

УДК 631.559:631.816.1:631.582

ВЛИЯНИЕ ДЛИТЕЛЬНОГО ИНТЕНСИВНОГО ПРИМЕНЕНИЯ УДОБРЕНИЙ, ИЗВЕСТКОВАНИЯ И СЕВООБОРОТА НА УРОЖАЙНОСТЬ ПОЛЕВЫХ КУЛЬТУР

(по данным 70-летнего полевого стационара ТСХА)

А. М. ЛЫКОВ, Д. В. ВАСИЛЬЕВА, А. Ф. САФОНОВ, В. М. СУГРОБОВ

(Кафедра земледелия и методики опытного дела)

Научно обоснованная оценка роли современных интенсивных почвозащитных систем земледелия в формировании высоких устойчивых урожаев полевых культур имеет особое значение для современного земледелия и, что особенно важно, для земледелия обозримого будущего. Единственную возможность получить такую оценку, возможность заглянуть в завтрашний день интенсивного земледелия предоставляют нам длительные стационарные полевые опыты — строго контролируемые модели агрономического комплекса. Значение длительных опытов не только не уменьшается по мере решения тех или иных вопросов, но постоянно возрастает. Эта их особенность, к сожалению, не всегда четко осознаваемая, делает длительные опыты фундаментальным и незаменимым методом исследования в агрономии.

Интенсивное применение удобрений в современном земледелии — важнейший фактор повышения урожайности всех полевых культур и воспроизводства плодородия почвы [2, 5—7]. Однако теоретическое обоснование все возрастающего использования минеральных и органических удобрений нуждается в значительном уточнении. Прежде всего недостаточны наши представления о возможных предельно высоких экономически эффективных дозах удобрений в конкретных почвенно-климатических условиях. Не всегда понятны связи между системой удобрения и плодородием почвы. Недостаточно изучены агротехнические возможности повышения эффективности возрастающих доз удобрений. Нет точных количественных оценок роли удобрений в воспроизводстве биологических, агрофизических и даже агрохимических факторов плодородия. Остро стоит вопрос об экологической оценке современных систем удобрения, их приемлемости с точки зрения охраны окружающей среды. Единственным источником такой информации служат длительные многофакторные опыты.

Объект и методика исследований

В Нечерноземной зоне РСФСР, где рациональное применение удобрений и известкование относятся к основным факторам повышения урожайности, проводятся десятки многолетних полевых опытов для изучения действия систематического использования удобрений и севооборота на плодородие почвы [4, 8]. Среди них стационарный опыт, заложенный в 1912 г. профессором А. Г. Дояренко по инициативе академика Д. Н. Прянишникова на опытном поле кафедры земледелия Петровской сельскохозяйственной академии (ныне Московской сельскохозяйственной академии имени К. А. Тимирязева), старейший и наиболее информативный. Он-то и был основным объектом наших исследований.

Почва земельного участка дерново-среднеподзолистая, по механическому составу легкий крупнопылевато-песчанистый суглинок. В настоящее время стационар включает бессменные культуры: рожь, картофель, ячмень (до 1973 г. овес), озимую пшеницу (до 1973 г. клевер), лен, поле бессменного пара и 6-польный севооборот: пар (с 1968 г. в четные годы черный, в нечетные — занятый картофелем) — рожь — картофель — ячмень+клевер — клевер — лен. Площадь полей севооборота и бессменных культур — 1200—1400 м², учетных делянок — 50 м².

В течение 70 лет схема опыта принципиально не изменялась. Однако по мере получения ответов на те или иные вопросы

Нормы и общее количество удобрений, внесенных по периодам длительного опыта
ТСХА

| Периоды опыта, годы | Нормы | | | | Всего внесено | | | | |
|---------------------|-------|-----|------|----------------|---------------|-------|-------|-------|---------|
| | N | P | K | навоз, т/га | N | P | K | навоз | известь |
| | кг/га | | | | кг/га | | | | |
| 1912—1938 (I) | 7,5 | 15 | 22,5 | 18 | 195 | 390 | 586 | 468 | — |
| 1939—1954 (II) | 75 | 60 | 90 | 20 | 1 125 | 900 | 1 350 | 300 | 4,6 |
| 1955—1972 (III) | 50 | 75 | 60 | 10 | 900 | 1 350 | 1 080 | 180 | 12,0 |
| 1973—1982 (IV) | 100 | 150 | 120 | 20 | 1 000 | 1 500 | 1 200 | 200 | 4,0 |
| Всего за 1912—1982 | | | | | 3 220 | 4 140 | 4 216 | 1 148 | 20,6 |
| В среднем за год | | | | | 46,0 | 59,1 | 60,2 | 16,4 | |

периодически проводилось улучшение сопутствующих агротехнических условий. Число таких изменений невелико. В этом отношении история опыта делится на четыре периода.

