

УДК 631.445.24:631.821.1

*А.Ю. Карпова, А.Н. Исупов, А.С. Башков, Т.Ю. Бортник***ВЛИЯНИЕ ИЗВЕСТКОВАНИЯ НА СОДЕРЖАНИЕ ПОДВИЖНЫХ ФОРМ АЛЮМИНИЯ В ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЕ И УРОЖАЙНОСТЬ ПОЛЕВЫХ КУЛЬТУР**

Рассматривается действие извести в многолетнем опыте на физико-химические свойства почвы и содержание подвижного алюминия, определенного разными методами. Рассчитана корреляционная связь урожайности ряда культур с физико-химическими показателями и содержанием подвижного алюминия в почве.

Ключевые слова: дерново-подзолистая почва, кислотность почв, известкование, подвижный алюминий, урожайность полевых культур.

На территории Среднего Предуралья распространены дерново-подзолистые почвы, генетическим признаком которых является повышенная кислотность. Так, на территории Кировской области, по данным И.Г. Юлушева [1], 20% пашни характеризуются очень кислой реакцией почвы, 24,6% – среднекислые, 26% – слабокислые, 20,8% – близкие к нейтральным и всего 8,6% – нейтральные. В Пермском крае, по данным Е.М. Митрофановой [2], 78% почв имеют кислую реакцию, из них 50% – сильно- и среднекислые. В Удмуртской Республике, по данным А.И. Безносова [3], 47,5% почв имеют кислую реакцию, 38,2% – близкую к нейтральной, 14,2% – нейтральные.

При кислотности ниже значения pH_{KCl} 4,5 в почве увеличивается количество подвижного алюминия, а также марганца и железа, которые могут быть токсичными для растений, поэтому важно поддерживать кислотность почвы на оптимальном для сельскохозяйственных культур уровне. Дерново-подзолистые почвы, имеющие повышенную кислотность, нуждаются в известковании. Известкование – важнейшее условие интенсификации сельскохозяйственного производства на кислых почвах, повышения их плодородия и эффективности минеральных удобрений [1].

По данным РЦАС «Удмуртский», плановое известкование кислых почв Удмуртии за период 1971-1991 гг. привело к тому, что удельный вес кислых почв в республике снизился с 82,2% до 36,1%, а средневзвешенная величина обменной кислотности составила 5,6 единиц pH, что является оптимальным для большинства полевых культур. В 1996-2001 гг. внимание к важнейшему приему в земледелии – известкованию – резко снизилось. Если в 1986-1990 гг. известковалось ежегодно 147,4 тыс. гектаров, то за 1996-1999 гг. внесение извести было проведено только на площади 6,0 тыс. га, то есть площадь уменьшилась в 24,6 раза, а внесение извести сократилось в 34,6 раза [4]. Такое состояние приводит к увеличению кислотности почв, что во многом предопределяет весь комплекс показателей плодородия: агрофизических, агрохимических, биологических и других параметров, направляя их в неблагоприятную для растений и агрономически полезной микрофлоры почв сторону. Поэтому в большинстве случаев подкисление выступает как главный фактор, ограничивающий урожай. Одновременно на кислых почвах резко снижается эффективность минеральных удобрений [3].

Одним из наиболее существенных отрицательных факторов, вызванных высокой кислотностью, является накопление в почве подвижного алюминия, токсичность которого проявляется наиболее сильно в почвах с $pH_{KCl} < 5,0$. Многие культуры начинают испытывать токсичное действие подвижного алюминия при концентрации 2 и более мг/100 г почвы, причем наибольшая чувствительность наблюдается в первые периоды роста и во время перезимовки [5]. Дальнейшее повышение концентрации алюминия сопровождается еще большим понижением урожайности растений или их гибелью. Отрицательное действие прежде всего проявляется на корнях, которые под влиянием алюминия желтеют, а рост их сильно подавляется [6]. Большинство исследователей токсичность алюминия связывают с ухудшением углеводного, белкового и фосфатного обмена у растений, вызванного снижением проницаемости протоплазмы корневых клеток. При этом нарушается нормальный процесс закладки генеративных органов, тормозится процесс оплодотворения, что приводит к массовой гибели многолетних трав, озимой ржи, озимой пшеницы и яровых культур [7].

