

## ИЗМЕНЕНИЕ КИСЛОТНОСТИ И СОСТАВА ППК ПРИ ДЛИТЕЛЬНОМ ВНЕСЕНИИ ВОЗРАСТАЮЩИХ ДОЗ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ В ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЕ

Л.Н. Шихова, доктор сельскохозяйственных наук, О.А. Чеглакова

Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н.В. Рудницкого,  
610007, Киров, ул. Ленина, 166а  
E-mail: shikhova-l@mail.ru

*Исследования проводили с целью изучения влияния длительного применения возрастающих доз минеральных удобрений на величину кислотности и состав почвенно-поглощающего комплекса в пахотном горизонте дерново-подзолистой почвы. Работу выполняли в 2016–2018 гг. в длительном стационарном полевом опыте, заложенном в 1972 г. в Кировской области. Схема эксперимента предполагала изучение следующих вариантов: без удобрений – контроль (0); NPK по 30, 60, 90, 120 и 150 кг/га действующего вещества каждого элемента. Почвенные образцы отбирали ежегодно в каждом варианте 5...6 раз в течение вегетационного сезона. В пробах почвы определяли обменную и гидролитическую кислотность, степень насыщенности основаниями. Длительное (45 лет) применение минеральных удобрений привело к достоверному увеличению всех видов кислотности почвы (16...59 % к контролю), обменной кислотности – на 0,2...0,5 ед.  $pH_{KCL}$  (2...10 % к контролю) в зависимости от вносимой дозы удобрений и года наблюдения. Внесение дополнительно каждые 30 кг действующего вещества удобрений приводило к достоверному повышению обменной (снижению величины  $pH_{KCL}$  на 0,06...0,08 ед.) и гидролитической (на 0,26...0,34 мг-экв./100 г) кислотности почвы. Величины всех изучаемых показателей варьировали в течение вегетационного сезона. Повышение кислотности почвы при возрастании доз вносимых удобрений привело к закономерному снижению степени насыщенности основаниями. Чем больше была доза удобрения, тем значительнее оказалось снижение. В вариантах с максимальными в опыте дозами  $N_{150}P_{150}K_{150}$  степень насыщенности основаниями уменьшилась, по сравнению с контролем, на 10 %.*

## CHANGE IN ACIDITY AND COMPOSITION OF SOIL-ABSORBING COMPLEX AT LONG-TERM APPLICATION OF INCREASING DOSES OF MINERAL FERTILIZERS INTO SOD-PODZOLIC SOIL

Shikhova L.N., Cheglakova O.A.

N.V. Rudnitsky Federal Agricultural Research Center of the North-East,  
Kirov, 166a Lenin Street  
E-mail: shikhova-l@mail.ru

*The purpose of the given article is to study the influence of long-term use of increasing doses of mineral fertilizers on the acidity and composition of the soil-absorbing complex in the arable horizon of sod-podzolic soil. The work was carried out in 2016-2018 on the field of long-term stationary experiment of a geographical network of experiments with fertilizers and other agrochemical means in the international project «EuroSOMNET», laid down in 1972 on the experimental field of the FARC of the North-East (Kirov). The scheme of stationary field experiment involved the study of the following options: without fertilizers (0 – control); NPK 30, 60, 90, 120 and 150 kg/ha of active matter. To study acidity, soil samples were taken from each option 5...6 times during the growing season annually. In soil samples, the exchange and hydrolytic acidity, the degree of saturation with the bases were determined. Long-term (45 years) use of mineral fertilizers led to a significant increase in all types of soil acidity in the arable layer. From the beginning of the experiment up to today, the value of hydrolytic acidity increased by 0.298...1.492 mg-equ/100 g of soil (16...59% to control), and the value of exchange acidity increased by 0.2...0.5 units.  $pH_{KCL}$  (2...10% to control), depending on the used dose of fertilizers and the year of observation. The addition of each 30 kg of fertilizer active matter resulted in a significant increase in the exchange acidity (decrease in  $pH_{KCL}$  value by 0.063...0.081 units) and hydrolytic acidity (by 0.261...0.338 mg-equ/100 g of soil). All studied indicators varied during the growing season. An increase in soil acidity with an increase in the dose of added fertilizers led to a natural decrease in the degree of saturation with the bases. The higher the dose of fertilizer, the greater the reduction. In the maximum dose options ( $N_{150}P_{150}K_{150}$ ) saturation of the bases decreased by 10% compared to the control option.*

**Ключевые слова:** дерново-подзолистая почва, динамика кислотности, степень насыщенности основаниями, минеральные удобрения.

