

ФАКТОРЫ ЭФФЕКТИВНОСТИ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ

В.Г. Сычев, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии имени Д.Н. Прянишникова»

127434, ул. Прянишникова, 31А, Москва, Россия, sychev55@mail.ru

Проведен анализ данных Географической сети опытов за длительный период времени. Выявлены основные факторы, влияющие на эффективность минеральных удобрений.

Основными факторами, определяющими окупаемость минеральных удобрений, считаются: метеоусловия, тип и окультуренность почвы, биологические особенности возделываемых культур, сортовая специфика, дозы, формы, сроки и способы внесения минеральных удобрений. Окупаемость минеральных удобрений зависит также от внесенных органических удобрений, средств защиты растений, способов обработки почвы, севооборота, мелиоративных мероприятий.

Ключевые слова: длительные опыты, окупаемость минеральных удобрений.

Для цитирования: Сычев В.Г. Факторы эффективности минеральных удобрений // Плодородие. – 2025. – №3. – С. 4-7. DOI: 10.25680/S19948603.2025.144.01.

Основными показателями эффективности применения минеральных удобрений являются величина и прибавка урожая, окупаемость минеральных удобрений в стоимостном и физическом выражении. Из-за высокой волатильности цен на удобрения и сельскохозяйственную продукцию хозяйственникам часто приходится принимать решение о целесообразности применения минеральных удобрений, выборе их доз и форм.

В агрохимической науке часто используют термин «окупаемость минеральных удобрений», под которым понимается величина прибавки урожайности, полученная от внесения 1 кг питательных веществ минеральных удобрений, выраженная в действующем веществе.

Так как цена на минеральные удобрения часто складывается из затрат на их производство, накладных расходов и различных наценок, которые можно в какой-то степени регулировать, то прибавка от их применения чаще более объективная величина эффективности, хотя тоже может зависеть в том числе от квалификации специалистов.

Для установления эффективности минеральных удобрений по зонам страны была создана (1941 г.) Географическая сеть опытов с удобрениями. Главной задачей ее являлось изучение минеральных удобрений в севообороте для обеспечения прогрессивного увеличения урожая возделываемых культур с учетом плодородия почв.

Основными факторами, определяющими окупаемость минеральных удобрений, считаются: метеоусловия, тип и окультуренность почвы, биологические особенности возделываемых культур, сортовая специфика, дозы, формы, сроки и способы внесения минеральных удобрений. Окупаемость минеральных удобрений зависит также от внесенных органических удобрений, средств защиты растений, способов обработки почвы, севооборота, мелиоративных мероприятий.

Обобщение огромного опытного материала, полученного в Геосети за длительный промежуток времени, позволило выявить тенденции изменения окупаемости минеральных удобрений от многих факторов (табл. 1).

Проведенные исследования на трех основных типах почв европейской территории России свидетельствуют,

что окупаемость удобрений зерном озимой пшеницы в благоприятные годы закономерно снижается от черноземов к дерново-подзолистым почвам. При этом наибольшая отдача от применения удобрений на черноземах снижалась от чернозема обыкновенного до предкавказского выщелоченного.

1. Окупаемость удобрений зерном озимой пшеницы на различных типах почв европейской территории России

Учреждение	Почва	Окупаемость, кг/кг
Воронежский СХИ	Чернозем обыкновенный	6,8
Ульяновская ОС	Чернозем выщелоченный	5,4
Чувашская СХИ	Серая лесная	5,7
Кубанский СХИ	Предкавказский чернозем выщелоченный	4,9
Рязанская ОС	Серая лесная	4,6
Смоленский НИИСХ	Дерново-подзолистая	4,2
НИИ ЦРНЗ	Дерново-подзолистая	4,1

Обобщение результатов длительных опытов, в зависимости от окультуренности дерново-подзолистой почвы, свидетельствует, что чем более высокое содержание гумуса, оптимальное значение кислотности и агрохимических показателей по количеству доступного фосфора и обменного калия, тем выше окупаемость минеральных удобрений (табл. 2).

