

УДК 631.415.1:631.821.1

## СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ХИМИЧЕСКОЙ МЕЛИОРАЦИИ КИСЛЫХ ПОЧВ

*В.Г. Сычев, академик РАН, Н.И. Аканова, д.с.-х. н.,*

*ФГБНУ «ВНИИ агрохимии», 127550, Москва, ул. Прянишникова, д.31А, E-mail: info@vniia-pr.ru*

*Рассмотрены факторы, влияющие на эффективность известкования почв, его сочетания с минеральными удобрениями. Установлены количественные параметры миграции оснований из корнеобитаемого слоя почвы в зависимости от гранулометрического состава почв и формы химического мелиоранта. Приведены результаты влияния различных доз извести на урожайность сельскохозяйственных культур. Установлен сдвиг pH от 1 т известкового удобрения в зависимости от гранулометрического состава почв. Экспериментально обоснована высокая эффективность фосфоритной муки в сочетании с известкованием дерново-подзолистых почв.*

*Ключевые слова: известкование, кальций, магний, миграция оснований, почва, потери кальция, баланс питательных элементов.*

DOI: 10.25680/S19948603.2019.106.01

Известкование является ведущим и наиболее радикальным приемом улучшения агрохимических, физико-механических и биологических свойств кислых почв, обеспечивает растения кальцием и магнием, мобилизацию и иммобилизацию макро- и микроэлементов в почве [1, 2]. Этот приём широко внедрён в практику мирового земледелия, и наука постоянно ищет пути его совершенствования и повышения эффективности [3-5]. В популярных рекомендациях США при составлении плана работ в земледелии указывается на то, что «первый доллар надо вложить в известкование». Как показала практика отечественного и мирового земледелия, известкованию почв нет альтернативы [6-8].

Проведение химической мелиорации почв в период до 1991 г. позволило оптимизировать реакцию среды, существенно увеличить насыщение почвенного поглощающего комплекса кальцием и магнием [9-11]. Отмечено, что при известковании возрастает емкость поглощения почв различного гранулометрического состава: на 3-31% при доведении реакции почвы до pH 5 и на 28-59% – до pH 7 (по отношению к неизвесткованной почве, табл. 1). Это обусловлено освобождением после известкования мест обмена в ППК, заблокированных ранее алюминием, и является, как установлено А.Н. Небольсиным (2002), следствием его осаждения в виде нерастворимых гидроксидов и вовлечения в реакции обмена карбоксильных и отчасти гидроксильных групп гумусовых веществ.

Проводимое в эти годы поддерживающее известкование для компенсации оснований, вследствие их потерь при миграции, выщелачивания за пределы корнеобитаемого слоя с нисходящими токами воды, и выноса с отчуждаемой частью растениеводческой продукции, способствовало на длительный период стабилизации уровня pH в благоприятном для роста и развития растений интервале [12]. Необходимо учитывать, что на кислых почвах применение минеральных удобрений мало эффективно, а в ряде случаев даже токсично (табл. 2).

**1. Изменение емкости поглощения дерново-подзолистых почв различного гранулометрического состава в зависимости от доз извести и удобрений, мэкв/100 г почвы**

Дозы удобрений	извести	Е	ΔЕ
			от 1т извести
Без удобрений (песчаная почва)	0	5,63	—
	До pH 5	7,38	1,09
	До pH 7	8,45	0,54
N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub> (песчаная почва)	0	5,84	
	До pH 5	7,37	0,96
	До pH 7	8,02	0,42
N <sub>120</sub> P <sub>120</sub> K <sub>120</sub> (песчаная почва)	0	6,18	
	До pH 5	6,55	0,23
	До pH 7	7,92	0,33
НСП <sub>05</sub>		0,62	
Без удобрений (супесчаная почва)	0	8,27	
	До pH 5	9,53	0,57
	До pH 7	12,20	0,42
N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub> (супесчаная почва)	0	8,12	
	До pH 5	9,30	0,54
	До pH 7	11,30	0,34
N <sub>120</sub> P <sub>120</sub> K <sub>120</sub> (супесчаная почва)	0	8,58	
	До pH 5	8,90	0,15
	До pH 7	12,14	0,38
НСП <sub>05</sub>		0,75	
Без удобрений (легкая глина)	0	13,66	
	До pH 5	14,36	0,37
	До pH 7	20,53	0,46
N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub> (легкая глина)	0	13,68	
	До pH 5	14,14	0,24
	До pH 7	21,77	0,55
N <sub>120</sub> P <sub>120</sub> K <sub>120</sub> (легкая глина)	0	13,64	
	До pH 5	14,94	0,68
	До pH 7	19,68	0,41
НСП <sub>05</sub>		0,89	

