

УДК 631.452(474.3)

ОСНОВНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПЛОДОРОДИЯ ПОЧВЫ
В ДЛИТЕЛЬНОМ ДРЕНАЖНОМ СТАЦИОНАРЕ
В ЛАТВИЙСКОЙ РЕСПУБЛИКЕ

Я. ВИГОВСКИС, А. ЕРМУШ, А. ШВАРТА, Д. САРКАНБАРДЕ,
Л. АГАФОНОВА, Ю. ШТИКАНС

(Научный институт земледелия Латвийского сельскохозяйственного университета,
г. Скривери)

Статья содержит результаты длительных полевых опытов в дренажном стационаре на дерново-подзолистой почве в климатических условиях Латвии. Изучалось влияние минеральных удобрений и известки на вынос сельскохозяйственными культурами питательных веществ, их накопление в почве и баланс. Установлено, что при сочетании известкования почвы с ежегодным внесением средних доз минеральных удобрений $N_{90}P_{60}K_{90}$ обеспечивается оптимальный урожай зерновых (3,99-5,49 т/га). Чтобы получить бездефицитный баланс питательных веществ, необходимо регулярное внесение на 1 га² удобрений 90-100 кг азота, 30 кг фосфора, 80-90 кг калия. Регулярное внесение в почву средних и повышенных норм фосфорных (P_{60-90}) и калийных удобрений (K_{90-135}) обеспечивает как позитивный баланс, так и повышение содержания этих элементов в почве.

Ключевые слова: сельскохозяйственные культуры, урожайность, минеральные удобрения, известкование, баланс питательных веществ.

MAIN INDICES OF SOIL FERTILITY IN THE LONG-TERM DRAINAGE
EXPERIMENT IN THE REPUBLIC OF LATVIA

J. VIGOVSKIS, A. JERMUSS, A. SVARTA, D. SARKANBARDE, L. AGAFONOVA, J. STIKANS

(Agency of Latvia University of Agriculture «Research Institute of Agriculture», Latvia)

Article provides results of long-term field experiments at drainage station on sod-podzolic soil under Lah'ian climatic conditions. The influence of mineral fertilizers and lime on removal of nutrients by crops, accumulation in soil and balance of nutrients was studied. It was established that combination of soil lime treatment with annual application of average doses of mineral fertilizers $N_{90}P_{60}K_{90}$ provides optimum yield of grain crops (3.99-5.49 ton per ha). In order to obtain deficit-free balance of nutrients, Regular application offertilizers 90-100 kg ha⁻¹ of nitrogen, 30 kg ha⁻¹ ofphosphorus, 80-90 kg ha⁻¹ ofpotassium was used. Regular application of average and increased norms of phosphate (P_{60-90}) and potash (K_{90-135}) fertilizers provides both positive balance and increased content of these elements in soils. The study was supported by European Regional Development Fund, Project 2010/0232/2DP/2.1.1.1.0/1 0/APIAIAA/097.

Key words: yield, fertility, mineral fertilizers, lime treatment, nutritional balance.

Важное научное и практическое значение имеет комплексное изучение влияния удобрений и известкования на продуктивность культур, плодородие почв и ба-

ланс питательных веществ в земледелии [1, 3, 5]. Подсчитано, что 30-50% с.-х. продукции мы получаем благодаря удобрениям [2].

Высокая эффективность удобрений во многом обусловлена соответствием реакции среды, концентрацией и соотношением питательных элементов во время роста и развития растений [6, 7], а также свойствами почвы и обеспеченностью ее питательными элементами [9, 10]. Шаблонное, неквалифицированное внесение удобрений без достаточного знания и учета их свойств, без анализа почвы и потребностей растений способно резко уменьшить положительное влияние удобрений на урожай и вызвать отрицательное последствие на окружающую среду. При недостатке удобрений снижается не только урожайность, но и качество получаемой продукции [8, 4]. Следовательно, дифференцированные нормы питательных веществ и правильное соотношение их в удобрениях должны быть обоснованы по результатам опытов и анализов почв. Цель исследования — изучить влияние минеральных удобрений и извести на вынос с.-х. культурами питательных веществ, их накопление в почве и баланс.

