединений калия в слое 0–40 см, запасы уменьшились на 10–20%.

Длительное внесение фосфорных удобрений ( $P_{90}$ ) обеспечило на начало VI ротации поддержание содержания органического углерода в пахотном слое почвы на исходном уровне, не оказало существенного влияния на показатели почвенного поглощающего комплекса и на изменение количества минерального азота. Отмечено уменьшение содержания подвижных соединений калия в слое 0–40 см, запасы сократились на 20%. Увеличение содержания подвижных соединений фосфора отмечено в слое 0–60 см. Максимальное накопление подвижной формы фосфора отмечено в пахотном слое, запасы возросли в 3 раза.

Длительное применение калия хлористого ( $K_{90}$ ) способствовало увеличению содержания  $C_{орг}$  в метровом слое почвы, запасы возросли на 40%. Отмечены тенденции уменьшения гидролитической кислотности в пахотном слое относительно исходного уровня. Наблюдали уменьшение содержания нитратного азота в почве с глубины 40–60 см. Увеличение содержания обменных соединений калия в 1.2 раза наблюдали в пахотном и подпахотном слоях почвы.

Применение сочетания азотных удобрений с калием хлористым ( $NK_{90}$ ) по сравнению с применением только азотных удобрений привело к более сильному подкислению почвы, уменьшению суммы обменных оснований и степени насыщенности почвы основаниями. Достоверное накопление минерального азота отмечено только в слое 0–40 см. По сравнению с применением только калия хлористого наблюдали более сильную миграцию подвижных соединений калия – до глубины 40–60 см.

Внесение суперфосфата совместно с азотными удобрениями ( $(NP)_{90}$ ) стабилизировало содержание органического углерода в почве. Уменьшения его содержания по профилю почвы как при применении только азотных удобрений, не наблюда-

ли. Также отмечена более слабая интенсивность миграции минерального азота по профилю, что свидетельствует об уменьшении его непроизводительных потерь. Изменение показателей кислотности почвы, суммы обменных оснований, содержания подвижных соединений калия происходило аналогично варианту внесения только азотных удобрений. Совместное внесение суперфосфата и азотных удобрений привело к увеличению содержания подвижной формы фосфора только в пахотном слое в 2 раза. Миграции по профилю подвижных соединений фосфора как при внесении только азотных удобрений не наблюдали. Хозяйственный вынос и баланс этого элемента в обоих случаях одинаков (+37 кг/га), что говорит о закреплении фосфора при внесении  $(NP)_{90}$  в других более труднодоступных формах.

Сочетание суперфосфата с калием хлористым ( $(PK)_{90}$ ) или калием хлористым и азотными удобрениями ( $(NPK)_{90}$ ), как и в случае с азотно-фосфорными удобрениями, стабилизировало содержание органического углерода в почве. Не наблюдали увеличения этого показателя по профилю, как при внесении калия хлористого в чистом виде или его уменьшения, как при внесении азотных удобрений. Калий хлористый в сочетании с суперфосфатом ( $(PK)_{90}$ ) и  $(NPK)_{90}$  способствовал миграции фосфора из удобрений по профилю. Отмечено увеличение содержания подвижных соединений фосфора до глубины 60–80 см или в метровом слое почвы.

## ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Пермского края в рамках научного проекта № 20-45-596005 р\_НОЦ\_Пермский край.

## КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Конфликт интересов отсутствует.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агроклиматические ресурсы Пермской области: справочник. М.: Гидрометеиздат, 1979. 156 с.
2. *Алехина Н.Д., Балконин Ю.В., Гавриленко В.Ф.* Физиология растений. М.: Академия, 2005. 640 с.
3. *Андрианов С.Н.* Формирование фосфатного режима дерново-подзолистой почвы в разных системах удобрений. М.: ВНИИА, 2004. 296 с.
4. *Беляев Г.Н.* Калийные удобрения из калийных солей Верхнекамского месторождения и их эффективность. Пермь: Перм. кн. изд-во, 2005. 304 с.
5. *Водяницкий Ю.Н., Макаров М.И.* Хлороорганические соединения и биогеохимический цикл хлора в почвах (обзор) // Почвоведение. 2017. № 9. С. 1065–1073.  
<https://doi.org/10.7868/S0032180X17090118>