В первый период (1912—1938 гг.) ежегодно вносили 7,5N15P22K и 18 т навоза на 1 га.

Во второй период (1939—1954 гг.) вместо раннего пара и весенней вспашки ввели черный пар под озимые и яблечную обработку под яровые, стали высевать новые сорта и вносить повышенные

нормы удобрений — 75N60P90K и 20 т навоза на 1 га. С 1944 г. установлены дифференцированные сроки применения удобрений: фосфорные и калийные — с осени, 2/3 нормы азотных — под предпосевную обработку, остальную часть — как подкормку в начале роста растений. С 1938 г. начато исследование совместного действия навоза и извести. В указанном году было проведено однократное известкование почвы путем равномерного перемешивания во всем пахотном слое из расчета 2,5 г извести на 1 га. Затем в течение 10 лет —

Таблица 2

Эффективность длительного применения севооборота, удобрений и известкования в 70-летнем опыте ТСХА

| Период опыта | Урожайность в абс. контроле, ц/га | Общий эффект севооборота, удобрений и извести, ц/га | Главные эффекты | | | Парное и тройное взаимодействие, % | Эффект севооборота, % к бесменной культуре |
|----------------------------------|-----------------------------------|---|--------------------|-----------|---------|------------------------------------|--|
| | | | севооборот | удобрение | известь | | |
| | | | % к общему эффекту | | | | |
| Оз. рожь, зерно | | | | | | | |
| I | 7,6 | 10,7 | 61,7 | 38,3 | — | — | 187 |
| II | 5,3 | 17,0 | 56,5 | 43,5 | — | — | 262 |
| III | 9,1 | 20,9 | 45,0 | 45,4 | 10,0 | -0,4 | 203 |
| IV | 10,2 | 23,1 | 52,4 | 40,7 | 2,2 | 4,8 | 219 |
| I—IV | 7,8 | 16,2 | 51,9 | 40,1 | 7,4 | 0,6 | 208 |
| Картофель, клубни | | | | | | | |
| I | 74 | 78 | 19,2 | 80,8 | — | — | 120 |
| II | 68 | 88 | 7,9 | 92,1 | — | — | 113 |
| III | 67 | 109 | 7,3 | 95,4 | -2,7 | — | 112 |
| IV | 80 | 88 | 3,4 | 96,6 | 4,3 | -4,3 | 104 |
| I—IV | 72 | 90 | 11,1 | 90,0 | -1,1 | — | 114 |
| Овес (с 1973 г. — ячмень), зерно | | | | | | | |
| I | 7,9 | 9,8 | 67,4 | 32,6 | — | — | 182 |
| II | 5,5 | 12,0 | 60,0 | 40,0 | — | — | 231 |
| III | 7,5 | 10,8 | 33,3 | 55,6 | 9,2 | 1,9 | 148 |
| IV | 10,4 | 19,8 | 6,1 | 76,3 | 25,2 | -7,6 | 112 |
| I—IV | 7,4 | 12,0 | 41,7 | 47,5 | 15,0 | -4,2 | 168 |
| Лен (солома) | | | | | | | |
| I | 6,6 | 14,0 | 95,7 | 4,3 | — | — | 303 |
| II | 0 | 21,8 | 89,4 | 10,6 | — | — | — |
| III | 15,9 | 20,9 | 1,4 | 65,2 | 23,4 | 10,0 | 102 |
| IV | 1,9 | 38,1 | 58,5 | 38,0 | 11,3 | -7,9 | 1 274 |
| I—IV | 3,9 | 20,9 | 50,2 | 28,2 | 16,7 | 4,9 | 369 |

до конца шестой ротации (1948 г.) — ежегодно на эту делянку вносили навоз из расчета 20 т/га. С новой ротации (1949 г.) навоз применяли совместно с NPK.

