

**КУРГАНОВА
Елена Васильевна**

**ДИНАМИКА ПЛОДОРОДИЯ И ПРОДУКТИВНОСТИ
ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВ
В УСЛОВИЯХ ИНТЕНСИВНОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ**

Специальность: 06.01.04 – агрохимия

**АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
доктора сельскохозяйственных наук**

Работа выполнена в Федеральном государственном учреждении «Государственный центр агрохимической службы «Московский» Минсельхоза России и на кафедре агрохимии факультета почвоведения Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова

Научный консультант: академик РАСХН, доктор сельскохозяйственных наук, профессор
Василий Григорьевич Минеев

Официальные оппоненты: доктор сельскохозяйственных наук
Борис Павлович Лобода
доктор сельскохозяйственных наук, профессор
Владимир Иванович Никитишен
доктор сельскохозяйственных наук, профессор
Яков Владимирович Костин

Ведущая организация: Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии им. Д.Н. Прянишникова

Защита диссертации состоится «10» февраля 2004 г. в **14⁰⁰** часов на заседании диссертационного совета / Д 006.049.01 в Научно-исследовательском институте сельского хозяйства Центральных районов Нечерноземной зоны

Отзывы направлять в 2-х экземплярах по адресу: 143026, Московская область, Одинцовский район, п. НИИ сельского хозяйства, ул. Калинина, 1

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке НИИСХ ЦРНЗ

Автореферат разослан «9» января 2004 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
кандидат экономических наук

**А.С. Мерзликин**

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Обеспечение растений элементами минерального питания и влагой является основной и незаменимой функцией почвы в биосфере. Устойчивое развитие земледелия на дерново-подзолистых почвах, характеризующихся слабой гумусированностью, повышенной кислотностью, малой буферной способностью и недостаточной обеспеченностью питательными веществами, предполагает необходимость проявлять постоянное внимание о повышении их плодородия. Ключевое значение в этом отношении имеет сбалансированное применение удобрений и мелиорантов, базирующееся на знании всего комплекса почвенных, агрохимических, экологических и агротехнических факторов, определяющих уровень корневого питания растений и интенсивность круговорота веществ в агроэкосистемах (Ковда, 1985; Минеев, 1999, 2000).

Оптимизируя корневое питание растений, физико-химические и биологические свойства почвы с использованием агрохимических средств, удается не только интенсифицировать продукционный процесс в агроценозах, но и оказывать благотворное влияние на осуществление ряда других важных экологических функций. В их числе первостепенное значение имеет способность посевов, произрастающих на высокоплодородных почвах, лучше адаптироваться к неблагоприятному воздействию климатических факторов. Растения, оптимально обеспеченные элементами минерального питания, более устойчивы к токсичному воздействию загрязняющих веществ — тяжелых металлов и радионуклидов, являющихся неизбежным следствием нерационального техногенеза. Уровень и сбалансированность применения агрохимикатов определяет также почвенную супрессивность и фитосанитарное состояние посевов.

Вышеизложенное обуславливает актуальность исследований проблемы повышения плодородия дерново-подзолистых почв, а также выявления тенденций его изменения в сложившейся обстановке отечественного земледелия, для которого характерен сильно выраженный дефицит баланса питательных веществ, создающий опасность истощения почв до недопустимого уровня.

В соответствии с этим, **цель работы** состоит в изучении взаимодействия агрогенных и природных факторов, определяющих плодородие дерново-подзолистых почв в условиях Нечерноземной зоны, и оценка значимости основных агрохимических параметров плодородия для развития высокопродуктивного и устойчивого земледелия, а также для осуществления ими ряда других экологических функций.

