

УДК 631.42:631.445.24:631.559:633.1:631.821.1:631.82

## ВЛИЯНИЕ ПОСЛЕДЕЙСТВИЯ ИЗВЕСТИ И СИСТЕМАТИЧЕСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ УДОБРЕНИЙ НА АГРОХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЫ И УРОЖАЙНОСТЬ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР

© 2023 г. Н. А. Кирпичников<sup>1</sup>, С. П. Бижан<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup>Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии им. Д.Н. Прянишникова  
127550 Москва, ул. Прянишникова, 31а, Россия

\*E-mail: kzuek@yandex.ru

Поступила в редакцию 02.12.2022 г.

После доработки 28.12.2022 г.

Принята к публикации 25.01.2023 г.

В длительном полевом опыте показано изменение агрохимических свойств дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почвы и урожайности озимой пшеницы и ярового ячменя при прямом действии разных доз извести и через 35 лет их последствий. Установлено, что высокая эффективность последствий извести с преимуществом большой дозы (23 т CaCO<sub>3</sub>/га) обусловлена существенным повышением содержания подвижного алюминия в почве и уровня гидролитической кислотности на фоне применения минеральных удобрений, особенно одних азотно-калийных удобрений в форме аммиачной селитры и хлористого калия.

*Ключевые слова:* озимая пшеница, яровой ячмень, урожайность, формы удобрений, известкование, дерново-подзолистая почва.

DOI: 10.31857/S0002188123040063, EDN: D1HOER

### ВВЕДЕНИЕ

Повышение производства зерна в нашей стране во многом зависит от плодородия почвы. В большей мере это относится к зоне Центрального Нечерноземья, где слабокультуренные почвы с повышенной кислотностью и слабой обеспеченностью основными элементами питания составляют ≈70%, что является одной из основных причин низкой (≈20–22 ц/га) урожайности зерновых культур [1].

В последние годы темпы известкования значительно сократились, а в некоторых регионах его не проводят совсем. В связи с этим дерново-подзолистые почвы по степени кислотности и другим свойствам существенно различаются [2]. В этих условиях важное значение имеют сведения об эффективности последствий извести в связи с изменением свойств почвы при систематическом применении удобрений. При этом необходимо учитывать не только основные физико-химические свойства почвы и ее гранулометрический состав, но и содержание подвижного алюминия, высокое содержание которого оказывает отрицательное влияние на растения [3–5]. Последнее

связано, как показали результаты исследований в длительных полевых опытах, с систематическим применением физиологически кислых азотно-калийных удобрений [6–8]. Применение фосфорных удобрений в данном случае ослабляет отрицательное влияние алюминия на растения, но полностью его не устраняет, как это происходит при известковании [9–11].

Однако действие и последствие извести при систематическом применении различных удобрений на урожайность озимой пшеницы и ярового ячменя в связи с изменением агрохимических свойств дерново-подзолистой почвы изучено недостаточно, тем более в интенсивных технологиях. Цель работы — изучение действия и последствий различных доз извести при систематическом применении удобрений на агрохимические свойства дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почвы и их влияние на урожайность озимой пшеницы и ярового ячменя.

### МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование проводили в длительном полевом опыте СШ-27, заложенном в 1966 г. на дерно-

**Таблица 1.** Влияние извести и удобрений на агрохимические свойства дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почвы (среднее за 1982, 1983 гг.) после 3-й ротации

Вариант	рН <sub>KCl</sub>	<i>H</i> <sub>г</sub>	<i>S</i>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Al
		ммоль/100 г почвы		мг/кг почвы		
Без удобрений	4.2	4.7	7.2	45	115	43.0
NK	4.2	5.0	7.2	43	118	47.2
NK + P	4.2	4.9	7.3	103	116	45.4
NK + известь 11.5 т/га	5.4	2.8	12.5	50	120	18.0
НPK + известь 11.5 т/га	5.5	2.6	12.7	113	119	17.5
NK + известь 23 т/га	6.4	0.8	15.0	52	118	2.0
НPK + известь 23 т/га	6.4	0.7	15.3	107	117	1.8
НСП <sub>05</sub>	0.39	1.0	1.2	11	13	17.0

во-подзолистой тяжелосуглинистой почве Центральной опытной станции ВНИИ агрохимии (Московская обл., Шибанцевский участок). Исходная почва была слабокультуренной: рН<sub>KCl</sub> 3.9–4.2, гидролитическая кислотность (по Каппену) – 4.9–5.2 ммоль/100 г, сумма поглощенных оснований (по Каппену–Гильковицу) – 7.5–8.2 ммоль/100 г, степень насыщенности основаниями – 57–63%, содержание гумуса (по Тюрину) – 1.5%, содержание подвижных форм фосфора и калия (по Кирсанову) – 30–70 и 112–115 мг/кг соответственно, подвижного алюминия (по Соколову) – 40 мг/кг.