Приведенные в таблице 2 данные свидетельствуют о том, что на слабокультуренной почве с сильной степенью кислотности и высоким содержанием алюминия (pH 4,0, Нг 6,5 мэкв, подвижный алюминий 11,7 мг/100 г почвы) эффективность известкования в 1,5-2,0 раза превышает действие минеральных удобрений.

## 2. Влияние сочетания известкования с минеральными удобрениями на урожай озимой пшеницы и ячменя (Костромской НИИСХ), ц/га

Вариант опыта	Озимая пшеница				Ячмень			
	Урожай	Прибавка			Урожай	Прибавка		
		общая	от извести	от NPK		общая	от извести	от NPK
Контроль (б/у)	3,1	-	-	-	11,1	-	-	-
Известь, 1 г.к.	12,8	9,7	9,7	-	21,3	10,2	10,2	-
N <sub>1</sub> P <sub>1</sub> K <sub>1</sub>	7,1	4,0	-	4,0	16,4	5,3	-	5,3
N <sub>1</sub> P <sub>1</sub> K <sub>1</sub> + известь	14,5	11,4	7,4	-	26,1	15,0	9,7	-
N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub>	7,5	4,4	-	4,4	18,5	7,4	-	7,4
N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub> + известь	23,1	20,0	15,6	-	23,5	12,4	5,0	-

В дальнейшем прекращение известкования, в связи с недостатком финансирования и снижением объемов работ, обусловило вторичное подкисление почв и обеднение кальцием и магнием сельскохозяйственных земель во многих регионах Российской Федерации. Процесс подкисления почв усиливался также за счет выпадения «кислых» дождей и в результате применения физиологически кислых минеральных удобрений, в первую очередь азотных. На основании анализа результатов многолетней динамики кислотности различных типов почв выявлено, что подкисление среды в корнеобитаемом слое почвы происходит со среднегодовым снижением величины pH на 0,02-0,03 ед. [3]. В итоге в земледелии России сложился отрицательный баланс кальция.

В настоящее время площадь кислых почв сельскохозяйственных угодий составляет более 35 млн га. Отмечено значительное подкисление почв в Центрально-Черноземном, Поволжском, Северо-Кавказском, Восточно-Сибирском, Дальневосточном и других регионах России. Например, в Пензенской области, где преобладают выщелоченные черноземы, средневзвешенный показатель pH составляет 5,0, а в Псковской в подзолах – 5,5 [4]. Опыт Татарстана свидетельствует о том же: в подзолистой зоне в результате известкования площади кислых почв снижаются, а в зоне черноземов, где его не проводят, площади почв с избыточной кислотностью растут [5]. По-видимому, быстрое обеднение почвенного поглощающего комплекса кальцием и является одной из главных причин возрастания кислотности черноземов (табл. 3).

## 3. Прибавки урожаев сельскохозяйственных культур в зависимости от доз известковых удобрений (выщелоченный чернозем, Тамбовский НИИСХ)

Культуры	Дозы удобрений, кг/га	Урожай без извести, ц/га	Дозы CaCO <sub>3</sub> по г.к.			
			0,5	1,0	1,5	2,0
			Прибавка урожая, ц/га			
Викоросовая смесь	Б/у	62,1	1,6	2,0	8,8	-0,2
	N <sub>40</sub> P <sub>30</sub> K <sub>30</sub>	52,2	4,8	8,0	2,1	3,3
	N <sub>80</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub>	58,4	0,1	4,6	1,8	-0,1
Яровая пшеница	Б/у	13,1	1,4	1,6	1,4	0,4
	N <sub>60</sub> P <sub>40</sub> K <sub>40</sub>	14,6	0,6	1,8	1,9	-0,1
	N <sub>120</sub> P <sub>80</sub> K <sub>80</sub>	14,6	-1,1	0,1	0,3	-0,6
Ячмень	Б/у	34,8	1,1	0,6	2,9	7,5
	N <sub>40</sub> P <sub>40</sub> K <sub>30</sub>	37,8	4,2	9,4	8,9	10,1
	N <sub>80</sub> P <sub>80</sub> K <sub>80</sub>	45,2	1,6	1,4	4,4	4,2