**Key words:** sod-podzolic soil, acidity dynamics, saturation degree with bases, mineral fertilizers

Применение минеральных удобрений – основное условие повышения урожайности сельскохозяйственных культур. Реализация продуктивного потенциала современных сортов сельскохозяйственных культур невозможна без обеспечения их достаточным количеством элементов питания. В последние годы на долю минеральных удобрений приходится почти 40 % прироста производства продовольствия. Их потребление мировым сельским хозяйством в 2016 г. достигло 197,5 млн т [1].

Без применения достаточного количества минеральных удобрений выращивание сельскохозяйственных культур в Нечерноземье невозможно. Бедные элементами питания дерново-подзолистые почвы не способны обеспечивать растения необходимым количеством

минеральных компонентов для создания высокого урожая [2].

Минеральные удобрения применяют давно и повсеместно. Их внесение не может не отразиться на свойствах почвы. Работы по изучению их влияния многочисленны. Однако большинство из них проведено в краткие сроки и не даёт чёткого ответа на вопрос о влиянии удобрений на свойства почвы в долгосрочной перспективе.

Будучи хорошо растворимыми химическими соединениями, удобрения быстро вступают во взаимодействие с почвой и почвенным раствором. Важнейшей характеристикой почвы служит почвенно-поглощающий комплекс (ППК). Его состав определяет кислотность почвы, доступность элементов питания, физико-химические характеристики почвы. ППК – это динамичная система,

**Табл. 1. Изменение обменной кислотности почвы в течение вегетационного периода в зависимости от дозы внесения минеральных удобрений, ед. рН**