2. Окупаемость минеральных удобрений зерном ярового ячменя в зависимости от окультуренности дерново-подзолистой почвы

Содержание гумуса, %	pH _{KCl}	Содержание доступного P ₂ O ₅ , мг/кг	Содержание обменного K ₂ O, мг/кг	Доза удобрения, кг д.в./га	Окупаемость, кг/кг NPK
1,50	5,0	75	75	N ₈₀ P ₇₅ K ₇₅	6,7
1,50	5,0	140	140	N ₈₅ P ₅₀ K ₅₀	7,4
2,00	6,0	210	190	N ₇₀ P ₃₅ K ₃₅	8,1

Известно, что основной причиной низкого плодородия дерново-подзолистых почв является их кислотность.

Применение извести на кислых почвах – хорошо известный прием в сельском хозяйстве. Установлено, что известкование повышает подвижность питательных элементов почвы. Это способствует росту урожайности, но одновременно увеличивает потери питательных веществ при инфильтрации. В этой связи, с давних времен существовало поверье, «что применение извести и мергеля обогащают отцов, но детей разоряют ...». Поэтому известкование должно совмещаться с применением удобрений. «...Известь, примененная одна, без навоза, ведет к обеднению и крестьянина и его земли ...» [2].

Обобщение большого числа опытов (за 30 лет) в Нечерноземной зоне показало, что оптимизация кислотного режима в значительной степени повышает урожайность от 5,7 ц/га при pH менее 4, до 35,9 ц/га при pH более 6,1. При этом закономерно увеличивалась окупаемость внесенных удобрений (NPK_{60-90}). Последовательное снижение кислотности дерново-подзолистых почв, как суглинистых, так и супесчаных, приводило к росту урожайности и отдачи от применения минеральных удобрений (табл. 3).

3. Влияние кислотности почв на окупаемость минеральных удобрений ($N_{60-90}P_{60-90}K_{60-90}$) зерном озимой пшеницы в Нечерноземной зоне (в среднем за 1965-1995 г.)

pH	Число опытов	Урожайность, ц/га	Прирост зерна, ц/га на 0,1 ед. pH	Окупаемость кг зерна/кг NPK
Суглинистые почвы				
< 4,0	16	5,7	-	-
4,1-4,5	15	12,0	1,26	2,6
4,6-5,0	44	24,5	2,50	8,4
5,1-5,5	51	31,1	1,32	11,3
5,6-6,0	86	33,5	0,48	12,4
6,1-6,5	46	35,9	0,48	13,0
Супесчаные почвы				
4,1-4,5	1	8,0	-	-
4,6-5,0	6	21,1	2,62	7,2
5,1-5,5	26	29,5	1,68	11,9
5,6-6,0	12	30,8	0,26	12,7
6,1-6,5	29	33,2	0,48	14,0

Многочисленные опыты, проведенные на дерново-подзолистой почве Нечерноземной зоны, свидетельствуют о закономерном росте прибавки урожая при увеличении доз азота на почвах с низкой обеспеченностью минеральным азотом (от 0 до 17 мг/кг в 40 см слое почвы). При достаточном содержании минерального азота в почве (> 17 мг/кг) внесение азотных удобрений не дает прибавки и даже вызывает отрицательный эффект (табл. 4).

Окупаемость азотных удобрений снижается от низкого содержания минерального азота (0-10 мг/кг) и минимальной дозы азота (N_{30}) по мере увеличения дозы азота и увеличения содержания минерального азота в почве.

Накопленное значительное количество таких материалов позволило разработать нормативы применения азотных удобрений в зависимости от содержания $N_{мин}$ в почве [1].

Несколько по-иному отмечены зависимости влияния азотных удобрений на урожай от содержания подвижного фосфора в почве (табл. 5).

4. Эффективность применения азотных удобрений под озимую пшеницу в зависимости от содержания минерального азота в дерново-подзолистой почве

Содержание минерального азота в слое 0-40 см, мг/кг	Дозы азота, кг д.в./га				
	30	45	60	90	120
Прибавка урожая, ц/га					
0-10	9,3	9,3	11,5	11,3	10,6
11-15	7,6	10,2	11,0	11,3	12,6
15-17	2,7	4,4	4,2	5,2	3,8
17-20	-0,6	0,5	0,6	-0,7	-2,3
>20	-1,2	-0,8	-3,5	-4,5	-4,1
Окупаемость азота прибавкой урожая, кг/кг					
0-10	31,0	20,7	19,2	12,6	8,8
11-15	25,3	22,7	18,3	12,6	10,5
15-17	9,0	9,8	7,0	5,8	3,2
17-20	-	1,1	1,0	-	-