Поэтому проблема эффективного, ресурсосберегающего и природоохранного известкования в настоящее время приобретает большое значение. Следует отметить, что эффективность минеральных удобрений снижается как в сильнокислом, так и в слабощелочном диапазонах почвенной среды. Продолжительность действия и периодичность внесения извести обусловлены, с одной стороны, дозой ее внесения, химическим и гранулометрическим составом, с другой, скоростью и количеством отчуждения кальция и магния урожаями сельскохозяйственных культур и их потерями за счет вымывания, уровнем применения минеральных удобрений и их химическим составом, количеством просачивающихся вод, гранулометрическим составом почв и др. (рис.).

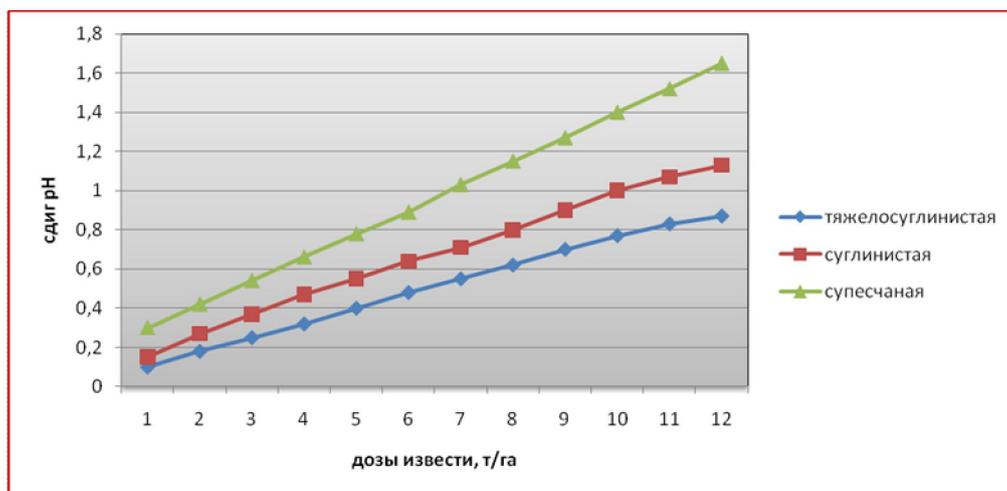


Рис. Влияние доз извести (CaCO<sub>3</sub>) на сдвиг pH дерново-подзолистых почв

- 1)  $Y = 0,2787x - 0,00919 \cdot 2$ ;  $R=0,7$ ; супесчаная почва
- 2)  $Y = -0,361 + 0,51 \cdot 0,5$ ;  $R=0,61$  суглинистая почва
- 3)  $Y = -0,468 + 0,454 \cdot 0,5$ ;  $R=0,61$  тяжелосуглинистая почва

Многолетний опыт научных исследований позволил определить методические подходы к первичному, вторичному и поддерживающему известкованиям, в основе которых было положение, что для получения наибольшей урожайности высокого качества растениеводческой продукции необходимо создание оптимальной реакции почвенной среды. Стоит отметить, что оптимальный уровень реакция почв не является строго фиксированной величиной и зависит от большого числа факторов, в том числе от биологических особенностей возделываемых культур, агрохимических свойств почв. Оптимизация реакции среды в почве – обязательное условие для высокоэффективного действия минеральных удобрений.

Разработанные ранее ВНИИ агрохимии нормативы для сдвига рН в зависимости от почвенно-климатических условий были дифференцированы таким образом, чтобы сильно- и среднекислые почвы нейтрализовать до оптимального диапазона. Непременным является соблюдение очередности известкования почв. В первую очередь известкуют почвы с сильно-кислой реакцией, затем – со среднекислой и только после – со слабокислой, что позволяет получать наибольший суммарный эффект от имеющихся ресурсов. Значение этих требований возрастает в условиях недостатка финансирования и ресурсов мелиорантов.