Методика

Длительные полевые опыты проведены в дренажном стационаре с 16 деланками размером 15x50 м, посередине которых заложены осушительные гончарные дрены, собирающие почвенный раствор при избыточном увлажнении почвы. Устья дрен выведены в смотровые колодцы, позволяющие измерять объем воды дренажного стока и отбирать образцы воды по каждому варианту отдельно.

Почва опытного участка дерново-подзолистая глееватая суглинистая — в течение более 20 лет была изъята из с.-х. пользования. Перед закладкой опыта пахотный слой характеризовался следующими агрохимическими показателями: гумус — 1,9-2,1%, (по Тюрину), pH_{KCl} 4,7-4,9, подвижный фосфор (P_{205}) 10-15 $mg \cdot kg^{-1}$ почвы и обменный калий (K_2O) 40-60 $mg \cdot kg^{-1}$ почвы (по Эгнеру-Риму).

В севообороте стационара возделывали следующие культуры: многолетние травы, зерновые (рожь, тритикале, яровая пшеница, ячмень, овес), картофель, рапс.

В качестве известкового материала в полевом опыте применяли сланцевую золу из Эстонии. Минеральные удобрения в форме аммиачной селитры, простого гранулированного суперфосфата и хлористого калия вносили ежегодно под предпосевную культивацию, а для многолетних трав фосфорные и калийные удобрения — в запас под покровную культуру.

Опыт проведен по двухфакторной схеме 4x4, позволяющей изучить закономерности действия и взаимодействия четырех доз извести (в долях гидролитической кислотности почвы 0; 0,5; 1,0 и 2,0) и четырех доз полного минерального удобрения $N_0P_0K_0$, $N_{45}P_{30}K_{45}$, $N_{90}P_{60}K_{90}$, $N_{135}P_{90}K_{135}$.

Результаты и их обсуждение

Эффективность минеральных удобрений и извести на слабокультуренной почве при возделывании полевых культур была высокой и закономерной. Если урожай зерновых в абсолютном контроле (без извести и удобрений) составил 0,67-1,9 $t \cdot ga^{-1}$, то при известковании из расчета 1,0 норма по гидролитической кислотности (5,7 $t \cdot ga^{-1}$ $CaCO_3$) на фоне без удобрений — 1,37-2,24 $t \cdot ga^{-1}$.

Внесение NPK удобрений дало еще более существенную прибавку урожая зерновых. На низком фоне минеральных удобрений ($N_{45}P_{30}K_{45}$) без известкования урожай зерновых составил 2,08-3,67 тга на среднем фоне — ($N_{90}P_{60}K_{90}$) 2,59-5,20 $t \cdot ga^{-1}$, а на высоком — ($N_{135}P_{90}K_{135}$) 3,88-5,35 $t \cdot ga^{-1}$.

В вариантах, где было проведено известкование почвы и внесение NPK-удобрений, прирост урожая зерновых был еще более существенным. Самый высокий урожай зерна был получен от тритикале при сочетании известкования и внесения минеральных удобрений $N_{135}P_{90}K_{135}$ $-5,52 \text{ т}\cdot\text{га}^{-1}$.

Примерно такие же показатели эффективности минеральных удобрений и известии получены при возделывании многолетних трав, картофеля и рапса.

Следует отметить, что внесение высокой нормы NPK-удобрений не всегда дало самую большую прибавку урожая зерна по сравнению со средней нормой. Это, в частности, объясняется тем, что большие нормы удобрений вызвали полегание зерновых, что отрицательно влияло на урожай зерна.