5. Эффективность применения азотных удобрений под озимую пшеницу в зависимости от содержания подвижного фосфора в дерново-подзолистой почве

Содержание P_2O_5 , мг/кг	Дозы азота, кг д.в./га					
	30	60	90	120	150	180
Прибавка урожая, ц/га						
30	3,8	4,1	4,4	4,6	4,8	5,1
60	6,5	7,2	7,7	8,3	8,7	9,3
80	8,2	9,3	10,1	10,9	11,6	12,4
100	8,8	10,3	11,4	12,4	13,4	14,5
120	8,5	10,4	11,7	13,0	14,2	15,5
Окупаемость азота прибавкой урожая, кг/кг						
30	12,7	6,8	4,9	3,8	3,2	2,8
60	21,7	12,0	8,6	6,9	7,3	5,2
80	27,3	15,5	11,2	9,1	7,7	6,9
100	29,3	17,2	12,7	10,3	8,9	8,1
120	28,3	17,3	13,0	10,8	9,5	8,6

Данные длительных опытов, проведенных на дерново-подзолистых почвах, свидетельствуют, что прибавка урожая озимой пшеницы одновременно возрастает с увеличением содержания подвижного фосфора в почве и дозы вносимых азотных удобрений. Так максимальная прибавка урожая озимой пшеницы в среднем за много лет составила более 15 ц/га при содержании P_2O_5 в почве 120 мг/кг и дозе азотных удобрений 180 кг д.в./га.

Окупаемость азотных удобрений при этом увеличивалась с ростом содержания подвижного фосфора, но снижалась закономерно с повышением дозы внесенного азота.

Полученные данные, также легли в основу разработанных нормативов применения азотных удобрений при различном содержании P_2O_5 в почве.

Определенное влияние на эффективность минеральных удобрений оказывает соотношение элементов питания во внесенных удобрениях (табл. 6).

Анализ многолетних данных в длительном опыте Белгородского НИИСХ (среднее за 4 ротации, 16 лет) свидетельствует, что продуктивность севооборота, выраженная в прибавке урожая, увеличивается по мере увеличения дозы удобрения и оптимизации соотношения. Известно, что черноземные почвы достаточно обеспечены обменным калием, поэтому снижение его доли в удобрении не влияет на урожай и даже увеличивает его прибавку. Окупаемость при этом в меньшей степени

зависит от соотношения элементов питания и в большей – от дозы.

6. Влияние соотношения минеральных удобрений на их окупаемость в почвозащитном зернокормовом севообороте Белгородского НИИСХ

Вариант	Соотношение NPK	Прибавка,		Окупаемость NPK, кг/кг к е.
		ц/га к е.	%	
N ₃₅ P ₃₅ K ₃₅	1:1:1	9,6	26	9,1
N ₇₀ P ₃₅ K ₃₅	1:0,5:0,5	11,5	31	8,2
N ₁₀₅ P ₃₅ K ₃₅	1:0,3:0,3	11,9	32	6,8
N ₇₀ P ₇₀ K ₃₅	1:1:0,5	11,7	31	6,7
N ₁₀₅ P ₇₀ K ₃₅	1:0,7:0,3	14,5	39	6,9
N ₇₀ P ₁₀₅ K ₃₅	1:1,5:0,5	13,4	36	6,4
N ₁₀₅ P ₁₀₅ K ₇₀	1:1:0,7	14,7	40	5,3

Органические удобрения, кроме улучшения физических свойств почвы, значительно обогащают ее элементами питания. В длительных исследованиях опытной станции ВНИИА показано, что продуктивность севооборота возрастает, как при увеличении дозы вносимых удобрений, так и в сочетании их с навозом. При этом максимальная продуктивность севооборота наблюдалось при одновременном внесении навоза и минеральных удобрений. Окупаемость минеральных удобрений была, наибольшей при малых дозах удобрений в и сочетании с навозом (табл. 7).