В настоящее время разрушена вся технологическая схема применения известковых удобрений, включающая их добычу, размол, хранение, транспортирование и внесение. Поэтому первоочередная задача химической мелиорации – это восстановление всей технологической структуры применения от карьера до поля известковых удобрений.

Многочисленные расчеты баланса кальция в земледелии России, анализ данных лизиметрических и полевых опытов и практики известкования показывают, что для компенсации потерь кальция из почвы нужно ежегодно вносить 25-30 млн т известковых удобрений (в физической массе, при содержании АДВ не ниже 65-67%). Для прогрессивного снижения кислотности почвы и создания положительного баланса кальция уровень применения известковых удобрений должен составлять не менее 40 млн т в год. Решение этой задачи реально при достаточной сырьевой базе и финансовом обеспечении (табл. 4).

#### 4. Влияние доломитовой муки из породы прочностью 20-40 МПа на продуктивность севооборота в течение 11 лет

Вариант опыта	Среднегодовой урожай	Прибавка от доломитовой муки	Эффективность фракций, %	Окупаемость 1 т CaCO <sub>3</sub> 1 т к.е.
Без удобрений	10,6	–	–	–
Навоз + НПК – фон	24,6	–	–	–
Фон + стандартная доломитовая мука	33,4	8,8	100	2,36
Фракции доломитовой муки, мм:				
<0,25	33,8	9,2	105	2,46
0,25-1,0	34,2	9,6	110	2,59
1,0-3,0	32,6	8,0	92	2,17
3,0-5,0	32,2	7,6	87	2,04

Одним из путей удешевления стоимости известняковой муки является использование для помола известняков прочностью на сжатие менее 20-40 Мпа. К тонине помола требования менее жесткие, так как фракции 1-3 мм и даже 3-5 мм обладают высокой химической активностью, которая особенно заметно проявляется в последствии (см. табл. 4). Запасы малопрочных известняков в нашей стране достаточно велики, причем имеются и очень крупные месторождения, в частности, Судогодское во Владимирской области.

Также перспективным является использование магниесодержащих форм известковых удобрений – доломитовой, доломитизированной и магниальной муки и некоторых форм отходов промышленности, в первую очередь на почвах легкого гранулометрического состава: песчаных и супесчаных. В зоне распространения этих почв в настоящее время почти повсеместно визуально наблюдается недостаток магния для растений. Результаты наших многолетних лизиметрических исследований и анализ данных длительных полевых опытов свидетельствуют о том, что средние ежегодные потери магния из почвы (вынос растениями + вымывание) составляют около 1 мг/100 г почвы в год. То есть даже при оптимальном содержании этого элемента в песчаных и супесчаных почвах его критический уровень может наступить через 6-8 лет. Поскольку специальные формы магниевых удобрений практически не производятся, реальный путь решения проблемы в земледелии – применение магниесодержащих форм известковых удобрений.

Результаты длительных полевых опытов Центральной опытной станции ВНИИА за более чем 30-летний период показали равенство эффекта от фосфоритной муки и суперфосфата при периодическом известковании в интервале рН 5,5-6,2 (табл. 5). Причем в последствии наблюдается положительное взаимодействие известкования с применением фосфоритной муки.

#### 5. Эффективность фосфоритной муки и суперфосфата в условиях периодического известкования

Вариант опыта	Среднегодовой урожай	Прибавка урожая	
	з.е.		%
НК+ навоз – фон	23,9	-	-
Фон + Рф	31,6	7,7	96
Фон + Рс	31,9	8,0	100
Фон + CaCO <sub>3</sub> 3,0 г.к.	30,9	7,0	-
Фон + CaCO <sub>3</sub> 3,0 г.к. + Рф	32,8	1,9	95
Фон + CaCO <sub>3</sub> 3,0 г.к. + Рс	32,9	2,0	100

Анализ сочетания известкования с фосфоритованием в производственных условиях Владимирской области показал, что этот прием уже в первые годы освоения позволил получать стабильные урожаи (ц/га): зерновых 30-40, сена многолетних трав 40-60.