Несмотря на большой фактический материал, до сих пор не существует четких представлений о том, какие конкретно подвижные соединения алюминия присутствуют в суглинистых почвах подзолистой зоны, что существенно затрудняет интерпретацию процессов, происходящих в этих почвах с участием алюминия. Недостаточно исследованным остается вопрос о формах и масштабах миграции

алюминия в геохимически сопряженных элементарных ландшафтах подзолистой зоны [8]. В условиях Удмуртской Республики этот вопрос практически не изучался.

В связи с уменьшением площадей известкования и доз внесения извести в Удмуртской Республике можно прогнозировать накопление в почвах подвижных форм алюминия, которые негативно влияют на растения и могут способствовать снижению урожайности полевых культур. Изучение данного вопроса поможет более полно оценить влияние известкования на воспроизводство плодородия дерново-подзолистых почв Удмуртии и действие подвижного алюминия на урожайность культур.

Методика исследований

Микрополевой опыт заложен в 2004 г. на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве на опытном поле ОАО «Учхоз «Июльское» Ижевской ГСХА». Цель опыта – изучить в полевых условиях действие различных доз известковых мелиорантов на агрохимические показатели почвы и урожайность полевых культур. Дозы извести были рассчитаны по гидролитической кислотности почвы (Нг), схема опыта включает варианты с четырьмя дозами, а также абсолютный контроль и фоновый вариант, где вносили полное минеральное удобрение. В 2010 г. под овес вносили азофоску в дозе 50 кг д.в./га, в 2011 г. – под однолетние травы (смесь вики, овса и яровой пшеницы в соотношении 30:35:35) и в 2012 г. под озимую рожь вносили азофоску в дозе 30 кг д.в./га.

Исходные агрохимические показатели почвы составили: pH_{KCl} – 3,92; Нг – 5,7 ммоль/100 г почвы; S – 8,8 ммоль/100 г почвы; V – 61,5%; содержание гумуса – 2,0%; содержание подвижного фосфора по Кирсанову – 56,7 мг/кг; обменного калия по Кирсанову – 72,1 мг/кг. Таким образом, почва перед закладкой опыта была очень сильнокислой, со средним содержанием подвижного фосфора и низким содержанием обменного калия.

Опыт заложен в четырёхкратной повторности, расположение вариантов систематическое со смещением на один вариант. Размер опытной делянки 1,0 × 1,05 м. Делянки были ограничены по периметру плёнкой на глубину пахотного слоя. Известкование было проведено в 2004 г. под однолетние травы. Исследования проводятся в севообороте. В 2010-2012 гг. изучалось последствие внесения извести. Учёт урожайности культур проводился сплошным методом, статистическая обработка урожайных данных и корреляционно-регрессионный анализ – методом дисперсионного анализа по Доспехову и в программе MS Excel [9].

Результаты и их обсуждение

Известкование является многоплановым воздействием на свойства почвы, эффективность которого проявляется со временем и выражается не только в нейтрализации кислотности, но и в значительных изменениях других свойств почвы. Особенно ярко проявляется влияние известкования на физико-химические свойства почв (табл. 1).

Таблица 1

Действие различных доз извести на физико-химические свойства дерново-подзолистой среднесуглинистой почвы ОАО «Учхоз «Июльское» Ижевской ГСХА», 2010 год

Вариант	pH_{KCl}		Нг, ммоль/100 г		S, ммоль/100 г		V, %	Al, мг/100 г	
		±		±		±			±
1. Без удобрений (к)	4,0	–	4,5	–	8,1	–	64	4,80	–
2. N ₅₀ P ₅₀ K ₅₀ (фон)	3,9	-0,1	4,9	0,4	8,8	0,7	64	5,57	0,77
3. Фон + известь по 0,5 Нг	4,5	0,5	4,7	0,2	8,5	0,4	65	3,00	-1,80
4. Фон + известь по 1,0 Нг	5,1	1,1	3,2	-1,3	14,5	6,4	82	0,41	-4,39
5. Фон + известь по 1,5 Нг	5,7	1,7	2,0	-2,5	15,5	7,4	89	0,22	-4,58
6. Фон + известь по 3,0 Нг	5,9	1,9	1,3	-3,2	18,7	10,6	94	0,11	-4,69
HCP ₀₅		0,2		0,3		1,9	4		0,41