7. Влияние органических удобрений на окупаемость минеральных удобрений

Вариант	Среднегодовая продуктивность севооборота, ц з.е/га	Прибавка, ц з.е/га	Окупаемость 1 кг NPK кг з.е.
Навоз	32,0	9,6	5,5
Навоз + NPK (экв. NPK навоза)	46,5	24,1	6,9
Навоз +2 NPK	57,5	32,1	6,1
Навоз + 3 NPK	57,5	35,1	5,0
NPK (экв. NPK навоза)	37,6	15,2	8,7
2 NPK	47,3	24,9	7,1
3 NPK	52,2	29,8	5,7
4 NPK	55,2	32,8	4,7

8. Действие комплексного применения средств химизации на окупаемость минеральных удобрений зерном озимой пшеницы (ЦОС ВНИИА)

Вариант	Урожайность т/га	Прибавка, т/га		Окупаемость 1 кг NPK зерном, кг
		к контролю	к фону	
Контроль, без химизации	3,66	-	-	-
NPK (фон 2)	4,64	1,01	-	3,0
Фон 2+Г	5,45	1,79	0,78	6,3
Фон 2+Г+Р	6,04	2,38	1,37	7,0
Фон 2+Г+Р+Ф	6,71	3,03	2,04	9,0
Навоз + NPK (фон 1)	4,56	0,90	-	3,3
Фон1+Г	5,49	1,83	0,93	6,8
Фон1+Г+Р	5,85	2,20	1,30	8,1
Фон1+Г+Р+Ф	6,46	2,76	1,86	10,2

Примечание. Г – гербициды, Р – ретарданты, Ф – фунгициды.

В длительных исследованиях на опытной станции ВНИИА при изучении последовательного включения в систему питания различных средств химизации,

урожайность озимой пшеницы возрастала от 3,7 т/га на контроле до 6,5 т/га при использовании минеральных удобрений совместно с навозом на фоне системы защиты растений от сорняков и болезней, и ретардантов.

При этом, прибавка урожая возрастала по мере проведения на посевах комплекса агрохимических мероприятий, параллельно с этим возрастала и окупаемость минеральных удобрений.

Определенное влияние на окупаемость минеральных удобрений оказывает способ внесения. Длительные опыты, проведенные в Самарской ГСХА, показали, что урожайность яровой пшеницы достоверно увеличивалась при использовании азота. Однако, в условиях недостаточного увлажнения, доза азота от 15 до 35 кг д.в/га мало влияла на урожайность (табл. 9). Внесение удобрений одновременно с посевом оказалось менее эффективным по сравнению с внесением выше семян после посева, в междурядья и даже с поверхностным внесением. Прибавка урожая к контролю при этом составляла 18% в среднем при внесении 15-35 кг/кг N. В других вариантах 27; 29 и 24 % соответственно.

9. Влияние способа внесения азотных удобрений на их окупаемость зерном яровой пшеницы (Самарская ГСХА)

Внесение удобрений	Доза N удобрений, кг/га	Урожайность, ц/га	Прибавка к контролю, ц/га	Окупаемость 1 кг питательных веществ кг зерна
Контроль (б/удобрений)		18,5	-	-
Одновременно с посевом	15	20,6	2,1	14,0
	25	23,2	4,7	18,8
	35	22,2	3,7	10,5
После посева, выше семян	15	23,0	4,5	30,0
	25	23,5	5,0	20,0
	35	24,3	5,8	16,5
В междурядья	15	23,3	4,8	32,0
	25	23,7	5,2	20,8
	35	24,5	6,0	17,1
Поверхностное	15	23,0	4,5	30,0
	25	23,0	4,5	18,0
	35	22,9	4,4	12,5

Окупаемость возрастающей дозы азота закономерно снижалась. Однако, установлена наибольшая эффективность азота при внесении его в междурядья.

Многолетними наблюдениями установлено, что важнейшим фактором повышения урожайности является предшественник. На этих знаниях базируются разработки региональных севооборотов. Известно, что в зонах недостаточного увлажнения наиболее эффективным предшественником являются пары: чистый, кулисный и занятой. Размещение зерновых после зернобобовых, особенно после пласта многолетних трав, позволяло увеличивать урожайность даже без применения минеральных удобрений. Д.Н. Прянишников в книге «Азот в жизни растений и земледелии СССР» указывал, что урожайность озимой пшеницы в странах Европы в начале XIX в. составляла 7 ц/га, а с введением в севооборот клевера возросла до 15 ц/га. Применение минеральных удобрений позволило в XX в. повысить урожайность зерновых до 30 ц/га. Однако, с ростом химизации, значение предшествующей культуры так же актуально.