Известкование проводили в течение первых 3-х ротаций 5-польного севооборота в сумме 1.5 *H*<sub>г</sub> (11.5 т CaCO<sub>3</sub>/га) и 3.0 *H*<sub>г</sub> (23 т CaCO<sub>3</sub>/га). В качестве известкового удобрения использовали известняковую муку (95% CaCO<sub>3</sub>).

Минеральные удобрения применяли в форме N<sub>аа</sub> (34.4% N), P<sub>сд</sub> (42% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), АФ (12% N, 52% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) и K<sub>x</sub> (60% K<sub>2</sub>O). Азотные удобрения под озимую пшеницу вносили дробно: осенью до посева – 30, в фазе кущения – 30, в фазе трубкования – 60 кг N/га. Фосфорные и калийные удобрения вносили под культивацию перед посевом. Повторность опыта трехкратная, площадь делянки 100 м<sup>2</sup>. Анализы образцов почвы проводили согласно ГОСТам. В качестве общего фона вносили гербициды, фунгициды и ретарданты. Агротехника – принятая в Московской обл. Уборку урожая проводили комбайном “Сампо” поделаночно с 28 м<sup>2</sup>. При статистической обработке результатов исследования использовали дисперсионный анализ.

В период изучения прямого действия извести использовали сорт озимой пшеницы Мироновская 808, ярового ячменя Московский 121, в пе-

риод последействия – соответственно сорта Московская 56 и НУР.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Периодическое известкование и внесение минеральных удобрений в течение первых 3-х ротаций полевого 5-польного севооборота оказало существенное влияние на улучшение агрохимических свойств дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почвы (табл. 1).

Физико-химические свойства почвы зависели от примененных доз извести. При внесении извести в сумме 11.5 т/га реакция почвенной среды (рН<sub>KCl</sub>) повысилась на 1.2 ед. и стала слабокислой. Особенно значительное действие на этот показатель оказало известкование в дозе 23 т/га, почва при этом перешла из группы сильнокислых в группу близко-нейтральных. В большей степени при известковании изменялась гидролитическая кислотность почвы. При внесении большой дозы извести (23 т/га) она снизилась в 6 раз по сравнению с вариантом контроля. Существенно увеличивалась сумма поглощенных оснований, степень насыщенности основаниями при этом повысилась с 60 до 94%. Значительное влияние известкование оказало на содержание подвижного алюминия в почве. Даже небольшая доза извести (11.5 т/га), внесенная за 3 первых ротации, снизила этот показатель в 2.4 раза, а высокая (23 т/га) – в 22 раза по сравнению с контролем и исходным содержанием. Через 35 лет после известкования произошло ухудшение физико-химических свойств дерново-подзолистой почвы (табл. 2). В варианте с применением извести 11.5 т/га величина рН<sub>KCl</sub> снизилась с 5.4 до 4.7, т.е. почва перешла из группы слабокислых в группу среднекислых, а с применением извести в количестве 23 т/га – из группы близко-нейтральных в

**Таблица 2.** Последействие извести при систематическом внесении удобрений на агрохимические свойства дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почвы (среднее за 2016, 2017 гг.)

Вариант	рН <sub>KCl</sub>	<i>H<sub>r</sub></i>	<i>S</i>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Al
		ммоль/100 г почвы		мг/кг почвы		
Без удобрений	4.0	5.3	6.8	30	105	46
NK	3.8	6.7	6.7	28	171	130
NK + P	4.0	6.4	6.8	102	142	103
NK + известь 11.5 т/га	4.7	5.0	7.7	31	135	35
НPK + известь 11.5 т/га	4.8	4.0	7.8	105	128	32
NK + известь 23 т/га	5.3	3.6	9.4	32	125	14
НPK + известь 23 т/га	5.5	3.5	9.6	105	119	10
<i>HCP</i> <sub>05</sub>	0.3	1.1	0.9	12	15	19

группу слабокислых. Почти в 2 раза повышалась гидролитическая кислотность в варианте с применением большой дозы извести. Сумма поглощенных оснований снижалась на 4.8 и 5.6 ммоль/100 г соответственно, что связано с вымыванием кальция осадками, а также выносом его растениями [9, 11].