В третий период (1955—1972 гг.) были улучшены способы обработки почвы, периодически (раз в 6 лет с 1949 г.) на половине всех полей севооборота и бесмен-ных культур проводилось известкование, несколько изменилось соотношение между элементами питания — 50N75P60K и 10 т навоза на 1 га ежегодно.

В четвертый период опыта (с 1973 г.) удобрения стали вносить в удвоенных нормах — 100N150P120K и 20 т навоза на 1 га ежегодно. Причем на нечет-ных полях основного севооборота (1, 3, 5) их применяют по схеме, принятой в 1912 г.

(O, N, P, K, NP, NK, PK, NPK, навоз + NPK), а на четных (2, 4, 6) начато изу-чение действия на плодородие почвы и про-дуктивность растений единой высокой нормы полного минерального удобрения, которую применяют на всех 18 делянках этих полей.

Известкование осуществляется периоди-чески (каждые шесть лет) на половине всех полей. Впервые известь внесена в 1949 г. в начале седьмой ротации севообо-рота после 38-летнего ежегодного приме-нения удобрений, когда четко и устойчиво стали проявляться различия в их действии на плодородие почвы и урожай. В 1978 г. проведено сплошное известкование четных полей севооборота.

Нормы и общее количество внесенных удобрений и извести приведены в табл. 1.

Результаты и их обсуждение

Динамика урожаев по вариантам опыта в разные его периоды сви-детельствует (табл. 2) о том, что по мере совершенствования агротех-ники урожайность озимой ржи, картофеля, овса (с 1973 г. ячменя) и льна постоянно повышалась. Это наблюдалось как на удобренных, так и на неудобренных делянках при возделывании культур в сево-обороте и бесменно.

Первый вывод из анализа результатов длительного применения удобрений — сохраняющаяся в течение 70 лет высокая стабильная эф-фективность минеральных удобрений и навоза на легкосуглинистой дерново-подзолистой почве в бесменных культурах и в плодосменном

Таблица 3

Эффективность удобрений в длительном опыте ТСХА
(% к варианту без удобрений, в числителе — бесменное возделывание,
в знаменателе — в севообороте)

| Вариант | Период опыта | | | | | | | | | |
|-----------|--------------|-----|-----|-----|------|------------|-----|-----|-------|--|
| | I | II | III | IV | I—IV | II | III | IV | II—IV | |
| | без извести | | | | | по извести | | | | |
| Оз. рожь | | | | | | | | | | |
| NPK | 37 | 113 | 111 | 113 | 87 | 167 | 72 | 77 | 79 | |
| | 42 | 76 | 33 | 18 | 40 | 64 | 20 | 22 | 30 | |
| Навоз | 87 | 164 | 99 | 66 | 100 | 151 | 46 | 32 | 50 | |
| | — | — | — | — | — | — | — | — | — | |
| NPK+навоз | 43 | 174 | 141 | 129 | 112 | 185 | 85 | 74 | 87 | |
| | 46 | 96 | 51 | 46 | 55 | 38 | 37 | 44 | 39 | |
| Овес | | | | | | | | | | |
| NPK | 23 | 73 | 87 | 164 | 74 | 33 | 74 | 76 | 66 | |
| | 32 | 44 | 44 | 346 | 42 | 37 | 20 | 117 | 38 | |
| Навоз | 40 | 82 | 62 | 88 | 63 | 19 | 46 | 32 | 34 | |
| | — | — | — | — | — | — | — | — | — | |
| NPK+навоз | 30 | 82 | 99 | 190 | 87 | 17 | 86 | 89 | 74 | |
| | 24 | 53 | 47 | 59 | 52 | 49 | 24 | 158 | 50 | |
| Картофель | | | | | | | | | | |
| NPK | 73 | 144 | 115 | 128 | 106 | 147 | 136 | 151 | 140 | |
| | 68 | 85 | 142 | 135 | 95 | 121 | 183 | 228 | 174 | |
| Навоз | 141 | 140 | 104 | 58 | 115 | 151 | 127 | 84 | 117 | |
| | — | — | — | — | — | — | — | — | — | |
| NPK+навоз | 64 | 172 | 148 | 148 | 121 | 144 | 181 | 166 | 171 | |
| | 62 | 142 | 205 | 163 | 125 | 151 | 241 | 270 | 223 | |