Доза удобрения (фактор В)	Дата отбора проб (фактор А)						Среднее по дозе (В)
<b>2016 г.</b>							
	<b>30 апреля</b>	<b>1 июня</b>	<b>24 июня</b>	<b>20 июля</b>	<b>18 августа</b>		
N <sub>0</sub> P <sub>0</sub> K <sub>0</sub>	4,88±0,03	4,92±0,07	4,74±0,04	5,00±0,05	4,90±0,10		4,89d
N <sub>30</sub> P <sub>30</sub> K <sub>30</sub>	4,59±0,08	4,68±0,07	4,60±0,03	4,83±0,06	4,72±0,07		4,68c
N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub>	4,69±0,07	4,76±0,03	4,55±0,07	4,88±0,03	4,68±0,02		4,71c
N <sub>90</sub> P <sub>90</sub> K <sub>90</sub>	4,63±0,04	4,69±0,03	4,52±0,04	4,85±0,04	4,57±0,05		4,65bc
N <sub>120</sub> P <sub>120</sub> K <sub>120</sub>	4,51±0,07	4,77±0,03	4,45±0,10	4,74±0,09	4,59±0,07		4,61b
N <sub>150</sub> P <sub>150</sub> K <sub>150</sub>	4,38±0,07	4,51±0,08	4,34±0,04	4,72±0,05	4,54±0,08		4,50a
Среднее по дате (А)	4,61b*	4,72c	4,53a	4,83d	4,66bc		HCP <sub>A</sub> 0,064 HCP <sub>B</sub> 0,066
<b>2017 г.</b>							
	<b>30 мая</b>	<b>14 июня</b>	<b>4 июля</b>	<b>19 июля</b>	<b>8 августа</b>	<b>31 августа</b>	
N <sub>0</sub> P <sub>0</sub> K <sub>0</sub>	4,92±0,04	4,84±0,07	5,00±0,06	4,83±0,06	4,80±0,03	4,81±0,04	4,87c
N <sub>30</sub> P <sub>30</sub> K <sub>30</sub>	4,69±0,06	4,42±0,04	4,64±0,05	4,59±0,06	4,45±0,04	4,51±0,10	4,55b
N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub>	4,61±0,03	4,53±0,04	4,65±0,05	4,63±0,06	4,51±0,04	4,42±0,04	4,56b
N <sub>90</sub> P <sub>90</sub> K <sub>90</sub>	4,57±0,04	4,47±0,03	4,52±0,04	4,53±0,07	4,36±0,05	4,55±0,04	4,50b
N <sub>120</sub> P <sub>120</sub> K <sub>120</sub>	4,47±0,06	4,45±0,08	4,44±0,05	4,63±0,08	4,69±0,12	4,63±0,07	4,55b
N <sub>150</sub> P <sub>150</sub> K <sub>150</sub>	4,58±0,10	4,49±0,06	4,44±0,06	4,46±0,06	4,24±0,05	4,41±0,07	4,44a
Среднее по дате (А)	4,64d	4,53a	4,62cd	4,61bcd	4,51a	4,55abc	HCP <sub>A</sub> 0,060
<b>2018 г.</b>							
	<b>17 мая</b>	<b>5 июня</b>	<b>18 июня</b>	<b>2 июля</b>	<b>16 июля</b>	<b>30 июля</b>	
N <sub>0</sub> P <sub>0</sub> K <sub>0</sub>	4,94±0,10	4,86±0,05	4,98±0,20	4,62±0,07	4,77±0,10	4,61±0,08	4,80e
N <sub>30</sub> P <sub>30</sub> K <sub>30</sub>	4,54±0,04	4,52±0,03	4,52±0,07	4,47±0,07	4,53±0,05	4,50±0,10	4,51bc
N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub>	4,51±0,15	4,81±0,21	4,83±0,24	4,52±0,21	4,94±0,40	4,53±0,22	4,69de
N <sub>90</sub> P <sub>90</sub> K <sub>90</sub>	4,54±0,18	4,52±0,16	4,48±0,09	4,60±0,18	4,71±0,16	4,68±0,15	4,59cd
N <sub>120</sub> P <sub>120</sub> K <sub>120</sub>	4,27±0,07	4,21±0,06	4,41±0,11	4,46±0,10	4,63±0,12	4,49±0,08	4,41ab
N <sub>150</sub> P <sub>150</sub> K <sub>150</sub>	4,28±0,15	4,34±0,14	4,34±0,13	4,18±0,13	4,32±0,08	4,38±0,08	4,31a
Среднее по дате (А)	4,51ab	4,54ab	4,59bc	4,48a	4,65c	4,53ab	HCP <sub>A</sub> 0,08 HCP <sub>B</sub> 0,11

\*здесь и в табл. 3 достоверно различающиеся значения отмечены разными буквами.

которая активно реагирует на все манипуляции с почвой, в том числе внесение удобрений.

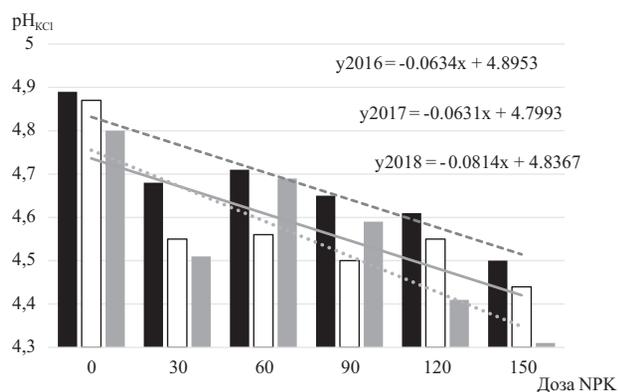
Данные ряда исследователей свидетельствуют о негативном влиянии минеральных удобрений на кислотность почвы и состав ППК. При их внесении увеличиваются показатели обменной и гидролитической кислотности, снижается насыщенность ППК основаниями [3, 4]. В работах других авторов приводятся сведения об отсутствии негативного влияния минеральных удобрений на кислотность почвы, полученные в основном при изучении участков на пастбищах, в севооборотах и почв, изначально сформированных на богатых основаниями породах [5, 6]. Однако результаты исследований на дерново-подзолистых почвах свидетельствуют об однозначно отрицательном влиянии длительного применения только минеральных удобрений на свойства почвы [7, 8].