С момента закладки опыта показатели кислотности почвы на контрольном и фоновом вариантах практически не изменились по сравнению с исходным состоянием. В остальных вариантах на шестой год после известкования pH_{KCl} и гидролитическая кислотность находятся в прямой зависимости от доз внесения извести. Определение содержания подвижного алюминия в почве по методу Со-

колова показало, что без внесения извести на контрольном варианте его величина находится в опасных для культурных растений количествах: 4,80 мг/100 г, а при влиянии NPK – еще выше – 5,57 мг/100 г почвы. Следовательно, систематическое применение полного минерального удобрения способствует достоверному возрастанию этого показателя на 0,77 мг/100 г относительно абсолютно-го контроля. В то же время возрастающие дозы извести способствуют существенному снижению содержания подвижного алюминия на 1,80–4,69 мг/100 г почвы.

Определение физико-химических свойств на восьмой год последствия извести выявило те же закономерности (табл. 2). На контрольном варианте кислотные свойства почвы практически не изменились по сравнению с исходным состоянием. В то же время по вариантам с различными дозами внесения извести произошла более яркая дифференциация, как по показателю pH_{KCl} , так и по гидролитической кислотности. Если в варианте с внесением дозы извести по 0,5 Нг почву следует отнести к очень сильнокислым, то в варианте 4 почва уже среднекислая, в варианте 5 – близкая к нейтральной, и в варианте с самой высокой дозой извести, рассчитанной по 3,0 Нг, – нейтральная почва. Столь же значительные достоверные различия выявлены и по гидролитической кислотности – в пределах 3,8–0,9 ммоль/100 г почвы и по степени насыщенности почв основаниями – в пределах 77–96%.

Таблица 2

Действие различных доз извести на физико-химические свойства дерново-подзолистой среднесуглинистой почвы ОАО «Учхоз «Июльское» Ижевской ГСХА», 2012 год

Вариант	pH_{KCl}		Нг, ммоль/100 г		S, ммоль/100 г		V, %	Al, мг/100 г	
		$\pm$		$\pm$		$\pm$			$\pm$
1. Без удобрений (к)	3,9	–	3,7	–	12,78	–	78	6,08	–
2. $N_{30}P_{30}K_{30}$ (фон)	3,8	-0,1	4,4	0,7	11,58	-1,20	73	9,74	3,66
3. Фон + известь по 0,5 Нг	4,0	0,1	3,8	0,1	12,80	0,02	77	4,67	-1,41
4. Фон + известь по 1,0 Нг	4,6	0,7	2,7	-1,0	14,03	1,25	84	0,45	-5,63
5. Фон + известь по 1,5 Нг	5,9	2,0	1,4	-2,3	19,53	6,75	94	0,09	-5,99
6. Фон + известь по 3,0 Нг	6,4	2,5	0,9	-2,8	20,38	7,60	96	0	-6,08
НСР ₀₅		0,1		0,3		0,98	1		1,19

Содержание подвижного алюминия по Соколову без применения извести ещё более возросло, при этом под влиянием подкисляющего эффекта минеральных удобрений – до 9,74 мг/100 г, что на 3,66 мг/100 г выше абсолютного контроля при $НСР_{05}=1,19$ мг/100 г. Следовательно, констатируем дальнейшее подкисление и увеличение содержания алюминия в почве. Благоприятное состояние почвы по этому показателю с точки зрения требований культурных растений выражено при внесении доз извести, рассчитанных по 1,0 Нг и более.

Таким образом, для наиболее полной характеристики почв, особенно их кислотных свойств, требуется анализ не только по общепринятым показателям, но и на содержание подвижного алюминия.

Существует несколько методов определения обменных (подвижных) форм алюминия в почве, которые мы осуществили в своем опыте. Самый распространённый – метод титрованием в вытяжке 1 н KCl по Соколову. Но многочисленными исследованиями было установлено, что на почвах со слабокислой и близкой к нейтральной реакцией алюминий вытяжкой 1 н KCl не извлекается. Данный метод работает только в почвах с показателем pH ниже 5,0, что было подтверждено нами при анализе почвенных образцов. Сущность метода определения обменного (подвижного) алюминия в почве по ГОСТ 26485-85 заключается в извлечении подвижного алюминия из почвы раствором хлористого калия, получении окрашенного комплекса алюминия с хромазулолом-С или ксиленоловым оранжевым в слабокислой среде и последующем фотометрировании окрашенного раствора.