Окупаемость минеральных удобрений на озимой пшенице в зависимости от предшественника (Воронежский СХИ) составляла: если предшественник кукуруза на

силос – 7,9 кг зерна/кг NPK, вико-овсяная смесь – 6,0, вико-овес, эспарцет – 3,9 кг зерна/кг NPK.

Длительные опыты Воронежского СХИ с непаровыми предшественниками показали преимущество кукурузы на силос по сравнению с вико-овсянной смесью и эспарцетом.

Древнейший способ реализации потенциального плодородия почв – орошение. Наибольший эффект от этого мелиоративного приема достигается в зоне недостаточного увлажнения. Эффективность минеральных удобрений также находится в прямой зависимости от увлажненности. Данными Географической сети опытов установлено, что наибольшая окупаемость минеральных удобрений наблюдается при орошении в зоне высокой аридизации (табл. 10). Так, в условиях Волгоградской области на светло-каштановых почвах окупаемость минеральных удобрений без орошения была минимальной, а при орошении возрастала в 5-9 раз. В зоне черноземных почв орошение также значительно повышало эффективность минеральных удобрений (в 2-3 раза).

10. Влияние орошения на окупаемость минеральных удобрений зерном озимой пшеницы

Учреждение	Почва	Окупаемость, кг зерна / кг NPK	
		без орошения	с орошением
Донских СХИ	Чернозем приазовский	5,1	10,1
Зерноградская СОС	Чернозем обыкновенный	3,6	9,6
Волгоградский НИИОЗ	Светло-каштановая	1,1	4,5-9,0

Известно, что эффективность минеральных удобрений закономерно снижается с севера на юг, от дерново-подзолистых почв к каштановым, по мере повышения аридности климата. Однако в конкретных зонах окупаемость минеральных удобрений в значительной степени зависит от агрометеорологических условий. Так, в

Московской области вероятность наступления метеорологических условий с оптимальным увлажнением и обеспечением теплом в вегетационный период составляет 53% (группа А) (табл. 11). При этом окупаемость минеральных удобрений наибольшая, от всех применяемых доз. В то же время отмечена закономерность, что с повышением дозы вносимых удобрений их окупаемость снижается. Такая же закономерность и при других менее благоприятных агрометеорологических условиях.

11. Окупаемость минеральных удобрений зерном ярового ячменя с учетом различных агрометеорологических условий (по данным 17 длительных полевых опытов на дерново-подзолистых почвах, Московская обл.)

Группа погоды*	Вероятность группы, %	Окупаемость удобрений, кг зерна/ кг NPK			
		(NPK) ₃₀	(NPK) ₆₀	(NPK) ₉₀	(NPK) ₁₂₀
A	53	10,4	5,2	3,5	2,6
B	14	9,3	4,7	3,4	2,0
C	21	7,5	3,8	2,5	1,9
D	12	5,6	2,8	1,9	1,4

- * А – оптимальное увлажнение, оптимальная обеспеченность теплом;
 В – недостаточное увлажнение, оптимальная обеспеченность теплом;
 С – оптимальное увлажнение, повышенная обеспеченность теплом;
 D – недостаточное увлажнение, избыточная обеспеченность теплом.

Литература

1. Сычев В.Г., Шафран С.А. Влияние агрохимических свойств почв на эффективность минеральных удобрений. – М.: Изд.-во ВНИИА, 2012. – 200 с.
2. Ермаков А.С. Всенародная агрономия. – М.: Русская книга, 1996. – 512 с.
3. Отчеты учреждений-участников Геосети.

EFFICIENCY FACTORS OF MINERAL FERTILIZERS

V.G. Sychev

*All-Russian Scientific Research Institute of Agrochemistry named after D.N. Pryanishnikov,
 31A Pryanishnikova str., Moscow, 127434, Russia The analysis of data from Geographical Network
 experiments over a long period of time is carried out, sychev55@mail.ru*

The main factors determining the effectiveness of mineral fertilizers have been identified. The main factors determining the payback of mineral fertilizers are considered to be: weather conditions, type and cultivation of soil, biological features of cultivated crops, varietal specificity, doses, forms, timing and methods of applying mineral fertilizers. The payback of mineral fertilizers also depends on non-seeded organic fertilizers, plant protection products, tillage methods, crop rotation, and land reclamation measures.

Keywords: long-term experiments, payback of mineral fertilizers.