Помимо непосредственного химического воздействия на компоненты почвы, повышение доз удобрений ведёт к росту урожайности и, соответственно, выносу с урожаем оснований, что также приводит к увеличению кислотности [9].

Остаётся открытым вопрос изменчивости показателей кислотности в течение сезонов. Почва очень динамичная система, активно реагирующая на изменения внешних факторов. Поэтому важнейшие её химические и физико-химические показатели сильно варьируют в течение вегетационного сезона. Изучение сезонной динамики почвенных свойств необходимо для контроля протекающих в ней процессов и состояния агрогеоценоза в целом.

Цель исследования – изучение влияния длительного применения возрастающих доз минеральных удобрений на величину кислотности и состав почвенно-поглощающего комплекса в пахотном горизонте дерново-подзолистой почвы.

**Методика.** Работу выполняли в 2016–2018 гг. в рамках международного проекта «EuroSOMNET» в длительном стационарном полевом эксперименте географической сети опытов с удобрениями и другими агрохимическими средствами, заложенном в 1972 г. на опытном поле ФАНЦ Северо-Востока (г. Киров). Эксперимент проводится в шестипольном



**Рис. 1.** Изменение величины  $pH_{KCl}$  почвы при возрастании дозы удобрений (средние значения за сезон): ■ – 2016 г.; □ – 2017 г.; ▒ – 2018 г.; - - - - - линейная (2016 г.); — — — — — линейная (2017 г.); ······ линейная (2018 г.).

зернотравяном севообороте с традиционным для Кировской области чередованием культур: чистый пар – озимая рожь – ячмень с подсевом клевера – клевер одногодичного использования – яровая пшеница – овёс. В период проведения исследований наблюдения проводили в поле севооборота, занятом яровой пшеницей (2016 г.), овсом (2017 г.), чистым паром (2018 г.). Для исследования выбраны варианты

Статистическую обработку результатов проводили методами дисперсионного и корреляционного анализа с использованием пакета программ Microsoft Excel 2003 и Agros 2.07. Достоверность сезонной динамики кислотности и различий по вариантам с удобрениями оценивали с использованием критерия Дункана.

**Результаты и обсуждение.** В почве контрольного варианта, где удобрения не вносили с закладки опыта, величина обменной кислотности оставалась практически неизменной. В годы наблюдения она варьировала в пределах 4,88...4,94 ед.  $pH_{KCl}$ , что незначительно отличается от величины этого показателя перед закладкой опыта – 4,8 единиц pH (табл. 1).

Многолетнее применение минеральных удобрений привело к достоверному увеличению обменной кислотности (снижению  $pH_{KCl}$ ) пахотного слоя, особенно существенному при внесении высоких доз удобрений. Эти различия в уровне кислотности пахотного слоя отмечались в течение всего вегетационного периода.

Чем выше была доза вносимых удобрений, тем больше величина кислотности. Результаты регрессионного анализа свидетельствуют, что длительное применение дополнительно каждых 30 кг действующего вещества удобрений приводит к достоверному снижению  $pH_{KCl}$  (повышению кислотности) на 0,06...0,08 ед. (рис. 1). Длительное применение самой высокой дозы удобрений привело к достоверному снижению величины  $pH_{KCl}$  на 0,3...0,4 ед.