6. *Гамзиков Г.П.* Состояние и перспективы исследований в длительных стационарных опытах с удобрениями в Сибири // Плодородие. 2016. № 5. С. 6–9.
7. *Глазовская М.А., Кречетов П.П., Черницова О.В.* Общие закономерности накопления и возобновления запасов элементов-органогенов в дерново-подзолистых почвах хвойно-широколиственных лесов // Почвоведение. 2004. № 12. С. 1430–1439.
8. *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.
9. Доклад Продовольственной и сельскохозяйственной организаций Объединенных Наций “Состояние знаний о биоразнообразии почв” // <https://www.fao.org/biotech/biotech-news/ru/>
10. *Завьялова Н.Е., Васбиева М.Т., Шишков Д.Г., Казакова И.В.* Влияние минеральных удобрений на трансформацию калийного фонда дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почвы // Агрохимия. 2022. № 1. С. 3–9. <https://doi.org/10.31857/S0002188122010136>
11. *Завьялова Н.Е., Широких И.Г., Васбиева М.Т., Фомин Д.С.* Влияние различных типов землепользования на прокариотные сообщества и стабилизацию органического вещества дерново-подзолистой почвы // Почвоведение. 2021. № 2. С. 232–239. <https://doi.org/10.31857/S0032180X21020167>
12. *Замятин С.А., Измestьев В.М.* Влияние культур севооборота на среднегодовое поступление растительных остатков за ротацию севооборотов // Вестник Марийского гос. ун-та. Сер. Сельскохозяйственные науки. Экономические науки. 2016. Т. 2. № 1(5). С. 18–22.
13. *Иванов А.И., Воробьев В.А., Иванова Ж.А.* Современные деградационные процессы в хорошо окультуренных дерново-подзолистых почвах // Проблемы агрохимии и экологии. 2015. № 3. С. 15–19.
14. *Карпунин М.Ю., Байкин Ю.Л., Батыршина Э.Р.* Анализ современного состояния агроландшафтов и пути повышения их секвестрационного потенциала при сельскохозяйственном использовании на среднем Урале // Вестник Курганской ГСХА. 2021. № 4(40). С. 3–8. [https://doi.org/10.52463/22274227\\_2021\\_40\\_3](https://doi.org/10.52463/22274227_2021_40_3)
15. *Козлова Л.М., Носкова Е.Н., Попов Ф.А.* Оптимизация полевых севооборотов, как фактор сохранения почвенного плодородия и экологизации земледелия // Теоретическая и прикладная экология. 2020. № 3. С. 147–153. <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2020-3-147-153>
16. *Кудяров В.Н.* Баланс азота, фосфора и калия в земледелии России // Агрохимия. 2018. № 10. С. 3–11. <https://doi.org/10.1134/S0002188118100101>
17. *Куликова А.Х.* Дифференциация севооборотов по влиянию на режим органического вещества почвы // Вестник Ульяновской гос. сельскохозяйственной академии. 2011. № 2(14). С. 27–33.
18. *Литвинский В.А., Муравин Э.А., Черников В.А., Грицевич Ю.Г., Игнатов В.Г., Хлыстовский А.Д.* Продуктивность севооборота с клеверным паром и агрохимические свойства дерново-подзолистой почвы в длительном опыте Д.Н. Прянишникова № 2 на Долгопрудной агрохимической опытной станции // Агрохимия. 2010. № 9. С. 19–30.
19. *Лыков А.М., Еськов А.И., Новиков М.Н.* Органическое вещество пахотных почв Нечерноземья. М.: Рос. акад. с.-х. наук, 2004. 630 с.
20. *Медведев И.Ф., Деревягин С.С., Губарев Д.И., Бузуева А.С., Азарова К.А.* Влияние почвенно-агрохимических показателей на формирование корневой системы яровой мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) в различных погодных условиях на черноземах южных // Проблемы агрохимии и экологии. 2014. № 3. С. 8–13.
21. *Мерзлая Г.Е.* Эффективность длительного применения биологизированных систем удобрения // Агрохимия. 2018. № 10. С. 27–33. <https://doi.org/10.1134/S0002188118100113>
22. *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.
23. *Митрофанова Е.М.* Калий и магний в дерново-подзолистых почвах Предуралья // Аграрный вестник Урала. 2011. № 2(81). С. 9–11.
24. Практикум по агрохимии: учеб. пособие. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2001. 639 с.
25. *Прокошев В.В., Дерюгин И.П.* Калий и калийные удобрения. М.: Ледум, 2000. 185 с.
26. *Пухальская Н.В., Сычев В.Г., Собачкин А.А., Павлова Н.И.* Особенности калийного питания сельскохозяйственных растений в оптимальных и неблагоприятных условиях. М.: ВНИИА, 2009. 192 с.
27. *Соколов А.В.* Агрохимия фосфора. М.: Изд-во Академии наук СССР, 1950. 152 с.
28. *Сычев В.Г., Шафран С.А., Виноградова С.Б.* Плодородие почв России и пути его регулирования // Агрохимия. 2020. № 6. С. 3–13. <https://doi.org/10.31857/S0002188120060125>
29. *Сычев В.Г., Шевцова Л.К., Беличенко М.В.* Влияние длительного применения различных систем удобрения на органофильный состав основных зональных типов почв. Сообщение 1. Дерново-подзолистые почвы // Плодородие. 2019. № 2(107). С. 3–7. <https://doi.org/10.25680/S19948603.2019.107.01>
30. *Титова В.И., Шафронов О.Д., Варламова Л.Д.* Фосфор в земледелии Нижегородской области. Н. Новгород: Изд-во ВВАГС, 2005. 219 с.
31. *Чупрова В.В.* Биологический круговорот углерода и азота в агроэкосистемах Средней Сибири. Автореф. дис. ... докт. биол. н. Новосибирск, 1994. 35 с.
32. *Якименко В.Н.* Влияние длительного применения калийных удобрений на агрохимические свойства почвы // Агрохимия. 2012. № 12. С. 41–46.
33. *Якименко В.Н., Конарбаева Г.А.* Влияние калийных удобрений на содержание макроэлементов и галогенов в картофеле // Агрохимия. 2015. № 1. С. 50–56.
34. *Якименко В.Н.* Накопление компонентов калийных удобрений в почве длительного полевого опы-