Таблица 4

Окупаемость удобрений в длительном опыте ТСХА
(кг основной продукции на 1 кг д. в. NPK, в числителе — бессменное возделывание,
в знаменателе — севооборот)

| Вариант | Период опыта | | | | | | | | | |
|---------------|--------------|-----|-----|-----|------|------------|-----|-----|-------|--|
| | I | II | III | IV | I—IV | II | III | IV | II—IV | |
| | без извести | | | | | по извести | | | | |
| Оз. рожь | | | | | | | | | | |
| NPK | 6,2 | 2,7 | 5,4 | 3,1 | 4,1 | 5,6 | 4,0 | 2,6 | 5,7 | |
| | 12,7 | 4,3 | 3,6 | 1,3 | 3,9 | 5,6 | 2,4 | 1,4 | 4,1 | |
| Навоз | 2,8 | 3,3 | 6,9 | 2,6 | 3,7 | 4,3 | 4,4 | 1,5 | 2,8 | |
| | — | — | — | — | — | — | — | — | — | |
| NPK+навоз | 1,2 | 1,9 | 4,1 | 2,1 | 2,3 | 2,9 | 3,4 | 1,4 | 2,8 | |
| | 2,2 | 2,5 | 3,3 | 1,9 | 2,4 | 1,5 | 2,7 | 1,7 | 5,3 | |
| Овес (ячмень) | | | | | | | | | | |
| NPK | 4,2 | 1,9 | 3,6 | 4,6 | 3,5 | 1,5 | 3,3 | 3,3 | 4,3 | |
| | 9,0 | 2,7 | 3,0 | 3,3 | 3,0 | 3,0 | 1,7 | 3,2 | 3,4 | |
| Навоз | 1,4 | 1,9 | 3,6 | 3,5 | 2,3 | 0,7 | 2,9 | 2,0 | 1,7 | |
| | — | — | — | — | — | — | — | — | — | |
| NPK+навоз | 0,9 | 1,0 | 2,4 | 3,1 | 1,8 | 0,4 | 2,2 | 2,3 | 2,1 | |
| | 1,1 | 1,5 | 1,8 | 3,3 | 1,6 | 1,8 | 1,2 | 2,6 | 2,0 | |
| Картофель | | | | | | | | | | |
| NPK | 120 | 44 | 42 | 28 | 46 | 59 | 46 | 29 | 59 | |
| | 136 | 33 | 48 | 28 | 46 | 55 | 57 | 37 | 70 | |
| Навоз | 44 | 36 | 54 | 18 | 50 | 52 | 61 | 23 | 39 | |
| | — | — | — | — | — | — | — | — | — | |
| NPK+навоз | 17 | 24 | 31 | 19 | 23 | 27 | 36 | 19 | 32 | |
| | 20 | 26 | 40 | 20 | 26 | 32 | 44 | 26 | 39 | |

севообороте, причем максимальные урожаи большинства культур, как будет показано ниже, характерны все-таки для севооборота.

Эффективность удобрений была минимальной в первый период опыта, когда применялись низкие нормы минеральных (табл. 2 и 3). В четвертый период опыта, несмотря на резкое увеличение доз удобрений, для большинства культур при севооборотном и бессменном возделывании она не увеличилась. Исключением была яровая зерновая культура, причем повышение эффективности удобрений здесь связано с заменой овса ячменем.

При сравнении разных систем удобрения (минеральной, навозной и навозно-минеральной) установлено, что эффективность питательных элементов, вносимых в форме минеральных туков или навоза, примерно одинакова. Более высокая эффективность NPK + навоз объясняется более высокой суммарной нормой удобрений.

Абсолютная и относительная доли удобрений среди факторов, участвующих в формировании урожаев, за 70 лет опыта не только не снижаются (как это можно было бы ожидать вследствие отрицательного побочного влияния удобрений, а также их кумулятивного эффекта), а даже возрастают.

Повышающееся влияние удобрений на урожаи культур в опыте не может быть объяснено только увеличением их норм. Это прежде всего подтверждает тот факт, что климатические и почвенные условия Нечерноземной зоны определяют устойчивость эффекта удобрений во времени. Кроме того, при длительном воздействии удобрений и извести повышается плодородие дерново-подзолистой почвы и на этой основе улучшается использование растениями возрастающих норм удобрений.