Полученные данные свидетельствуют, что сочетание известкования с фосфоритованием – важнейшая проблема отечественного земледелия, решение которой позволяет создать прочный фундамент оптимальных уровней реакции среды и содержания подвижных фосфатов в Нечерноземной зоне и в условиях ненасыщенных основаниями черноземов, т.е. почти на половине пахотных земель России. Известкование и фосфоритование являются приемами химической мелиорации почв, улучшают на длительный период их важнейшие

агрехимические свойства. Доведение уровня их применения до оптимального – важнейшая перспективная задача отечественного земледелия. Не случайно известны такие крылатые выражения : «уровень содержания фосфора в почве – становой хребет земледелия» и «кальций – страж почвенного плодородия».

Вопрос о дозах извести – центральный. Результаты многолетних полевых опытов показали, что внесение полных доз, обеспечивающих уровень реакции среды в почве, соответствующий рН 5,6-6,0, в течение двух ротаций полевого севооборота оказывает устойчивое положительное влияние на урожай сельскохозяйственных культур. На их фоне применение минеральных удобрений в средних за севооборот дозах 100-120 кг/га NPK позволяет достигать окупаемости 1 кг NPK 7-10 кг с.-х. продукции в пересчете на зерно при средней урожайности зерновых 30-40 ц/га. Известковые удобрения увеличивают вымывание кальция из почвы. Половинные дозы извести используют в условиях дефицита мелиоранта и финансовых возможностей. Однако, окупаемость 1 т CaCO<sub>3</sub> в течение ротации севооборота будет на 25-35% выше. С.С. Ярусовым (1932) и Н.И. Авдониным (1960) были разработаны эффективные приёмы применения малых доз извести, но из-за кратковременности действия они не нашли применения в практике земледелия.

В настоящее время теоретически и экспериментально проработаны вопросы эффективности повторного известкования, выявлены химизм и количественные параметры потерь кальция и магния из почвы, разработаны научные основы и методика прогнозирования динамики кислотности, достаточно точно можно рассчитать баланс кальция в почве. Однако эти материалы разработаны в основном для Центрального, Северо-Западного природно-экономических районов, Татарстана. В других регионах эти вопросы недостаточно исследованы.

Для наибольшей эффективности известкования необходимо современное научное обеспечение практики осуществления этого мероприятия. В настоящее время и на перспективу, по нашему мнению, основные исследования следует направить на решение следующих задач по развитию теории и практики известкования почв:

1. Выявление оптимальных уровней реакции среды в почве в зависимости не только от показателей её физико-химических свойств, гранулометрического состава и содержания гумуса, но и от содержания доступных для растений питательных веществ, степени загрязнения почвы токсичными элементами, потенциальной продуктивности видов и сортов растений.

2. Установление закономерностей динамики форм кислотности произвесткованных почв в длительном последствии.

3. Разработка приёмов сочетания известкования с минеральными удобрениями, обеспечивающих окупаемость 1 кг NPK не менее 10-12 кг сельхозпродукции в пересчете на зерно.

4. Разработка приёмов применения фосфоритной муки различных месторождений на произвесткованных почвах, обеспечивающих её эффективность на уровне водорастворимых форм известковых удобрений.

5. Исследование закономерностей миграции кальция и магния из почвы и разработка приёмов, снижающих их потери.

6. Природоохранные и ресурсосберегающие технологии известкования почв.

7. Исследование влияния известкования почв на качество растительной продукции.

8. Разработка доз, форм и приёмов внесения известковых удобрений, обеспечивающих максимальный эффект при детоксикации почв, загрязнённых тяжелыми металлами и радионуклидами.

9. Разработка теоретических основ известкования ненасыщенных основаниями черноземов.

10. Совершенствование рекомендуемых и разработка новых методов определения потребности в известковании и доз извести.

11. Исследование эффективности известковых удобрений в зависимости от их АДВ, гранулометрического, химического, минералогического составов и твердости. Разработка экспресс-методов определения химической активности известковых удобрений.

12. Разработка приёмов известкования, обеспечивающих максимальную окупаемость затрат на его проведение.

Одна из главных задач – это сохранение и наиболее полное аналитическое обеспечение длительных полевых опытов с известкованием, так как только их результаты позволят объективно оценить настоящее и прогнозировать будущее.

Еще раз подчеркнем, что альтернативы известкованию как высокоэффективному энерго-, ресурсосберегающему и природоохранному мероприятию нет. Имеется настоятельная потребность в разработке мероприятий по восстановлению всей технологической системы и необходимых объёмов проведения известкования (фосфоритования), учитывая, что оно является важнейшим звеном в решении проблемы продовольственной безопасности.