Следует отметить и тот факт, что несмотря на продолжительное (35 лет) последействие извести, физико-химические свойства известкованной почвы отличались от почвы неизвесткованной. Особенно различались эти варианты показателями гидролитической кислотности и содержания подвижного алюминия. При известковании большой дозой гидролитическая кислотность была меньше почти в 2 раза, чем в варианте NK, содержание подвижного алюминия – в 9 раз. Существенное влияние на эти показатели оказало известкование даже небольшой дозой.

Некоторые изменения физико-химических свойств почвы происходили и при применении минеральных удобрений. При систематическом применении физиологически кислых азотно-калийных удобрений содержание подвижного алюминия в почве повышалось по сравнению с контролем без удобрений в последние годы в 3 раза, достоверно увеличивалась также и гидролитическая кислотность почвы. Применение фосфорных удобрений в форме простого и двойного суперфосфата ( $\approx 50$  кг P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/га ежегодно) приводило к достоверному снижению содержания подвижного алюминия в почве на фоне применения азотно-калийных удобрений. Наблюдали тенденцию к снижению и гидролитической кислотности.

В связи с изменением агрохимических свойств дерново-подзолистой почвы под влиянием извести и удобрений изменялась и урожайность сельскохозяйственных культур. Эффективность из-

весткования во времени также различалась. Самая низкая урожайность формировалась в варианте контроля (табл. 3). Известкование, особенно высокой дозой, оказало существенное влияние на урожайность сельскохозяйственных культур. При прямом действии извести, внесенной за первые 3 ротации в количестве 11.5 т/га, урожайность озимой пшеницы на фоне азотно-калийных удобрений повышалась на 23, при последействии – на 62%. На фоне применения полного удобрения (НPK) эффективность известкования снижалась, прибавка составила 5 и 33% соответственно. При прямом действии преимущество высокой дозы (23 т/га) было небольшим, как на фоне азотно-калийных удобрений, так и на фоне полного удобрения. В то время как при последействии эффект от применения высокой дозы извести существенно повышался на обоих фонах удобрения. Значительное повышение эффективности известкования в период последействия, особенно высокой дозы, на фоне азотно-калийных удобрений было обусловлено существенным (в 3 раза) увеличением содержания подвижного алюминия в почве при систематическом внесении аммиачной селитры и хлористого калия. При этом существенно (на 28%) происходило повышение и гидролитической кислотности, хотя реакция почвенной среды практически не изменялась по сравнению с исходным уровнем и вариантом контроля.

При систематическом внесении фосфорных удобрений, напротив, эффективность известкования снижалась, как при прямом действии извести, так и при последействии. Связано это, по мнению некоторых исследователей [7, 12], с образованием труднорастворимых форм алюмофосфатов, а также снижением поступления алюминия в растения под влиянием фосфора. При внесении

**Таблица 3.** Урожайность озимой пшеницы и ярового ячменя в зависимости от прямого действия и последействия извести при систематическом применении минеральных удобрений

Вариант	Известкование			
	прямое действие, 1985–1988 гг.		последействие, 2018–2021 гг.	
	урожайность, ц/га	прибавка, %	урожайность, ц/га	прибавка, %
<b>Озимая пшеница*</b>				
Без удобрений	27.9	–	20.1	–
NK	35.5	–	21.0	–
NK + P	46.7	–	36.8	–
NK + известь 11.5 т/га	43.6	23.0	34.1	62
NPK + известь 11.5 т/га	49.1	5.0	47.8	33
NK + известь 23 т/га	45.2	27.1	46.7	122
NPK + известь 23 т/га	50.6	8.3	60.4	64
HCP <sub>05</sub>	2.2	–	2.7	–
<b>Яровой ячмень**</b>				
Без удобрений	16.2	–	19.6	–
NK	22.6	–	18.9	–
NK + P	37.9	–	33.2	–
NK + известь 11.5 т/га	35.0	5.5	30.4	60
NPK + известь 11.5 т/га	39.8	5.4	45.7	38
NK + известь 23 т/га	37.1	6.4	40.7	99
NPK + известь 23 т/га	39.9	5.3	52.1	57
HCP <sub>05</sub>	2.0	–	2.8	–

\* Внесение минеральных удобрений – ежегодно N120P60K90.

\*\* Внесение минеральных удобрений – ежегодно N90P60K90.