Задачи исследований включают изучение следующих вопросов:

- обобщить материалы агрохимического обследования дерново-подзолистых почв Московского региона за период 1966—2002 гг. и сформировать банк данных, характеризующий закономерности

динамики изменения потенциального и эффективного плодородия;

- дать оценку изменению агрохимических параметров плодородия почв в условиях интенсивного и экстенсивного земледелия при различных уровнях применения средств химизации;
- установить объемы поступления и расхода в дерново-подзолистых почвах ряда основных макроэлементов и выявить потребность в минеральных удобрениях и химвелиорантах для восполнения дефицита питательных веществ;
- оценить ресурсы доступных для растений питательных элементов — Mg, S и микроэлементов B, Mo, Cu, Zn, Co, Mn в дерново-подзолистых почвах;
- установить количественные параметры загрязнения дерново-подзолистых почв тяжелыми металлами и долгоживущими радионуклидами ^{90}Sr и ^{137}Cs в результате антропогенной нагрузки и техногенных процессов;
- изучить закономерности трансформации тяжелых металлов и радионуклидов в почве и растениях;
- выявить особенности проявления фитотоксичности ряда наиболее опасных элементов при выращивании на загрязненных ими почвах овощных, кормовых и плодово-ягодных культур в условиях производства.

Научная новизна. Впервые на основе материалов многократного агрохимического обследования дерново-подзолистых почв за 36-летний период, дана комплексная оценка значимости основных показателей их плодородия (гумусированность, кислотность, содержание подвижных форм макро- и микроэлементов) для развития высокопродуктивного и устойчивого земледелия в климатических условиях центра Нечерноземной зоны. Обосновано положение о том, что способность обеспечивать формирование высокопродуктивных агроценозов, обладающих повышенной адаптацией к воздействию неблагоприятных климатических факторов и устойчивостью к токсичности тяжелых металлов, радионуклидов, свойственна только плодородным дерново-подзолистым почвам, достаточно обеспеченным элементами минерального питания, имеющим оптимальные физико-химические и биологические параметры.

Определены в условиях сельскохозяйственного производства количественные параметры приходных и расходных статей, интенсивности баланса питательных веществ в дерново-подзолистой почве за длительный период и дан прогноз с учетом последствия агрохимических средств.

Выявлены степень и интенсивность загрязнения почвенного покрова тяжелыми металлами и радионуклидами, закономерности их накопления различными сельскохозяйственными культурами в зависимости от кислотности дерново-подзолистых почв, содержания гумуса и обеспеченности элементами минерального питания. Установлено, что для большинства культур наибольшую опасность представляет загрязнение почв кадмием и свинцом. Цинк и особенно медь не накапливаются растениями в токсич-

ных концентрациях даже при выращивании их на почвах с многократным превышением ПДК.

Оценены свойства дерново-подзолистой почвы и режимы минерального питания растений в реальных условиях интенсивного земледелия, обеспечивающие оздоровление негативных проявлений фитосанитарного состояния посевов.

Защищаемые положения. На защиту выносятся следующие научные положения:

1. Сбалансированное применение органических, минеральных макро- и микроудобрений, а также известкование являются непременным условием развития высокопродуктивного и устойчивого земледелия на дерново-подзолистых почвах с низким естественным плодородием и повышенной антропогенной нагрузкой. Оптимальный уровень использования агрохимических средств химизации устанавливается на основе результатов длительного систематического агрохимического обследования с учетом экологического состояния пахотных земель.

2. Эффективность применения удобрений на дерново-подзолистых почвах с различным плодородием подчиняется общей закономерности и определяется тем, в какой степени складывающийся исходный уровень минерального питания, с учетом взаимодействия почвенных агрохимических, климатических и экологических факторов приближается к оптимальному и сбалансированному состоянию.

3. Осуществление весьма значимых для условий Нечерноземной зоны экологических функций почв сельскохозяйственных угодий, таких как обеспечение благоприятной среды для адаптации культурных растений к негативным климатическим факторам, повышение их устойчивости к токсичному воздействию тяжелых металлов и радионуклидов, другим негативным факторам достигается при размещении посевов на высокоплодородных почвах, достаточно обеспеченных гумусом, макро- и микроэлементами, имеющих оптимальные физико-химические и биологические свойства.

Практическая значимость и реализация результатов исследований. Основные научные положения, сформулированные автором, использованы при разработке Государственной программы «Сохранение почвенного плодородия и мелиорация земель в хозяйствах Московской области на 1998 год», программы «Повышение почвенного плодородия земель сельскохозяйственного назначения в Московской области на 2000–2003 годы», областной целевой программы «Стимулирование и развитие АПК Московской области на 2004–2007 годы» (раздел «Повышение почвенного плодородия земель сельскохозяйственного назначения»), при подготовке материалов к заседаниям Московской областной думы «О государственной поддержке мероприятий по повышению плодородия земель сельскохозяйственного назначения в Московской области» в 1997, 1999, 2003 гг.