Баланс азота. Результаты опыта показывают (табл. 1), что в контрольном варианте (без внесения удобрений и известии) дефицит азота составлял $27,1 \text{ кг}\cdot\text{га}^{-1}$. Известкование почвы на этом фоне еще более увеличило дефицит азота — до $-34,4 \text{ кг}\cdot\text{га}^{-1}$.

Т а б л и ц а 1

Баланс азота в дренажном стационаре

NPK фон	Потери азота дренажным стоком, $\text{кг}\cdot\text{га}^{-1}$	Вынос азота с урожаем и дренажным стоком, $\text{кг}\cdot\text{га}^{-1}$	Баланс азота, $\text{кг}\cdot\text{га}^{-1}$
<i>Неизвесткованная почва</i>			
$N_0P_0K_0$	5,5	27,1	-27,1
$N_{45}P_{30}K_{45}$	7,2	66,2	-21,2
$N_{90}P_{60}K_{90}$	8,1	75,9	+14,1
$N_{135}P_{90}K_{135}$	11,8	98,5	+36,5
<i>Известкованная почва</i>			
$N_0P_0K_0$	6,5	34,4	-34,4
$N_{45}P_{30}K_{45}$	7,5	64,9	-19,9
$N_{90}P_{60}K_{90}$	9,5	92,9	-2,9
$N_{135}P_{90}K_{135}$	11,2	100,4	+34,6

При ежегодном внесении азота $45 \text{ кг}\cdot\text{га}^{-1}$ в почве сохранялся дефицит азота — $19,9\text{-}21,2 \text{ кг}\cdot\text{га}^{-1}$. Несмотря на то что небольшая норма азота ($45 \text{ кг}\cdot\text{га}^{-1}$) в опытах обеспечила довольно высокую урожайность, такую норму азота нельзя рекомендовать, поскольку образуется негативный баланс азота ($-20 \text{ кг}\cdot\text{га}^{-1}$ за год), что приводит к снижению почвенного плодородия.

При внесении средних доз азота ($90 \text{ кг}\cdot\text{га}^{-1}$) в вариантах без внесения известии образовался позитивный баланс азота $14,1 \text{ кг}\cdot\text{га}^{-1}$, но в вариантах с известкованием еще сохранялся небольшой дефицит азота — $2,9 \text{ кг}\cdot\text{га}^{-1}$. Для получения бездефицитного баланса азота необходимо регулярное внесение минеральных удобрений в расчете $90\text{-}100 \text{ кг}\cdot\text{га}^{-1}$ азота.

Регулярное внесение в почву $135 \text{ кг}\cdot\text{га}^{-1}$ азота как с известкованием, так и без него обеспечило позитивный баланс азота соответственно $34,6$ и $36,5 \text{ кг}\cdot\text{га}^{-1}$. Такая доза азота практически не способствовала вымыванию азота дренажными водами. Но с экономической точки зрения вышеупомянутые варианты опыта не оправдывают себя, так как большая норма азота не обеспечила для большинства культур существенной прибавки урожая.

Баланс фосфора. За период исследований под влиянием систематического применения доз минеральных удобрений в почве изменилось содержание легко усваиваемого фосфора. Динамика этого процесса на неизвесткованной и известкованной дерново-подзолистой почве показана в таблице 2.

На делянках контрольного варианта (без удобрения) происходит постепенное снижение запасов подвижного фосфора, причем с известкованием более наглядно. На низком фоне удобрений ($N_{45}P_{30}K_{45}$) небольшое снижение наблюдается лишь в последние годы (как с известкованием, так и без него). От нормы фосфора P_{60} в почве постепенно, хотя и незначительно, содержание фосфора начинает повышаться, а при P_{90} уже происходит постоянное накопление подвижных соединений фосфора в почве.

Данные о среднем выносе фосфора с урожаем и балансе фосфора в почве при длительном применении минеральных удобрений приведены в таблице 3.