С целью установления связи физико-химических свойств почвы с содержанием подвижного алюминия, определенного по разным методикам, был проведён корреляционно-регрессионный анализ данных. Установлено, что содержание подвижного алюминия по Соколову находится в обратной корреляционной зависимости от показателя pH_{KCl} ($r = -0,91$), суммы обменных оснований ($r = -0,82$), а также в прямой зависимости от показателя гидролитической кислотности ($r = 0,88$). Был также выявлен коэффициент множественной регрессии $R = 0,85$ при уровне значимости 100% (рис. 1).

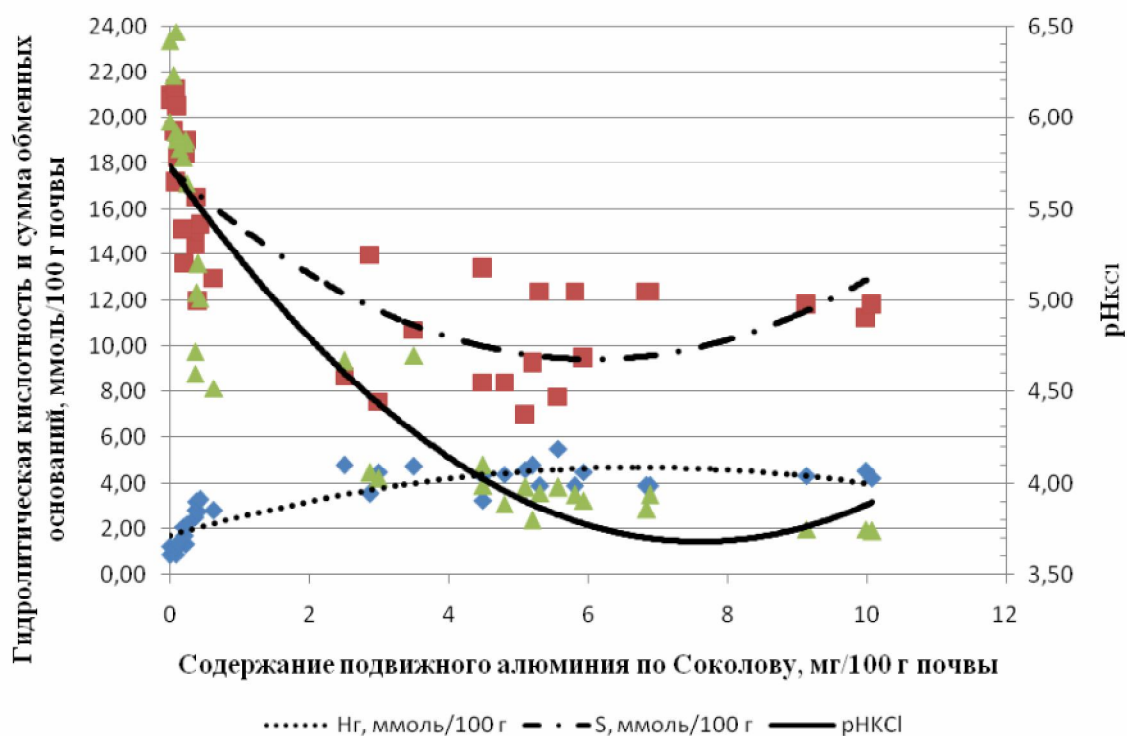


Рис. 1. Зависимость содержания подвижного алюминия в почве (по Соколову) от показателей кислотности почвы