**Табл. 2.** Средние значения  $pH_{KCl}$  за 3 года (2016–2018 гг.) по месяцам вегетационного периода

Месяц	$N_0 P_0 K_0$	$N_{30} P_{30} K_{30}$	$N_{60} P_{60} K_{60}$	$N_{90} P_{90} K_{90}$	$N_{120} P_{120} K_{120}$	$N_{150} P_{150} K_{150}$
Май	4,93±0,04	4,63±0,03	4,64±0,05	4,60±0,05	4,50±0,06	4,45±0,06
Июнь	4,85±0,07	4,52±0,03	4,64±0,08	4,49±0,03	4,44±0,05	4,49±0,05
Июль	4,88±0,04	4,65±0,04	4,81±0,11	4,71±0,06	4,67±0,05	4,50±0,05
Август	4,77±0,05	4,53±0,05	4,58±0,06	4,54±0,06	4,58±0,05	4,39±0,05

с применением следующих доз NPK: 0 (контроль), 30, 60, 90, 120 и 150 кг/га действующего вещества (д.в.) каждого элемента. В опыте ежегодно вносили аммиачную селитру ( $NH_4NO_3$ ), суперфосфат двойной гранулированный ( $Ca(H_2PO_4)_2 \times H_2O$ ) и хлористый калий (KCl).

Период исследования характеризовался контрастными метеорологическими условиями: 2016 г. – сухая и жаркая погода, 2017 г. – очень влажная и прохладная, 2018 г. – средняя по влажности и осадкам.

Объект исследования – дерново-подзолистая пахотная среднесуглинистая почва, сформированная на элюво-делювии пермских глин и суглинков. До закладки опыта и развёртывания севооборота пахотный слой (0...20 см) почвы характеризовался следующими показателями: обменная кислотность ( $pH_{KCl}$ ) – 4,8; гидролитическая кислотность (Hг) – 3,6 мг-экв./100 г; сумма обменных оснований (S) – 12,58 мг-экв./100 г; степень насыщенности основаниями (V) – 77,75 % [10].

Отбор почвенных проб проводили из пахотного слоя в шестикратной повторности 5...6 раз в течение вегетационного периода.

Для аналитической обработки почвенные пробы готовили общепринятыми методами. Обменную кислотность ( $pH_{KCl}$ ) определяли потенциометрически (ГОСТ 26483-85), гидролитическую кислотность ( $H_g$ ) – по Каппену, сумму поглощённых оснований – по Каппену-Гильковицу, степень насыщенности основаниями – расчётным методом [11].

В разные годы исследований варьирование величины обменной кислотности не совпадает по периодам вегетационного сезона. Усреднение результатов за три года по месяцам вегетации свидетельствует об отсутствии достоверной динамики обменной кислотности в почве контрольного варианта (табл. 2). При внесении удобрений отмечено незначительное повышение обменной кислотности почвы в первой половине сезона, с последующим её снижением в середине вегетации.

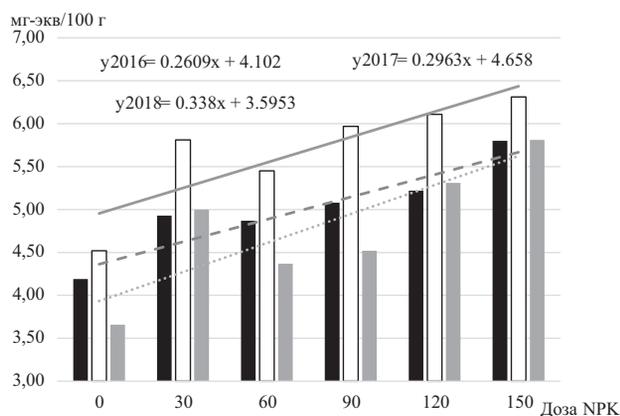
Длительное применение минеральных удобрений достоверно повышает уровень гидролитической кислотности, особенно при внесении высоких доз удобрений (табл. 3). Систематическое внесение дополнительно каждых 30 кг действующего вещества приводит к достоверному повышению гидролитической кислотности на 0,26...0,34 мг-экв./100 г почвы (рис. 2). При ежегодном внесении максимальной в опыте дозы удобрений на исследуемой дерново-подзолистой почве с начала опыта гидролитическая кислотность возросла на 1,30...1,69 мг-экв./100 г почвы.