фосфорных удобрений в нашем многолетнем опыте, содержание подвижного алюминия в почве в последние годы снизилось со 130 на фоне NK до 103 мг/кг на фоне NPK, или на 26%.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В длительном полевом опыте на дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почве установлено, что известкование за 15 лет в дозах 11.5 и 23.0 т СаСО<sub>3</sub>/га оказывало существенное влияние на физико-химические свойства не только при прямом действии, но и при последействии (в течение 35 лет). При последействии извести в зависимости от дозы на фоне NK снижалось содержание подвижного алюминия в почве в 3.5 и 9 раз, а гидролитическая кислотность – в 1.3 и 2 раза соответственно. В меньшей степени она влияла на фоне полного удобрения (NPK). За период последействия почва, произвесткованная в дозе 23.0 т СаСО<sub>3</sub>/га перешла из группы близко нейтральных в группу слабокислых, уменьшилась сумма поглощенных оснований с 15.0 до 9.4 ммоль/100 г почвы. Эти показатели в варианте контроля во

времени практически не изменялись – реакция почвенной среды оставалась сильнокислой при содержании суммы оснований 6.8–7.0 ммоль/100 г. Отмечена высокая эффективность последействия извести, особенно большой дозы в посевах зерновых культур, при этом урожайность повышалась в 2.5–3.0 раза по сравнению с контролем и достигала: озимой пшеницы сорта Московская 56 – 60 ц/га, ярового ячменя сорта НУР – ≈50 ц/га в среднем.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сычев В.Г., Шафран С.А. Прогноз плодородия почв Нечерноземной зоны в зависимости от уровня применения удобрений // Плодородие. 2019. № 2. С. 22–25.
2. Шафран С.А. Ассортимент минеральных удобрений и экономическая эффективность их применения. М.: ООО Изд-во “Листер”, 2020. С. 4–98.
3. Авдонин Н.С. Известкование кислых почв. М.: Колос, 1976. С. 70–190.
4. Стрельников В.Н., Ерохина Е.Н. Эффективность известкования в длительном полевом опыте // Известкование и применение минеральных удобрений

- ний в интенсивных системах земледелия. Горки, 1985. С. 32–36.
5. Foy C.D. Effects of aluminium on plant growth // The plant root and its environment. Virginia, 1974. 601 p.
  6. Гомонова Н.Ф. Влияние 30-летнего применения минеральных удобрений на урожай сельскохозяйственных культур и агрохимические показатели дерново-подзолистой почвы // Химия в сел. хозяйстве. 1984. № 1. С. 8–11.
  7. Небольсин А.Н., Небольсина З.П. Теоретические основы известкования почв. СПб.: ЛНИИСХ, 2005. С. 90–118.
  8. Сычев В.Г., Кирпичников Н.А. Эффективность известкования в связи с агрохимическими свойствами дерново-подзолистых суглинистых почв Центрального Нечерноземья. М.: ВНИИА, 2016. 103 с.
  9. Кирпичников Н.А. Влияние извести на фосфатный режим слабокультуренной дерново-подзолистой почвы при длительном применении удобрений // Агрохимия. 2016. № 12. С. 3–8.
  10. Шильников И.А., Сычев В.Г., Зеленов Н.А., Аканова Н.И., Федотова Л.С. Известкование как фактор урожайности и почвенного плодородия. М.: ВНИИА, 2008. С. 105–300.
  11. Кузьмич М.А., Капранов В.Н., Орлова Т.Г. Влияние удобрений и реакции почвенной среды на урожай и качество зерна ярового ячменя селекции Московского НИСХ (Немчиновка) // Плодородие. 2017. № 3. С. 1–3.
  12. Климашевский Э.Л., Маркова Ю.Н., Лебедева И.К. Взаимодействие алюминия и фосфора на поверхности корней и в клеточных стенках // Докл. ВАСХНИЛ. 1979. № 3. С. 6–7.

## Effect of Lime Aftereffect and Systematic Application of Fertilizers on Agrochemical Properties of Sod-Podzolic Soil and Grain Yield

N. A. Kirpichnikov<sup>a</sup> and S. P. Bizhan<sup>a,#</sup>

<sup>a</sup>The All-Russian Research Institute of Agrochemistry named after D.N. Pryanishnikov  
ul. Pryanishnikova 31a, Moscow 127550, Russia

<sup>#</sup>E-mail: kzuek@yandex.ru

A long-term field experiment shows a change in the agrochemical properties of sod-podzolic heavy loamy soil and the yield of winter wheat and spring barley under the direct action of different doses of lime and after 35 years of their aftereffect. It was found that the high efficiency of lime aftereffect with the advantage of a large dose (23 t CaCO<sub>3</sub>/ha) is due to a significant increase in the content of mobile aluminum in the soil and the level of hydrolytic acidity against the background of the use of mineral fertilizers, especially some nitrogen-potassium fertilizers in the form of ammonium nitrate and potassium chloride.

*Key words:* winter wheat, spring barley, yield, forms of fertilizers, liming, sod-podzolic soil.