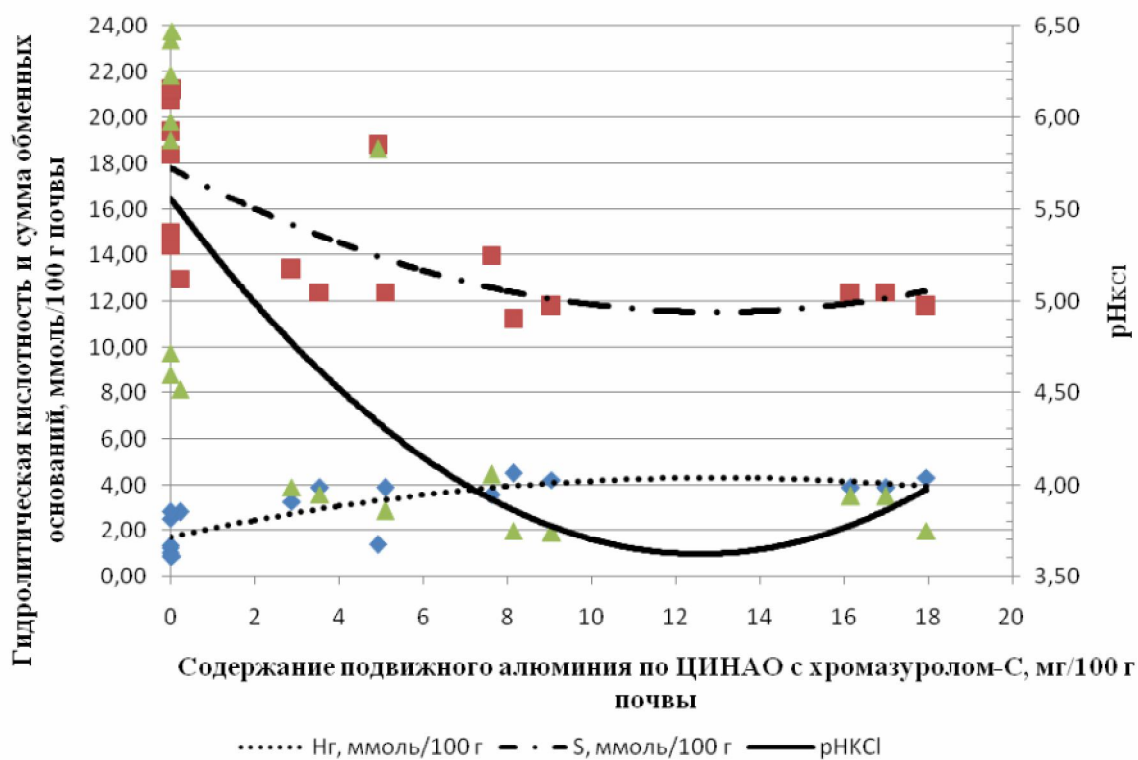


Рис. 2. Зависимость содержания подвижного алюминия в почве (по ЦИНАО с хромазуолом-С) от показателей кислотности почвы

Так как проявилась достаточно высокая корреляционная зависимость содержания подвижного алюминия от физико-химических свойств почвы, были составлены уравнения регрессии, которые в

дальнейшем могут быть использованы для расчета возможного содержания подвижного алюминия по показателям обменной и гидролитической кислотности, суммы обменных оснований. Уравнения имеют следующий вид:

$$\begin{aligned} y(\text{Al}) &= 0,035x^2 - 0,539x + 5,734, \text{ где } x - \text{pH}_{\text{KCl}}, \\ y(\text{Al}) &= 0,225x^2 - 2,734x + 17,73, \text{ где } x - \text{сумма обменных оснований}, \\ y(\text{Al}) &= -0,064x^2 + 0,874x + 1,732, \text{ где } x - \text{Нг}. \end{aligned}$$

Корреляционный анализ полученных данных показал, что содержание подвижного алюминия, определенного по методу ЦИНАО с индикатором хромазурол-С, находится в обратной корреляционной зависимости от показателя pH_{KCl} почвы ($r = -0,74$), суммы обменных оснований ($r = -0,70$), а также в прямой зависимости от показателя гидролитической кислотности ($r = 0,80$). Был также выявлен коэффициент множественной регрессии $R = 0,77$ при уровне значимости 99,95% (рис. 2).

По выявленной корреляционной зависимости содержания подвижного алюминия от физико-химических свойств почвы были составлены аналогичные уравнения регрессии. Уравнения имеют следующий вид:

$$\begin{aligned} y &= 0,012x^2 - 0,308x + 5,562, \text{ где } x - \text{pH}_{\text{KCl}}, \\ y &= 0,037x^2 - 0,967x + 17,81, \text{ где } x - \text{сумма обменных оснований}, \\ y &= -0,015x^2 + 0,405x + 1,714, \text{ где } x - \text{Нг}. \end{aligned}$$