Степень насыщенности основаниями – важнейший характерный показатель плодородия и свойств почвы. Изначально, до закладки длительного опыта ППК почвы характеризовался низкой насыщенностью основаниями – 77,8 %. В почве контрольного варианта она практически не изменилась и составляет 78...80 % (табл. 4). Постоянный вынос оснований с урожаем сельскохозяйственных культур без применения удобрений и извести должен был привести к закономерному снижению

**Табл. 3. Изменение гидролитической кислотности почвы в течение вегетационного периода в зависимости от дозы внесения минеральных удобрений, мг-экв./100 г**

Доза удобрения (фактор В)	Дата отбора проб (фактор А)						Среднее по дозе (В)
	<b>2016 г.</b>						
	<b>30 апреля</b>	<b>1 июня</b>	<b>24 июня</b>	<b>20 июля</b>	<b>18 августа</b>		
N <sub>0</sub> P <sub>0</sub> K <sub>0</sub>	3,87±0,16	4,07±0,11	4,57±0,10	4,22±0,14	4,25±0,15		4,19a
N <sub>30</sub> P <sub>30</sub> K <sub>30</sub>	4,73±0,26	4,88±0,38	5,28±0,19	4,65±0,10	5,09±0,18		4,93b
N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub>	4,59±0,27	4,65±0,10	5,37±0,08	4,73±0,06	5,02±0,33		4,87b
N <sub>90</sub> P <sub>90</sub> K <sub>90</sub>	4,78±0,14	4,67±0,04	5,51±0,39	5,15±0,16	5,27±0,14		5,08bc
N <sub>120</sub> P <sub>120</sub> K <sub>120</sub>	5,18±0,29	4,78±0,14	5,56±0,17	5,05±0,41	5,56±0,27		5,22c
N <sub>150</sub> P <sub>150</sub> K <sub>150</sub>	6,14±0,33	5,35±0,13	5,86±0,28	5,67±0,16	5,95±0,11		5,80d
Среднее по дате (А)	4,88a	4,73a	5,36c	4,91a	5,19bc		HCP <sub>A</sub> 0,25 HCP <sub>B</sub> 0,23
	<b>2017 г.</b>						
	<b>30 мая</b>	<b>14 июня</b>	<b>4 июля</b>	<b>19 июля</b>	<b>8 августа</b>	<b>31 августа</b>	
N <sub>0</sub> P <sub>0</sub> K <sub>0</sub>	4,37±0,14	4,36±0,14	4,89±0,15	4,71±0,21	4,39±0,02	4,42±0,03	4,52a
N <sub>30</sub> P <sub>30</sub> K <sub>30</sub>	5,29±0,25	5,28±0,23	6,12±0,32	6,14±0,14	5,81±0,15	6,21±0,23	5,81c
N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub>	5,09±0,10	5,38±0,22	5,67±0,31	5,37±0,05	5,57±0,23	5,60±0,05	5,45b
N <sub>90</sub> P <sub>90</sub> K <sub>90</sub>	5,08±0,12	5,70±0,28	6,48±0,05	6,20±0,32	6,20±0,17	6,19±0,07	5,97cd
N <sub>120</sub> P <sub>120</sub> K <sub>120</sub>	5,29±0,22	5,60±0,19	6,34±0,06	6,78±0,37	6,50±0,05	6,17±0,23	6,11d
N <sub>150</sub> P <sub>150</sub> K <sub>150</sub>	5,40±0,15	5,87±0,20	6,50±0,12	6,49±0,13	6,85±0,27	6,69±0,27	6,31e
Среднее по дате (А)	5,09a	5,36b	6,00c	5,95c	5,89c	5,88c	HCP <sub>A</sub> 0,20 HCP <sub>B</sub> 0,19
	<b>2018 г.</b>						
	<b>17 мая</b>	<b>5 июня</b>	<b>18 июня</b>	<b>2 июля</b>	<b>16 июля</b>	<b>30 июля</b>	
N <sub>0</sub> P <sub>0</sub> K <sub>0</sub>	3,01±0,07	3,64±0,30	3,44±0,11	4,10±0,30	3,60±0,20	4,18±0,45	3,66a
N <sub>30</sub> P <sub>30</sub> K <sub>30</sub>	5,08±0,03	5,24±0,15	4,73±0,22	4,86±0,27	5,10±0,18	4,99±0,11	5,00c
N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub>	4,53±0,40	4,77±0,49	3,85±0,05	4,70±0,33	3,94±0,59	4,45±0,11	4,37b
N <sub>90</sub> P <sub>90</sub> K <sub>90</sub>	4,28±0,20	4,54±0,23	4,73±0,37	4,44±0,27	4,68±0,51	4,45±0,23	4,52b
N <sub>120</sub> P <sub>120</sub> K <sub>120</sub>	6,42±0,20	6,36±0,47	4,25±0,16	5,06±0,08	4,87±0,05	4,90±0,28	5,31d
N <sub>150</sub> P <sub>150</sub> K <sub>150</sub>	6,16±0,24	5,49±0,15	5,57±0,14	6,23±0,07	5,98±0,23	5,44±0,16	5,81e
Среднее по дате (А)	4,91b	5,00b	4,43a	4,90b	4,70ab	4,73ab	HCP <sub>A</sub> 0,33 HCP <sub>B</sub> 0,25