Результаты исследований положены в основу при подготовке государственных докладов «Об использовании природных ресурсов и состоянии окружающей среды Московской области в 2001 году» (М., 2002), «О состоянии и охране окружающей среды Московской области в 2002 году» (М., 2003).

Автором подготовлены следующие научно-методические документы: «Рекомендации по снижению накопления нитратов в сельскохозяйственной продукции и водах» (М., 1988), методическое руководство «Оценка токсикологической безопасности продукции растениеводства» (М., 1994), «Инструкция по организации контроля за содержанием тяжелых металлов и мышьяка» (М., 1994), «Методические указания по определению выноса питательных веществ сорняками» (М., 1999), «Методические указания по проведению комплексного мониторинга плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения» (М., 2003).

Практическое использование этих разработок и научно-методических руководств позволило организовать научно-обоснованное распределение и применение агрохимических средств в земледелии на уровне областной-хозяйство-поле, что обеспечило целенаправленное использование удобрений и мелиорантов на дерново-подзолистых почвах.

Апробация работы. Основные результаты исследований доложены:

- на Научно-техническом совете Министерства сельского хозяйства и продовольствия Московской области (1997–2003 гг.);
- Ученом совете кафедры агрохимии МГУ им. М.В. Ломоносова (2001–2003 гг.); заседании Комитета по аграрной политике Московской областной думы (2000, 2003 гг.); Совете директоров Агрохимслужбы Минсельхоза России (Москва, 1999, 2002 гг.); научно-техническом совещании «Использование осадков сточных вод в сельском хозяйстве» (Владимир, 1983 г.); Всероссийской конференции «Радиоэкологические, медицинские и социально-экономические последствия аварии на ЧАЭС» (Москва, 1995 г.); 15-м съезде латиноамериканских и 5-м съезде кубинских почвоведов (Гавана, 2001 г.); научно-практической конференции «Эколого-агрохимическая оценка состояния калийного режима почв и эффективность калийных удобрений» (ЦИНАО, 2001 г.); симпозиуме «Перспективные агрохимические технологии повышения качества кормов» (ВНИПТИХИМ, 2002 г.).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 28 работ, в том числе 5 монографий.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, 12 глав, выводов, изложена на 301 стр. машинописного текста, включая 35 рисунков, 60 таблиц. Список литературы насчитывает 415 наименований, в том числе 99 на иностранных языках. Приложения представлены на 12 листах.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Природные условия и почвенный покров

Уровень плодородия дерново-подзолистых почв в значительной степени обусловлен состоянием биоклиматического потенциала региона. По тепло- и влагообеспеченности Московская область делится на три агроклиматических района: 1 — северо-западный, 2 — центральный, 3 — южный и юго-восточный. Сумма положительных температур воздуха в первом районе составляет 1800–1900°C, во втором — 1900–2100°C, в третьем — 2100–2200°C, а гидротермический коэффициент соответственно 1,5–1,6, 1,4–1,5 и 1,2–1,3. Среднесуточная температура воздуха положительная и возрастает с 2,8–3,5°C в первом районе до 3,7–3,8°C — в третьем. Период с положительными температурами воздуха на севере области составляет 209–212 дней, юге — 212–214 дней, продолжительность периода активной вегетации — соответственно 123–128 и 138–140 дней. В среднем за год в регионе выпадает 540–600 мм атмосферных осадков, две трети — в виде дождя, одна треть — в виде снега. По имеющимся сведениям, из каждых 100 лет в Московской области около трети являются засушливыми. Как правило, засушливые годы (уровень влажности завядания), в южной части региона повторяются через каждые 3–4 года. При этом, дефицит влаги часто приходится на конец мая — начало июня, когда посевы зерновых культур испытывают в ней наибольшую потребность, а избыток — на период формирования, налива и созревания зерновых злаков, что приводит к полеганию посевов, вымыванию калия из растительных тканей и снижению эффективности калийных удобрений. Глубина снежного покрова редко достигает 30–40 см и в большинстве случаев составляет 10–20 см. Частые оттепели приводят к образованию на почве ледяной корки, что создает неблагоприятные условия для перезимовки озимых зерновых и многолетних трав. Фактор промерзания почвы имеет определяющее значение для обеспечения последствием азотных удобрений, вызывая подтягивание остаточных нитратов из нижележащих горизонтов в корнеобитаемый слой. Однако для пополнения запасов влаги за счет талых вод глубокое промерзание почвы оказывает отрицательное влияние. Следует отметить и такую особенность климата Центрального Нечерноземья, как периодическое наступление ранневесенних заморозков, оказывающих негативное воздействие на состояние посевов, вероятность которых не исключена до конца мая, а иногда, и до середины июня.