- та // Плодородие. 2019. № 3(108). С. 36–39.  
<https://doi.org/10.25680/S19948603.2019.108.11>
35. *Montelius M., Thiry Y., Marang L., Ranger J., Cornelis J.-T., Svensson T., Bastviken D.* Experimental evidence of large changes in terrestrial chlorine cycling following altered tree species composition // *Environ. Sci. Technol.* 2015. V. 49. P. 4921–4928.  
<https://doi.org/10.1021/acs.est.5b00137>
36. *Reichle D.* The global carbon cycle and climate change. 1st Edition. Elsevier, 2019. 388 p.
37. *Sychev V.G., Naliukhin A.N., Shevtsova L.K., Rukhovich O.V., Belichenko M.V.* Influence of Fertilizer Systems on Soil Organic Carbon Content and Crop Yield: Results of Long-Term Field Experiments at the Geographical Network of Research Stations in Russia // *Eurasian Soil Science.* 2020. V. 53. № 12. P. 1794–1808.  
<https://doi.org/10.1134/S1064229320120133>
38. *Winterton N.* Chlorine: the only green element – towards a wider acceptance of its role in natural cycles // *Green Chem.* 2000. V. 2. P. 173–225.  
<https://doi.org/10.1039/B003394O>

## Changes in Agrochemical Properties of Sod-Podzolic Heavy-Loamy Soil by Profile with Prolonged Use of Nitrogen, Phosphorus and Potash Fertilizers in the Conditions of the Pre-Urals

M. T. Vasbiyeva<sup>1, \*</sup>, N. E. Zavyalova<sup>1</sup>, and D. G. Shishkov<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Perm Federal Research Center Ural Branch Russian Academy of Sciences, Lobanovo, 614532 Russia

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

We studied the effect of long-term application of nitrogen, phosphorus and potassium fertilizers on changes in the content of organic carbon, mineral nitrogen, mobile forms of phosphorus and potassium, and indicators of the soil-absorbing complex in soddy-podzolic soil (Albic Retisol (Abruptic, Aric, Loamic)). The studies were carried out in a meter layer of soil under the conditions of a long-term stationary experiment, established in the Perm Territory in 1978. The direction, character, and intensity of changes in the agrochemical properties of the soil depended on the type and combination of fertilizers (N, P, K, NP, NK, PK, and NPK). In the experiment, ammonium nitrate or urea, double or simple superphosphate and potassium chloride were used. Dose of fertilizers – 90 kg AI/ha. It was found that the long-term use of nitrogen fertilizers (N<sub>90</sub>) led to significant losses in the content of organic carbon in the soil to a depth of 40–60 cm, C<sub>org</sub> reserves in the meter layer decreased by almost 30%. Long-term use of potassium chloride (K<sub>90</sub>) contributed to an increase in the content of C<sub>org</sub> in a meter layer of soil, the reserves increased by 40%, which is possibly due to both the influence of potassium and chloride ions. Long-term unilateral application of superphosphate (P<sub>90</sub>) did not have a significant effect on changes in C<sub>org</sub> along the soil profile. Nitrogen fertilizers, both with one-sided application and in combination with phosphorus and potassium (NP, NK, NPK), contributed to significant soil acidification. A decrease in pH<sub>KCl</sub> and an increase in hydrolytic acidity were observed down to a depth of 40–60 cm or in a meter soil layer. In these variants, an increase in the content of mineral nitrogen in the soil was noted. The intensity of mineral nitrogen migration along the profile depended on the combination of fertilizer types. Potassium chloride in combination with superphosphate (P<sub>90</sub>K<sub>90</sub>, N<sub>90</sub>P<sub>90</sub>K<sub>90</sub>) contributed to the migration of phosphorus along the profile. An increase in mobile phosphorus compounds was noted to a depth of 60–80 cm or in a meter layer of soil. The antagonistic relationship of potassium with calcium and magnesium contributed to the movement of exchangeable calcium and magnesium cations into the underlying soil layers. Superphosphate neutralized some aspects of the effect of nitrogen or potassium fertilizers on soil fertility indicators.

*Keywords:* mineral fertilizers, organic carbon, soil acidity, mineral nitrogen, mobile compounds of phosphorus and potassium