степени насыщенности основаниями. Относительное постоянство величины этого показателя в почве в контрольном варианте, очевидно, обусловлено высокой буферностью почвы. Известно, что элюво-делювий пермских карбонатных пород и сформированные на нем почвы несут следы былой карбонатности в виде повышенного содержания оснований [12].



**Рис. 2. Изменение величины гидролитической кислотности почвы при увеличении дозы удобрений (средние значения за сезон): ■ – 2016 г.; □ – 2017 г.; ▒ – 2018 г.; - - - - - линейная (2016 г.); — — — — — линейная (2017 г.); ······ — линейная (2018 г.).**

За годы проведения исследований в составе ППК увеличилась доля алюминия и водорода и снизилось содержание оснований. При внесении возрастающих доз удобрений закономерно и ожидаемо уменьшилась степень насыщенности основаниями. Чем выше была доза удобрения, тем значительнее снижение степени насыщенности основаниями. В варианте с максимальной в опыте дозой N<sub>150</sub>P<sub>150</sub>K<sub>150</sub> она уменьшилась, по сравнению с контролем, на 10 %.

Поскольку степень насыщенности основаниями зависит от кислотности почвы, её величина также изменяется в течение вегетационного периода. Минимальную и максимальную в опыте степень насыщенности основаниями в разные годы отмечали в разные сроки.

Определение урожайности сельскохозяйственных культур в севообороте на исследуемой почве показало, что минимальные в опыте ее величины во все годы характерны для контрольного варианта. Увеличение доз вносимых удобрений приводило к росту урожайности зерновых культур и продуктивности севооборота. Для разных сортов озимой ржи и ячменя наибольшую прибавку отмечали при максимальных в опыте дозах удобрений [10, 13]. То есть, несмотря на ухудшение показателей ППК, внесение высоких доз удобрений повышало продуктивность агроценозов.

Таким образом, длительное (45 лет) систематическое внесение минеральных удобрений привело к достоверному увеличению всех видов кислотности почвы пахотного слоя дерново-подзолистой почвы. На каждые

**Табл. 4. Изменение степени насыщенности основаниями в зависимости от дозы внесения минеральных удобрений (среднее за сезон), %**

Вариант	2016 г.	2017 г.	2018 г.
$N_0P_0K_0$	79,70±0,03	78,49±0,10	77,65±0,22
$N_{30}P_{30}K_{30}$	75,64±0,10	71,27±0,20	69,87±0,11
$N_{60}P_{60}K_{60}$	77,29±0,10	75,22±0,15	74,02±0,29
$N_{90}P_{90}K_{90}$	73,56±0,20	70,77±0,27	72,60±0,10
$N_{120}P_{120}K_{120}$	70,51±0,15	68,46±0,28	67,10±0,57
$N_{150}P_{150}K_{150}$	69,17±0,22	68,11±0,24	64,23±0,10