Территория Московского региона приурочена к двум природным зонам — лесной и лесостепной, в которых сформировались следующие типы почв: дерново-подзолистые, серые лесные, оподзоленные черноземы, болотно-подзолистые, болотные, лугово-черноземные и аллювиальные. Наибольшее распространение получили дерново-подзолистые почвы, занимающие 71,4% площади.

В первом геоморфологическом районе, занимающем северную часть области и характеризуемом плоским рельефом и слабой дренированностью (Верхне-Волжская низменность), преобладают дерново-подзолистые почвы

песчаного и супесчаного гранулометрического состава, иногда сильно заболоченные и оторфованные. В него входят следующие административные районы: Талдомский, Лотошинский, Клинский, Дмитровский и Сергеево-Посадский. Второй геоморфологический район, приуроченный к центральной и западной частям области и имеющий вид среднерасчлененной моренной равнины (Смоленско-Московская возвышенность), является зоной распространения дерново-подзолистых почв, сформировавшихся на тяжелых и средних суглинках. Здесь расположено более половины административных районов области: Истринский, Пушкинский, Балашихинский, Подольский, Люберецкий, Мытищинский, Солнечногорский, Химкинский, Волоколамский, Шаховской, Можайский, Рузский, Одинцовский, Наро-Фоминский, Ленинский и Красногорский. Преобладающими почвами третьего геоморфологического района, расположенного к востоку от Москвы между реками Москва и Клязьма и представляющего собой плоскую поверхность (Мещерская низменность), являются песчаные дерново-подзолистые и болотные почвы. Сюда входят следующие административные районы: Шатурский, Егорьевский, Орехово-Зуевский, Павлово-Посадский, Ногинский, Щелковский. Четвертый геоморфологический район (Москворецко-Окская равнина), на территории которого расположены Чеховский, Ступинский, Серпуховский, Воскресенский, Коломенский, Луховицкий, Озерский и Раменский административные районы, является зоной распространения дерново-подзолистых почв различного гранулометрического состава (от песчаных до тяжелосуглинистых); в восточной его части имеются светло-серые лесные почвы. В пятом геоморфологическом районе, территория которого сильно расчленена на водорозделы с пологими и покатыми склонами (Заокская часть), преобладают серые лесные почвы, оподзоленные и выщелоченные черноземы. Здесь расположены Каширский, Зарайский и Серебряно-Прудский административные районы Подмосковья.

Методика исследований

В основу диссертационной работы положены результаты многолетних исследований проведенных автором в Федеральном государственном учреждении «Государственный центр агрохимической службы «Московский» Минсельхоза России по изучению плодородия дерново-подзолистых почв и эффективности удобрений и известкования в посевах сельскохозяйственных культур. Агрохимическое обследование почвенного покрова в период 1966–1996 гг. выполнялось с периодичностью раз в четыре года, в последующий период – один раз в пять лет. В смешанных почвенных образцах, взятых из пахотного горизонта по МУ ЦИНАО-94, определяли содержание гумуса по ГОСТ 26213–91, кислотность в солевой вытяжке (рН) – по ГОСТ 26483–85, подвижный фосфор и обменный калий – по Кирсанову (ГОСТ 26207–91).