За этот период исследований вынос фосфора из неизвесткованной дерново-подзолистой почвы с урожаем полевых культур составил в среднем от 7,2 (контрольный вариант) до 33,6 $кг \cdot га^{-1}$ в год (при дозах минеральных удобрений $N_{135}P_{90}K_{135}$). На известкованном фоне урожай культур, а также вынос фосфора был выше: на неудобренных делянках он составил в среднем 9,7 $кг \cdot га^{-1}$, а на высоких дозах удобрения — 35,9 $кг \cdot га^{-1}$.

Процессы миграции растворимых соединений фосфора в дерново-подзолистой почве протекают медленно, что обусловлено активной фиксацией их в менее растворимые формы. Поэтому вымывание фосфора из почвы дренажным стоком составляет незначительную часть в общем балансе. На данной малокультуренной почве потери фосфора (P_2O_5) не превышали 0,1-0,5 $кг \cdot га^{-1}$. Дозы фосфорных удобрений практически не влияли на концентрацию фосфатных ионов в воде дренажного стока.

Результаты опыта показывают, что в контрольном варианте (без минеральных удобрений и известки) дефицит фосфора составил 7,5 $кг \cdot га^{-1}$. При ежегодном внесении фосфора P_{30} образовался небольшой позитивный баланс фосфора P_2O_5 — 5,7-7,0 $кг \cdot га^{-1}$. В стационаре в этом варианте все время сохранялся начальный уровень содержания фосфора в почве — 15 $кг \cdot га^{-1}$. Внесение в почву средних и высо-

Таблица 2
Изменение содержания фосфора (P_2O_5) в почве по годам

НПК фон	1982 г.	1986 г.	1992 г.	2002 г.
<i>Неизвесткованная почва</i>				
$N_0P_0K_0$	15	15	13	7
$N_{45}P_{30}K_{45}$	15	15	15	13
$N_{90}P_{60}K_{90}$	15	30	31	32
$N_{135}P_{90}K_{135}$	15	41	54	63
<i>Известкованная почва</i>				
$N_0P_0K_0$	15	15	10	4
$N_{45}P_{30}K_{45}$	15	15	15	13
$N_{90}P_{60}K_{90}$	15	33	33	36
$N_{135}P_{90}K_{135}$	15	48	80	90

Таблица 3
Средний вынос фосфора с урожаем и баланс фосфора в почве

НПК фон	Вынос P_2O_5 урожаем, $кг \cdot га^{-1}$	Баланс P_2O_5 , $кг \cdot га^{-1}$
<i>Неизвесткованная почва</i>		
$N_0P_0K_0$	7,2	-7,2
$N_{45}P_{30}K_{45}$	23,0	7,0
$N_{90}P_{60}K_{90}$	25,2	34,8
$N_{135}P_{90}K_{135}$	33,6	56,4
<i>Известкованная почва</i>		
$N_0P_0K_0$	9,7	-9,7
$N_{45}P_{30}K_{45}$	24,3	5,7
$N_{90}P_{60}K_{90}$	33,3	26,7
$N_{135}P_{90}K_{135}$	35,9	54,1

ких норм фосфора (P_{60} и P_{90}) как на известкованном фоне, так и в неизвесткованных вариантах обеспечило позитивный баланс фосфора (соответственно 26,7-34,8

Таблица 4

Содержание и баланс калия (K_2O) в почве

НРК фон	Содержание K_2O , мг·кг ⁻¹	Вынос K_2O с урожаем, кг·га ⁻¹	Баланс K_2O , кг·га ⁻¹
<i>Неизвесткованная почва</i>			
$N_0P_0K_0$	51	21,3	-21,3
$N_{45}P_{30}K_{45}$	67	49,6	-4,6
$N_{90}P_{60}K_{90}$	146	68,9	21,1
$N_{135}P_{90}K_{135}$	160	90,0	45,0
<i>Известкованная почва</i>			
$N_0P_0K_0$	64	28,1	-25,4
$N_{45}P_{30}K_{45}$	65	57,1	-12,1
$N_{90}P_{60}K_{90}$	115	85,2	4,8
$N_{135}P_{90}K_{135}$	215	108,4	36,6

и 54,1-56,4 кг·га⁻¹). Содержание фосфора в почве при таких нормах фосфорных удобрений в вариантах без внесения извести повысилось до 32-63 кг·га⁻¹, а с внесением извести — до 36-90 кг·га⁻¹.