Содержание подвижного алюминия, определенного по методу ЦИНАО с индикатором ксиленоловый оранжевый, также находится в обратной корреляционной зависимости от показателя pH_{KCl} почвы ($r = -0,86$), суммы обменных оснований ($r = -0,82$), а также в прямой зависимости от показателя гидролитической кислотности ($r = 0,91$). Коэффициент множественной регрессии $R = 0,95$ при уровне значимости 100% (рис. 3). Уравнения парной корреляции имеют вид:

$$\begin{aligned} y &= 0,016x^2 - 0,357x + 5,656, \text{ где } x - \text{pH}_{\text{KCl}}, \\ y &= 0,041x^2 - 1,029x + 18,12, \text{ где } x - \text{сумма обменных оснований}, \\ y &= -0,014x^2 + 0,381x + 1,634, \text{ где } x - \text{Нг}. \end{aligned}$$

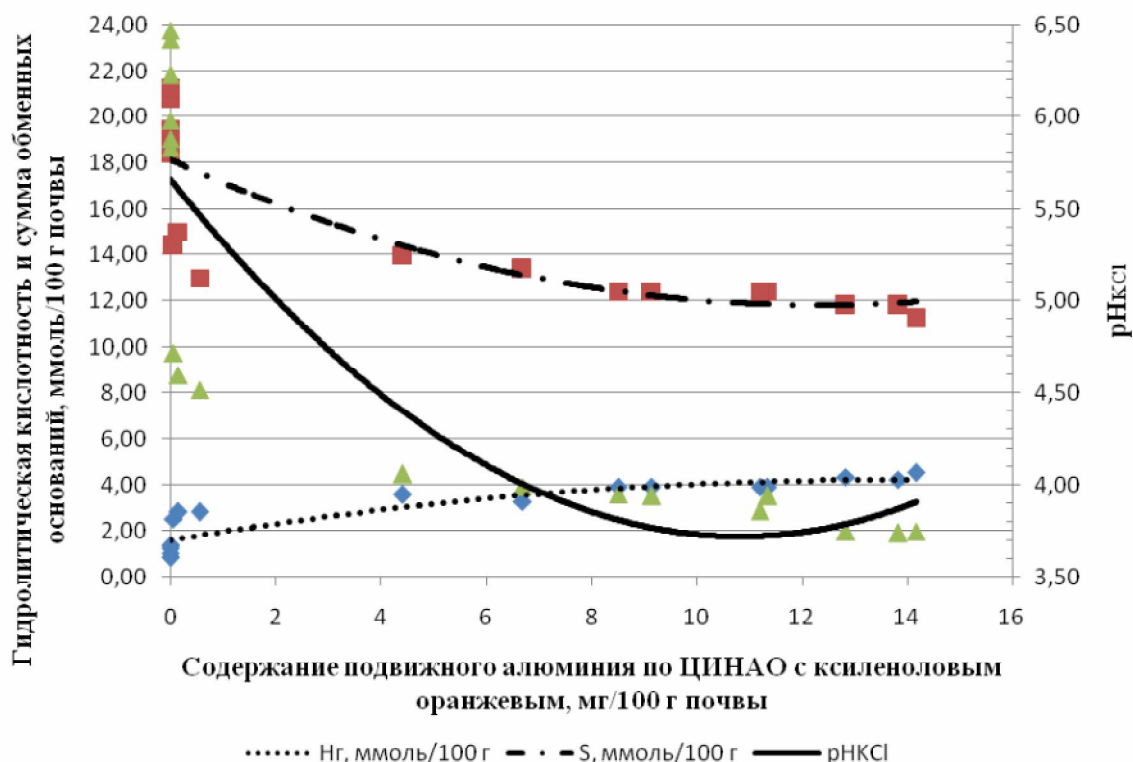


Рис. 3. Зависимость содержания подвижного алюминия в почве (по ЦИНАО с ксиленоловым оранжевым) от показателей кислотности почвы

Из трех изученных нами методов определения подвижного (обменного) алюминия в почве можно выделить метод Соколова, который имеет наибольший коэффициент корреляции с обменной кислотностью ($r = -0,91$); метод с ксиленоловым оранжевым имеет очень тесную прямую корреляционную связь с гидролитической кислотностью ($r = 0,91$); оба этих метода характеризуются тесной обратной связью с суммой обменных оснований ($r = -0,82$). Метод определения подвижного алюминия с хромазулолом-С имеет высокую корреляционную связь с показателями кислотности, но коэффициенты ниже, чем у ранее указанных методов. Самый высокий коэффициент множественной регрессии $R=0,95$ наблюдается для метода с ксиленоловым оранжевым.