30 кг действующего вещества дополнительно внесенных удобрений отмечено повышение обменной (снижение величины  $pH_{KCl}$  на 0,06...0,08 ед.) и гидролитической (на 0,26...0,34 мг-экв./100 г) кислотности почвы. За время проведения опыта гидролитическая кислотность почвы возросла на 0,30...1,49 мг-экв./100 г (на 16...59 % к контролю), обменная – на 0,2...0,5 ед.  $pH_{KCl}$  (2...10 % к контролю) в зависимости от вносимой дозы удобрений и года наблюдения. Увеличение кислотности почвы при повышении дозы вносимых удобрений привело к закономерному уменьшению степени насыщенности основаниями.

**Литература**

1. Анализ мирового рынка минеральных удобрений в 2012–2016 гг., прогноз на 2017–2021 гг. URL: <https://marketing.rbc.ru/research/39455/> (дата обращения: 01.07.2022).
2. Сычев В. Г., Шафран С. А., Виноградова С. Б. Плодородие почв России и пути его регулирования // *Агрохимия*. 2020. № 6. С. 3–13.
3. *The Mineral Fertilizer-Dependent Chemical Parameters of Soil Acidification under Field Conditions* / P. Tkaczyk, A. Mocek-Płóciniak, M. Skowrońska, et al. // *Sustainability*. 2020. Vol. 12. No. 17. P. 7165. URL: <https://www.mdpi.com/2071-1050/12/17/7165/htm> (дата обращения: 01.07.2022). doi: 10.3390/su12177165.
4. Чеботарев Н. Т., Броварова О. В., Конкин П. И. Влияние систематического внесения органиче-

ских и минеральных удобрений на плодородие дерново-подзолистой почвы и продуктивность кормовых севооборотов на европейском Севере // *Российская сельскохозяйственная наука*. 2021. № 1. С. 34–37.

5. Goulding KW. Soil acidification and the importance of liming agricultural soils with particular reference to the United Kingdom // *Soil use management*. 2016. Vol. 32 (3). P. 390–399. doi: 10.1111/sum.12270.
6. Комиссарова В. С., Богомолова Ю. А., Сюбаева А. О. Влияние длительного последствия известкования и систематического применения удобрений на кислотность светло-серой лесной почвы // *Плодородие*. 2018. № 2 (101). С. 6–8.
7. Васбиева М. Т. Изменение агрохимических показателей дерново-подзолистой почвы Предуралья при длительном применении удобрений // *Почвоведение*. 2021. № 1. С. 90–99.
8. Кириллова Е. В., Копылов А. Н. Влияние различных систем удобрения на изменение агрохимических свойств почв // *Аграрный вестник Урала*. 2017. № 4 (158). С. 31–36.
9. Чеботарев Н. Т., Броварова О. В. Роль севооборота и удобрений в воспроизводстве плодородия и продуктивности дерново-подзолистых почв республики Коми // *Агрохимический вестник*. 2021. № 4. С. 9–13.
10. Эффективность возрастающих доз минеральных удобрений при возделывании ярового ячменя сорта Новичок / Ф. А. Попов, Л. М. Козлова, Е. Н. Носкова и др. // *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2021. № 22 (2). С. 254–263. doi: 10.30766/2072-9081.2021.22.2.254-263).
11. Аринушкина Е. В. Руководство по химическому анализу почв. М.: Изд-во МГУ, 1970. 488 с.
12. Урусевская И. С., Хохлова О. С., Соколова Т. А. Влияние почвообразующих пород на дифференциацию почв и почвенного покрова северной части Приволжской возвышенности // *Почвоведение*. 1992. № 8. С. 22–38.
13. Эффективность минеральных удобрений при возделывании различных сортов озимой ржи / В. Д. Абашев, Ф. А. Попов, Е. Н. Носкова и др. // *Вестник Марийского государственного университета. Серия «Сельскохозяйственные науки. Экономические науки»*. 2020. Т. 6. № 2. С. 131–136.

Поступила в редакцию 27.07.2022  
 После доработки 05.10.2022  
 Принята к публикации 25.11.2022