Баланс калия. За период исследования под влиянием систематического применения калийных минеральных удобрений в почве изменялось содержание обменного калия. Данные об изменении содержания калия в почве в результате длительного применения калийных удобрений приведены в таблице 4.

На делянках без удобрения и при низком фоне удобрения ($N_{45}P_{30}K_{45}$) содержание калия в почве осталось на первоначальном уровне — 50-60 мг·кг⁻¹.

При норме внесения калийных удобрений K_{90} содержание калия в почве достигло 115-146 мг·кг⁻¹, а при норме K_{135} его содержание повысилось до 160-215 мг·кг⁻¹ почвы.

При внесении низкой нормы калийных удобрений (K_{45}) в почве сохранялся дефицит калия. При внесении средних норм калийных удобрений (K_{90}) образовался небольшой позитивный баланс калия (4,8-21,1 мг·кг⁻¹ в год), а при внесении высоких норм (K_{135}) позитивный баланс калия достиг 36,6-45,0 кг·га⁻¹ в год.

Выводы

1. Ежегодное внесение низких доз минеральных удобрений на неизвесткованной почве ($N_{45}P_{30}K_{45}$) обеспечило урожай зерновых 2,08-3,67 т·га⁻¹, средних доз ($N_{90}P_{60}K_{90}$) — 2,59-5,20 т·га⁻¹, а высоких ($N_{135}P_{90}K_{135}$) — 3,88-5,35 т·га⁻¹ при урожае 0,67-1,9 т·га⁻¹ без минеральных удобрений.

2. При сочетании известкования почвы (5,7-11,4 т·га⁻¹ $CaCO_3$) с ежегодным внесением средних доз минеральных удобрений $N_{90}P_{60}K_{90}$ обеспечивается оптимальный урожай зерновых 3,99-5,49 т·га⁻¹.

3. Чтобы получить бездефицитный баланс азота на экспериментальном поле дренажного стационара, необходимо регулярное внесение азотных удобрений в расчете 90-100 кг·га⁻¹ азота.

4. При ежегодном внесении фосфора P_{30} образовался небольшой позитивный баланс фосфора (5,7-7,0 кг·га⁻¹ P_{20}). В стационаре в этом варианте сохранялся начальный низкий уровень содержания фосфора в почве — 15 мг·кг⁻¹. Внесение в почву средних и высоких норм фосфора (P_{60} и P_{90}) обеспечило как позитивный баланс фосфора (соответственно 26,7-34,8 и 54,1-56,4 кг·га⁻¹), так и повышение содержания фосфора в почве.

5. Без калийных удобрений и при внесении низкой нормы K_{45} в почве сохранялся дефицит калия; при внесении средних норм калийных удобрений (K_{90}) образовался небольшой позитивный баланс калия (4,8-21,1 кг·га⁻¹ в год), а при внесении высоких норм (K_{135}) позитивный баланс калия достиг 36,6-45,0 кг·га⁻¹ в год.