Важнейшим показателем, характеризующим плодородие почвы, является урожайность культурных растений. В табл. 3 представлены урожайные данные за 2010-2012 гг.

Таблица 3

**Урожайность сельскохозяйственных культур в зависимости от доз внесения извести, г/м²
ОАО «Учхоз «Июльское» Ижевской ГСХА», 2012 год**

Вариант	Овёс, зерно (2010 г.)		Однолетние травы, воздушно-сухая масса (2011 г.)		Озимая рожь, зерно (2012 г.)	
	урожай- ность	±	урожай- ность	±	урожай- ность	±
1. Без удобрений (к)	123	–	114	–	90	–
2. NPK (фон)	142	19	165	51	169	79
3. Фон + известь по 0,5 Нг	152	28	186	72	207	117
4. Фон + известь по 1,0 Нг	156	33	192	78	177	87
5. Фон + известь по 1,5 Нг	153	30	208	94	153	63
6. Фон + известь по 3,0 Нг	150	26	201	87	139	49
НСР ₀₅		9		10		27

Агрометеорологические условия вегетационного периода 2010 г. были крайне неблагоприятными для возделывания сельскохозяйственных культур, гидротермический коэффициент за май-июль 2010 г. составил 0,65, что для Удмуртской Республики является очень низким показателем. В этих условиях эффективность применения фоновой дозы полного минерального удобрения невысока, хотя и получена достоверная прибавка к абсолютному контролю – 15%. Последствие извести также достоверно, прибавки урожайности зерна овса колеблются в пределах 21-27% по отношению к абсолютному контролю и к фону NPK (кроме дозы, рассчитанной по 3,0 Нг). Однако изменения между различными дозами извести находятся в пределах ошибки опыта.

В благоприятных условиях 2011 г. однолетние травы показали более высокую отзывчивость на полное минеральное удобрение (достоверная прибавка составила 45%) и известкование (прибавки по отношению к абсолютному контролю изменялись в пределах 63-82%). Наиболее ярко выражено последствие высоких доз извести – по 1,5 и 3,0 Нг.

В 2012 г. возделывалась озимая рожь. Выявлено яркое положительное влияние полного минерального удобрения на урожайность зерна озимой ржи. Получили прибавку зерна 88% по отношению к абсолютному контролю. Последствие извести выразилось в увеличении урожайности на 49-117%, при этом максимальным оказалось использование дозы извести, рассчитанной по 0,5 Нг. Последствие более высоких доз извести (варианты 4, 5, 6) по сравнению с фоном оказалось несущественным. Связано это с тем, что у растений озимой ржи за счет фоновой дозы удобрения (N₃₀P₃₀K₃₀) и благоприятных по кислотности условий произошло формирование вегетативной массы на высокую урожайность, наблюдалось кушение до трех стеблей на растение. Но из-за ограниченности распространения корневой системы пленкой в условиях микрополевого опыта растениям не хватило элементов питания для полноценного формирования заложенного изначально урожая, вследствие чего с увеличением доз извести наблюдается закономерное снижение урожайности зерна озимой ржи.

С научной и практической точек зрения представляет интерес связь урожайности сельскохозяйственных культур с физико-химическими показателями почвы и с содержанием подвижного алюминия в частности. Был проведен корреляционно-регрессионный анализ, результаты которого показали, что урожайность овса в условиях 2010 г. имела среднюю обратную корреляционную зависи-

мость от содержания подвижного алюминия (коэффициент корреляции составил -0,53). В 2011 г. проявилась более тесная обратная связь урожайности однолетних трав от подвижного алюминия в почве ($r = -0,78$), что связано с повышенной чувствительностью яровой пшеницы к алюминию в почве [6]. В 2012 г. содержание подвижного алюминия в почве в средней степени повлияло на урожайность зерна озимой ржи, коэффициент парной корреляции составил -0,45. По литературным данным, озимая рожь является культурой, наиболее чувствительной к алюминию, при этом следует отметить, что прямая зависимость между чувствительностью озимой ржи к кислотности и подвижному алюминию отсутствует [6], что подтвердилось в наших исследованиях.