Однако окупаемость единицы удобрений прибавкой урожая достоверно снижается с увеличением норм удобрений (табл. 4). В целом для

Эффективность 100N150P120K в экспериментальном севообороте
в зависимости от плодородия почвы * (1973—1981 гг.)

| Вариант удобрений в 1912—1972 гг. | Сбор кормовых еди- ниц за 9 лет, ц/га | Прибавка, ц/га | Окупаемость NPK прибавкой урожая |
|--------------------------------------|--|----------------|-------------------------------------|
| 0 (контроль) | 235,5 | | |
| Известь | 312,9 | 77,4 | 2,6 |
| NPK+известь | 343,2 | 107,4 | 3,6 |
| Навоз+NPK | 359,9 | 124,4 | 4,2 |
| Навоз+NPK+известь | 369,0 | 133,5 | 4,5 |

* Из расчета исключена культура льна, так как она не имеет эквивалента в кормовых единицах.

опыта окупаемость удобрений хотя и остается достаточно стабильной, но она относительно невелика. По нашему мнению, основной причиной этого является недостаточно высокий уровень плодородия легкосуглинистой дерново-подзолистой почвы. Что это так, можно судить по данным табл. 5.

Результаты 9-летнего выращивания культур в экспериментальном севообороте, выделенном в длительном опыте в 1973 г., свидетельствуют о заметной роли плодородия почвы в использовании растениями высоких норм минеральных удобрений. Наибольшие урожаи получены на делянках, удобрявшихся длительное время навозом совместно с минеральными удобрениями. Окупаемость минеральных удобрений на почве, в которую длительное время вносили навоз, в 1973—1975 гг. достигла 6—8 корм. ед. на единицу NPK. Со временем влияние плодородия на окупаемость высоких норм минеральных удобрений понижается, но даже в течение 9 лет оно остается достоверно положительным.

Установленный в длительном опыте ТСХА факт повышения эффективности минеральных удобрений на более плодородных почвах имеет принципиальное значение, поскольку подтверждает возрастающее значение плодородия почвы в интенсивном земледелии. Расширенное воспроизводство плодородия в современных условиях становится обязательным условием расширенного воспроизводства в земледелии вообще.

Что касается роли периодического известкования, применяемого в длительном опыте с 1949 г., то она была значительной для большинства культур в течение всего рассматриваемого периода опыта (табл. 6). Так, для бессменной озимой ржи прибавка урожая от известки составила от 32,5 % в контроле до 40,2 % в варианте навоз + NPK, в севообороте — соответственно от 30,0 до 14,3 %. Высокая эффективность известкования выявлена в посевах льна и клевера. Для культуры картофеля, особенно бессменной, эффективность известкования невелика. Следует сказать, что в четвертом периоде опыта известкование не давало прибавки урожаев озимой ржи.

Наибольшие абсолютные прибавки урожая от удобрений получены в посадках картофеля — высокоинтенсивной культуры, меньшие — в посевах зерновых и льна.

Рациональное использование возрастающих норм удобрений зависит не только от действия рассмотренных выше факторов, но и в значительной степени от биологических особенностей культуры, от их интенсивности (табл. 2). Так, максимальная доля прибавки урожаев от интенсивного применения удобрений (четвертый период опыта) составила для озимой ржи 40,7 %, картофеля — 96,6, ячменя — 76,3, льна — 38,0 %. Эти данные могут быть использованы при разработке нормативов возможного повышения урожаев культур за счет удобрений и соответственно затрат на удобрения.

Принято считать, что в условиях комплексного воздействия прие-

Эффективность известкования в дли тельном опыте ТСХА (1950—1981 гг.)
при бесменном возделывании культур (числитель) и в севообороте (знаменатель)

| Фон удоб- рения | Рожь | | Картофель | | Овес (с 1973 г.— ячмень) | | Лен | |
|--------------------|---|--------------------------------|---|------------------------------------|---|------------------------------------|---|------------------------------------|
| | урожай- ность без известки, ц/га | прибавка от изве- сти, % | урожай- ность без изве- сти, ц/га | прибав- ка от известки, % | урожай- ность без изве- сти, ц/га | прибав- ка от известки, % | урожай- ность без изве- сти, ц/га | прибав- ка от известки, % |
| 0 | 8,9 | 32,5 | 74,8 | —6,4 | 8,4 | 31,0 | 7,6 | 126,0 |
| | 17,8 | 30,0 | 73,0 | 8,8 | 11,8 | 59,3 | 25,9 | 29,3 |
| NPK | 18,9 | 39,6 | 166,0 | 1,4 | 17,5 | 5,2 | 23,8 | 34,0 |
| | 26,8 | 23,4 | 163,4 | 26,9 | 17,6 | 42,2 | 31,3 | 26,1 |
| Навоз | 17,3 | 27,7 | 143,4 | 6,2 | 14,7 | 3,4 | 27,0 | 2,8 |
| Навоз+NPK | 21,4 | 40,2 | 187,1 | 2,1 | 18,8 | 2,1 | 26,2 | 24,5 |
| | 28,8 | 14,3 | 179,8 | 30,1 | 20,8 | 15,6 | 44,7 | 1,1 |