Библиографический список

1. *Абатеv В.Д.* Вынос элементов питания с дренажным стоком из супесчаных почв // Мелиорация и водное хозяйство, 1992. 7-8.
2. *Кулаковская Т.Н.* Почвенно-агрохимические основы получения высоких урожаев. Минск, Ураджай, 1978.
3. *Тимбаре Р.Я.* Баланс питательных веществ на пашне // Химизация сельского хозяйства, 1989. №2.
4. *Berzins P., Rancane S., Svarta A.* The productive longevity of perennial grasses swards depending on the NPK fertilizer rates // *Agronomijas vestis*, 2008. №11.
5. *Karklins A., Dorbe A.* Nitrogen management for winter wheat. Environment and Sustainable Agriculture: Proceedings // Nordic Joint Committee and Baltic Joint Committee for Agricultural Research. Tartu, 1996.
6. *Lapinskas E., Ambrazaitiene K. et al.* Estimation of soil microbiological properties in relation to soil acidity and fertilization // *Agronomijas vestis*, 2005. № 8.
7. *LTpete I., Stikans J., Kazocins V* Impact of lime and fertilizers on nutrient losses through tile drains // Integrated land and water management. Challenges and new opportunities. Abstracts (IV Stockholm Water Symposium, 9-13 August), 1994.
8. *Reinfelds E, Timbare R.* Normative values of mobile phosphorus and potassium content in soil in Latvia and other European countries // State Scientific Production Enterprise (SSPE), 1997.
9. *Stikans J.* Efficiency of lime and mineral fertilizers on field crop yielding in acid, little ameliorated sod- podzol soils // Baltic Region: Agriculture in Acid Soils. Collection of articles. Lithuanian Scientific Society. Vilnius, 1993.
10. *Stikans J., Kazocins V, LTpete I.* Impact of fertilizers on nutrient losses through tile drains in Latvia // Proceedings of the Latvian Academy of sciences, 1996. V. 50. № 2.

Информация об авторах

Виговскис Янис Микелеевич — д. с.-х. н., ст. науч. сотр. Научного института земледелия Латвийского сельскохозяйственного университета, Латвия, тел. +37165197529, e-mail: vigovskis@inbox.lv

Ермуш Айварс Эвалдович — д. с.-х. н., ст. науч. сотр. Научного института земледелия Латвийского сельскохозяйственного университета Латвия, тел. +37165197529, e-mail: aivaram@inbox.lv

Шварта Агрита Робертовна — науч. сотр Научного института земледелия Латвийского сельскохозяйственного университета, Латвия, тел. +37165197529, e-mail: svarta@inbox.lv

Сарканбарде Дайна Артуровна — науч. сотр Научного института земледелия Латвийского сельскохозяйственного университета, Латвия, тел. +37165197529, e-mail: dainai@inbox.lv

Агафонова Людмила Владимировна — д. с.-х. н., ст. науч. сотр Научного института земледелия Латвийского сельскохозяйственного университета, Латвия, тел. +37165197529, e-mail: ljucema@inbox.lv

Штиканс Юрис Антонович — д. с.-х. н., проф., тел +37163020936

Information about the autor

Vigovskis Janis — Dr.agr., Senior researcher, Agency of Latvia University of Agriculture “Research Institute of Agriculture”, Latvia, phone: +37165197529, e-mail: vigovskis@inbox.lv

Jermuss Aivars — Dr.agr., Senior researcher, Agency of Latvia University of Agriculture “Research Institute of Agriculture”, Latvia, phone: +37165197529, e-mail: aivaram@inbox.lv

Svarta Agrita — Mag.agr., researcher, Agency of Latvia University of Agriculture “Research Institute of Agriculture”, Latvia, phone: +37165197529, e-mail: svarta@inbox.lv

Sarkanbarde Daina — Mag.agr., researcher, Agency of Latvia University of Agriculture “Research Institute of Agriculture”, Latvia, phone: +37165197529, e-mail: dainai@inbox.lv

Agafonova Ludmila — Dr.agr., Senior researcher, Agency of Latvia University of Agriculture “Research Institute of Agriculture”, Latvia, phone: +37165197529, e-mail: ljucema@inbox.lv

Stikans Juris —Dr.hab.agr., professor, phone: +37163020936