Выводы

1. Положительное влияние известкования на свойства дерново-подзолистой среднесуглинистой почвы продолжается на седьмой-девятый год после внесения извести. Относительно фонового варианта NPK в зависимости от возрастающих доз извести выявлено существенное увеличение показателя pH_{KCl} на 0,2-2,6 единицы, снижение гидролитической кислотности на 0,6-3,5 ммоль/100 г, возрастание степени насыщенности почв основаниями на 6-30% и снижение содержания подвижного алюминия по Соколову на 5,07-9,65 мг/100 г почвы.

2. Без известкования в дерново-подзолистой среднесуглинистой почве накапливается подвижный алюминий в опасных для культурных растений количествах: 4,80-9,74 мг/100 г почвы по методу Соколова.

3. Содержание подвижного алюминия в почве по Соколову и по методам ЦИНАО с хромазуролом-С и ксиленоловым оранжевым находится в тесной прямой корреляционной зависимости от гидролитической кислотности и в обратной зависимости от показателя pH_{KCl} и суммы обменных оснований. Коэффициент множественной регрессии физико-химических свойств дерново-подзолистой среднесуглинистой почвы составил 0,77-0,95.

4. Выявлено положительное влияние известкования на урожайность полевых культур в течение седьмого-девятого года действия. В зависимости от доз извести достоверная прибавка урожайности к фоновому варианту NPK составила: зерна овса в 2010 г. – 10-14%; воздушно-сухой массы однолетних трав в 2011 г. – 21-43% и зерна озимой ржи в 2012 г. – 38%.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Юлушев И.Г. Система применения удобрений в севооборотах: учеб.-метод. пособие и рекомендации по применению удобрений. Киров, 1999. 154 с.
2. Митрофанова Е.М. Агроэкологические аспекты снижения отрицательного влияния кислотности почв в условиях адаптивно-ландшафтного земледелия Предуралья: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук. Пермь, 2011. 43 с.
3. Безносов А.И. Известкование почв Удмуртии: монография. Ижевск: ФГОУ ВПО Ижевская ГСХА, 2005. 68 с.
4. Башков А.С., Безносов А.И. Сохранение и воспроизводство плодородия почв – основа устойчивых и высоких урожаев // Современные проблемы аграрной науки и их решения: материалы Всерос. науч.-практ. конф.: Ижевская ГСХА. Ижевск, 2005. Т. 1. С. 3-9.
5. Окорков В.В. Поглощающий комплекс и механизм известкования кислых почв: монография. Владимир: ВООО ВОИ, 2004. 181 с.
6. Авдонин Н.С. Повышение плодородия кислых почв. М.: Колос, 1969. 304 с.
7. Сорокина О.Ю., Кузьменко Н.Н. Оптимизация параметров плодородия почвы – важнейшая задача для получения льнопродукции // Бюл. ВИУА. 2003. № 119. С. 189-191.
8. Толпешта И.И. Подвижные соединения алюминия в почвах ненарушенных экосистем Южной Тайги: автореф. дис. ... д-ра биол. наук. М., 2010. 52 с.
9. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. М.: Колос, 1979. 416 с.

Поступила в редакцию 28.02.13

A.Yu. Karpova, A.N. Isupov, A.S. Bashkov, T.Yu. Bortnik

Effect of liming on the content of aluminum mobile forms in the sod-podzolic soils and on field crops productivity

The long-term lime effect on the physicochemical properties of soil and on the mobile aluminum content, which was determined by different methods, is considered. The correlation relationship between crops productivity and physicochemical features and the content of mobile aluminum in sod-podzolic soil is calculated.

Keywords: sod-podzolic soil, soil acidity, liming, mobile aluminum, field crops productivity.

Карпова Алина Юрьевна, аспирант

Исупов Алексей Николаевич,
кандидат сельскохозяйственных наук

Башков Александр Степанович,
доктор сельскохозяйственных наук, профессор

Бортник Татьяна Юрьевна,
кандидат сельскохозяйственных наук, доцент

ФГБОУ ВПО «Ижевская государственная
сельскохозяйственная академия»
426069, г. Ижевск, ул. Студенческая, 11
E-mail: agrohim@izhgsha.ru

Karpova A.Yu., postgraduate student

Isupov A.N.,
candidate of agricultural sciences

Bashkov A.S.,
doctor of agricultural sciences, professor

Bortnik T.Yu.,
candidate of agricultural sciences, associate professor

The Izhevsk State Agricultural Academy
426069, Izhevsk, Studencheskaya st., 11
E-mail: agrohim@izhgsha.ru