мов агротехники на продуктивность культур значительная доля ее повышения относится к эффекту взаимодействия отдельных агротехнических приемов. Наши расчеты не подтверждают (за редким исключением) существенного положительного взаимодействия удобрений, известкования и севооборота.

Большое практическое и теоретическое значение имеет установление порядка и степени действия на урожай полевых культур в разных почвенно-климатических условиях отдельных элементов питания, а следовательно, определение эффективности разных видов удобрений. Ортогональность схемы длительного опыта ТСХА позволяет обоснованно решить эту задачу с использованием статистической обработки данных об урожае [1, 3].

В многофакторном опыте, где изучаются три фактора в двух градациях по схеме $2 \times 2 \times 2$, для вычисления главных эффектов фактора, парных и тройного взаимодействия применялись следующие формулы:

Главные эффекты:

$$\begin{aligned} (N) &= 1/4 [(N+NP+NK+NPK) - (0+P+K+PK)], \\ (P) &= 1/4 [(P+NP+PK+NPK) - (0+N+K+NK)], \\ (K) &= 1/4 [(K+NK+PK+NPK) - (0+N+P+NP)]. \end{aligned}$$

Парные взаимодействия:

$$\begin{aligned} (NP) &= 1/4 [(0+K+NP+NPK) - (N+P+NK+PK)], \\ (NK) &= 1/4 [(0+P+NK+NPK) - (N+K+NP+PK)], \\ (PK) &= 1/4 [(0+N+PK+NPK) - (P+K+NP+NK)]. \end{aligned}$$

Тройное взаимодействие:

$$NPK = 1/4 [(N+P+K+NPK) - (0+NP+PK)].$$

Из табл. 7—8 следует, что в посевах озимой ржи в севообороте и при бесменном возделывании, как правило, до последнего периода опыта наибольший эффект давал фосфор, на втором месте в севообороте стоял калий, при бесменной культуре — калий или азот, на третьем — соответственно азот или азот и калий. В последний период порядок действия отдельных элементов питания значительно изменился: для севооборота $K > N > P$, для бесменной культуры — $N > K > P$. Примерно такой же порядок действия элементов питания характерен для посевов овса (ячменя).

Для картофеля в севообороте и при бесменной культуре наиболее эффективен калий, затем в большинстве случаев следует фосфор, а в последний период — азот.

Порядок эффективности питательных элементов удобрений
по периодам длительного опыта

| Периоды опыта (годы) | В севообороте | | При бесменном возделывании | |
|-------------------------|---------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| | В севообороте | При бесменном возделывании | В севообороте | При бесменном возделывании |
| | Оз. рожь | | Овес (с 1973 г. ячмень) | |
| I | P > K > N | P > N > K | K > P > N | P > N > K |
| II | P > K > N | P > K > N | P > K > N | P > N > K |
| III | P = K > N | K > P > N | P > K > N | N > P > K |
| IV | K > N > P | N > K > P | P > K > N | K > P > N |
| I—IV | P > K > N | P > N = K | K > P > N | N > P > K |
| | Картофель | | Лен | |
| I | K > P > N | K > N > P | K > N > P | N = K > P |
| II | K > P > N | K > P > N | P > K > N | |
| III | K > P > N | K > P > N | K > P > N | P > K > N |
| IV | K > N > P | K > N > P | K > P > N | K = N > P |
| I—IV | K > P > N | K > P > N | K > P > N | K > N > P |

Для льна в севообороте в большинстве периодов в первом минимуме был калий, при бесменной культуре в начале опыта — азот, в третий период — фосфор, в четвертый — калий.