#### *Литература*

1. *Гедройц К.К.* Известкование почвы и отношение между количествами обменного кальция и магния в почве. – М.: ГИЗ с.-х. литературы, 1955. – Т.3. – С.457-461.

2. *Шильников И.А., Аканова Н.И.* Известкование – главный фактор сохранения плодородия почв и повышения продуктивности сельскохозяйственных культур//Достижения науки и техники АПК. – 2008. – №1. – С. 21-23.

3. Научная концепция известкования почв при современном уровне знаний /А.Н. Небольсин [и др.] //Вопросы известкования почв. – М.: Агроконсалт, 2002. – С. 132-134.

4. Проблемы известкования кислых почв в республике Татарстан /Ш.А. Алиев [и др.]. – Казань, 2002. – 82 с.

5. *Федоров А.А.* Теория и практика известкования кислых почв юга российского Дальнего Востока: моногр. /А.А. Федоров, В.П. Басистый; ПГСХА. – Уссурийск, 2001. – 164 с.

6. *Петрова И.С.* Агроэкономическая эффективность сочетания возрастающих доз минеральных и известковых удобрений //Бюлл. ВИУА. – 1987. – № 82. – С. 68-72.

7. *Шедеров С.Г.* Влияние извести на органическое вещество почвы и удобрений / Вопросы известкования дерново-подзолистых почв// Труды ВИУА. – 1961. – Вып. 38. – С. 117-127.

8. *Клебанович Н.В., Василюк Г.В.* Известкование почв Беларуси. – Минск: БГУ, 2003. – 179 с.

9. Шильников И.А., Ермолаев С.А., Аканова Н.И. Баланс кальция и динамика кислотности пахотных почв в условиях известкования. – М.: ООО «Технология», – 2006. – 158 с.
10. СССР в цифрах и фактах в 1985 году. – М.: Финансы и статистика, 1986. – 254 с.
11. Смирнова А.В., Петрова И.С., Тараканов А.К. Влияние известкования на урожайность сельскохозяйственных культур. Инфор. листок № 90-86. Кострома, 1986. – 4 с.
12. Шильников И.А., Аканова Н.И., Ефремова С.Ю. Прогнозирование состояния почвенного плодородия под влиянием химической мелиорации//Научно-методический журнал «XXI век: Итоги прошлого и проблемы настоящего плюс». – 2016. – №02(30). – С. 128-138.
13. Шильников И.А., Сычёв В.Г., Шеуджен А.Х., Аканова Н.И. Потери питательных элементов растений. Монография. Изд-во: Lambert Academic Publishing, OmniScriptum GmbH & Co.KG, Deutschland – 502 с.
14. Шильников И.А., Гришине Г.Е., Аканова Н.И. Природоохранное значение известкования почв//Нива Поволжья. – 2008. – №1(6). С. 15-20.
15. Алиев, Ш.А. Проблемы известкования кислых почв в Республике Татарстан / Ш. А. Алиев, С. Ш. Нуриев, В. З. Шакиров. – Казань, 2002. – 81 с.
16. Сычев В.Г., Киртичников Н.А., Шильников И.А. Эффективность фосфоритной муки при известковании дерново-подзолистых почв. – М.: ВНИИА, 2015. – 139 с.

#### MODERN PROBLEMS AND PROSPECTS OF CHEMICAL AMELIORATION OF ACIDIS SOILS

*Sychev V.G., Akanova N.I.*

*Pryanishnikov Institute of Agrochemistry, Pryanishnikova ul. 31A, 127550 Moscow, Russia E-mail: info@vniia-pr.ru*

*Considered factors influencing effectiveness of liming of soils, its combination with mineral fertilizers. Quantitative parameters of the soil root zone bases depending on the particle size distribution of soils and form chemical ameliorant. Are the results of the effect of different doses of lime on crop yields. Set shift 1 pH from tons of lime fertilizers depending on particle size distribution of soils. High efficiency is proved experimentally phosphorite powder combined with известкованием sod-podzolic soils*

*The keywords: liming, calcium, magnesium, the migration of bases, soil, the loss of calcium, the balance of the nourishing elements*