Таким образом, в конкретных условиях длительного опыта ТСХА были получены данные, отличающиеся от результатов исследований других авторов: азот в этом опыте в большинстве случаев не был самым дефицитным элементом питания, а на первом месте по эффективности оказались фосфор и калий. Наиболее вероятными причинами такого положения являются высокая минерализующая способность лег-

Таблица 8

Главные эффекты и взаимодействия элементов питания удобрений
по периодам длительного опыта (% к общему эффекту NPK)

| Период опыта | В севообороте | | | | При бесменном возделывании | | | |
|--------------|-------------------------|-------|-------|--|----------------------------|-------|-------|--|
| | N | P | K | парное и тройное взаимо- действие | N | P | K | парное и тройное взаимо- действие |
| | Оз. рожь | | | | | | | |
| I | 6,8 | 84,7 | 23,7 | -15,2 | 39,1 | 60,9 | 17,4 | -17,4 |
| II | -16,8 | 69,5 | 24,2 | 23,1 | 21,2 | 42,3 | 30,8 | 5,7 |
| III | 5,6 | 52,8 | 52,8 | -11,2 | 27,2 | 39,4 | 40,3 | -6,9 |
| IV | 18,7 | 1,3 | 98,7 | -18,7 | 56,8 | 0,3 | 50,5 | -7,6 |
| I—IV | 20,5 | 50,5 | 24,3 | 4,7 | 31,8 | 33,9 | 31,9 | -0,6 |
| | Картофель | | | | | | | |
| I | 17,5 | 22,2 | 58,7 | 1,6 | 21,9 | 18,8 | 57,8 | 1,5 |
| II | -9,3 | 40,0 | 45,3 | 24,0 | 15,9 | 26,1 | 52,3 | 5,7 |
| III | 22,4 | 28,8 | 59,2 | -10,4 | 15,9 | 41,2 | 53,6 | -10,7 |
| IV | 25,9 | 19,3 | 60,6 | -5,8 | 36,3 | 33,0 | 46,4 | -16,0 |
| I—IV | 16,4 | 36,6 | 42,8 | -2,8 | 23,5 | 29,5 | 53,0 | -6,0 |
| | Овес (с 1973 г. ячмень) | | | | | | | |
| I | 22,4 | 42,8 | 46,9 | -12,1 | 14,3 | 85,7 | -28,6 | 28,6 |
| II | -23,0 | 68,8 | 32,9 | 21,3 | 30,4 | 39,1 | 2,2 | 28,3 |
| III | 31,1 | 40,5 | 33,4 | -4,9 | 39,4 | 29,5 | 26,3 | 4,8 |
| IV | -19,8 | 67,8 | 53,7 | -1,7 | 5,4 | 31,2 | 35,5 | 27,9 |
| I—IV | 13,8 | 32,6 | 50,0 | 0,0 | 32,2 | 29,5 | 28,5 | 13,0 |
| | Лен | | | | | | | |
| I | -25,0 | -67,5 | 112,5 | -55,0 | 100,0 | -50,0 | 100,0 | -50,0 |
| II | 8,5 | 112,8 | 89,4 | -110,7 | | | | |
| III | -100,0 | 39,6 | 129,2 | 31,2 | 7,5 | 40,0 | 26,2 | 26,3 |
| IV | -66,3 | -8,7 | 135,6 | 60,6 | 16,1 | 15,3 | 37,1 | 31,5 |
| I—IV | -45,7 | 19,1 | 116,7 | 90,1 | 41,2 | 5,3 | 54,4 | 0,9 |

кой суглинистой почвы опыта и низкое содержание в ней фосфора и калия. Кроме того, необходимо иметь в виду наличие в севообороте полей чистого пара и клевера, что в значительной мере способствует обеспечению растений доступным азотом. С другой стороны, низкие урожаи при бессменном возделывании культур и специфические экологические условия могут, вероятно, обусловить существенные изменения порядка действия питательных элементов. Следует отметить также, что среди подопытных культур в длительном стационаре ТСХА имеются фосфоро-калиелюбивые.

При оценке роли севооборота необходимо указать на два аспекта: эффективность севооборота в первую и последние ротации (во времени) и эффективность севооборота при разных уровнях химизации земледелия (табл. 2). В длительном опыте подтверждается бесспорный положительный эффект севооборота для всех возделываемых растений, хотя степень его воздействия на урожай зависит от требовательности культур к чередованию.

По классификации В. Е. Егорова [4], обобщившего итоги 60-летних исследований в длительном опыте ТСХА, лен и клевер — сильнореагирующие на чередование культуры; озимая рожь, овес, ячмень — среднереагирующие; картофель — слабореагирующая культура. Наши расчеты показали, что к сильнореагирующим следует отнести и озимую рожь. Эффект чередования для нее в первый период опыта составил 187 %, во второй — 262, в третий — 203, в четвертый — 219, а в среднем за 70 лет — 208 %. Для овса эффект чередования меньше, еще меньше он для ячменя. Во времени эффективность севооборота для яровых зерновых несколько уменьшается. Эффект чередования для картофеля практически полностью отсутствовал в четвертый период опыта, что подтверждает возможность широкого возделывания картофеля на легкосуглинистых почвах Центрального района Нечерноземной зоны в специализированных севооборотах и при повторной культуре. Что касается льна, то, по данным за 70-летний период опыта, эффективность чередования для него чрезвычайно высокая.

Эффективность севооборота при внесении удобрений и известковании для картофеля и ячменя — культур, слабореагирующих на чередование, уменьшалась по мере увеличения норм удобрений. Для озимой ржи и льна, характеризующихся высокой отзывчивостью на севооборот, увеличение доз удобрений и периодическое известкование почвы не обусловили уменьшения его эффекта.

Выводы

1. Систематическое 70-летнее внесение в легкосуглинистую дерново-подзолистую почву возрастающих норм минеральных и органических удобрений не привело к снижению их эффективности как в плодосменном севообороте, так и при бессменном возделывании полевых культур.

2. Эффективность минеральной, навозной и навозно-минеральной систем удобрения существенно не различалась.

3. Окупаемость удобрений прибавкой урожая уменьшается по мере увеличения их норм. Окупаемость NPK возрастает с повышением плодородия почвы, что свидетельствует о возрастающей роли почвы в формировании урожая в интенсивном земледелии.

4. Периодическое известкование обменно кислых дерново-подзолистых почв является важным условием повышения продуктивности полевых культур. Вместе с тем в длительном опыте выявлена тенденция к уменьшению во времени эффективности известкования для озимой ржи и картофеля.

5. Порядок и степень эффективности отдельных питательных элементов зависят от биологических особенностей полевых культур, однако в конкретных условиях длительного опыта ТСХА азот в большинстве случаев не является наиболее дефицитным элементом питания, в первом минимуме оказываются фосфор и калий.

6. Результаты 70-летних исследований подтверждают бесспорный положительный эффект севооборота. Систематическое применение удобрений и известки уменьшает эффективность севооборота для слабо-реагирующих на чередование культур и увеличивает ее для сильно-реагирующих.

ЛИТЕРАТУРА

1. Баров В., Шаин И. Методика на полския опит. София, 1965. — 2. Доспехов Б. А. Плодородие дерново-подзолистых почв и продуктивность растений в условиях систематического применения удобрений. Автореф. докт. дис. М., 1968. — 3. Доспехов Б. А., Баров В. Б. Статистическая обработка многолетних многофакторных полевых опытов. — Изв. ТСХА, 1969, вып. 2, с. 51—58. — 4. Егоров В. Е. Опыт длится 60 лет. М.: Знание, 1972. — 5. Егоров В. Е., Доспехов Б. А., Лыков Л. М. и др. Влияние длительного применения удобрений, известкования и севооборота на урожай и плодородие дерново-подзолистой почвы. Вестн. с.-х. науки, 1979, вып. 10, с. 47—58. — 6. Кук Д. У. Регулирование плодородия почвы / Пер. с англ. М.: Колос, 1970. — 7. Лыков А. М. Воспроизводство плодородия почв в Нечерноземной зоне. М.: Россельхозиздат, 1982. — 8. Результаты многофакторных опытов по влиянию минеральных удобрений на продуктивность культур. — Тр. ВИУА, М., 1983, вып. 63.

Статья поступила 8 февраля 1985 г.

SUMMARY

Systematic application of increasing rates of mineral and organic fertilizers to light soddy-podzolic loam soil has not lowered their efficiency both in crop rotation and in monoculture. Crop return of NPK increases with higher soil fertility.

Regular liming is an important farming practice to increase field crop productivity. However its efficiency tends to decrease with time when applied for winter rye and potatoes.

Results of 70-year-long investigation undoubtedly prove highly favourable effect of crop rotation as compared with monoculture. Regular liming and fertilization result in higher efficiency of crop rotation for crops responding well to rotation, and in lower efficiency for those that have poor response to rotation.