При оценке гумусного состояния почв использовали следующую градацию: очень низкое – менее 1,4%; низкое – 1,5–2,0%; среднее – 2,1–2,5%; повышенное – 2,6–3,0%; высокое – 3,1–4,0%; очень высокое – более 4,0%.

Кислотность почв характеризовали, руководствуясь интервалами рН: очень сильноокислая – менее 4,0; сильноокислая – 4,1–4,5; среднекислая –

4,6–5,0; слабокислая 5,1–5,5; близкая к нейтральной – 5,6–6,0; нейтральная – более 6,0.

Степень обеспеченности почв подвижными фосфатами оценивали, исходя из следующих индексов содержания их в пахотном слое (мг/кг): очень низкое – менее 25; низкое – 26–50; среднее – 51–100; повышенное – 101–150; высокое – 151–250; очень высокое – более 250.

Группировка почв по содержанию обменнопоглощенного калия в пахотном слое составлена в соответствии со следующей шкалой (мг/кг): очень низкое – менее 40; низкое – 41–88; среднее – 81–120; повышенное – 121–170; высокое – 171–250; очень высокое – более 250.

Полевые опыты по изучению эффективности известкования, применения макро- и микроудобрений в посевах сельскохозяйственных культур проводили на дерново-подзолистых почвах различной окультуренности. Повторность вариантов в опытах 3–4-х кратная, урожай учитывали путем сплошной уборки всей площади делянки. Исследования выполнялись как в звеньях типичных полевых севооборотов, так и с отдельными культурами: озимой пшеницей, ячменем, картофелем, кукурузой и многолетними травами. Урожайные данные обрабатывали методом дисперсионного анализа по Б.А. Доспехову (1985).

Оценку эколого-токсикологического состояния почв по содержанию тяжелых металлов проводили на основе данных анализов 26 тыс. образцов, взятых с площади 906 тыс.га 39 районов Московской области, начиная с 1989 года. В почве определяли содержание кислоторастворимых (вытяжка $1n\ HNO_3$) форм меди, цинка, кадмия, свинца, хрома и никеля атомно-абсорбционным методом. В 9 хозяйствах ряда районов, расположенных в зоне интенсивного загрязнения тяжелыми металлами, проводили исследования по накоплению их в сельскохозяйственной продукции овощных, кормовых и плодово-ягодных культур.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Изменение плодородия и продуктивности дерново-подзолистых почв

По уровню химизации за 36 лет в Московской области можно выделить четыре периода: начало химизации (1966–1970 гг.), интенсивная химизация (1971–1993 гг.), спад химизации (1994–1997 гг.), низкий уровень химизации (1998–2002 гг.). Из таблицы 1 и рисунка 1 следует, что в начальный период химизации в области ежегодно известковалось чуть больше 100 тыс. га. В дальнейшем была достигнута определенная цикличность, от половинных доз известковых материалов перешли к внесению полных доз, и к 1990 г. ежегодные объемы известкования достигли 250 тыс. га. Практически одновременно начались работы и по фосфоритованию почв. Они были крайне необходимы, так как фосфоритная мука являлась не только хорошим нейтрализатором кислотности, но и выполняла функцию фосфорного удобрения. За 1976–1980 гг. в области было профосфоритовано 170 тыс. га, а в дальнейшем ежегодные объемы фосфоритования достигали 57 тыс. га.

Таблица 1

Изменение показателей плодородия почв, применения удобрений и продуктивности пашни Московской области в различные периоды химизации

Показатель	Начало химизации (1966–1970)	Интенсивная химизация (1971–1993)	Спад химизации (1994–1997)	Низкий уровень химизации (1998–2002)
Кислотность почв				
Средневзвешенная величина $pH_{КС}$	5,10	5,7	5,8	5,75
Всего кислых почв, %	72,2	28,9	24,9	27,0
В т.ч. сильно- и среднекислых, %	52,2	9,0	7,8	8,7
Нейтральных и близких к нейтральным, %	27,8	70,7	75,6	72,9
Подвижный фосфор				
Средневзвешенная величина P_2O_5 , мг/кг почвы	80	221	212	213
Площади с пониженным содержанием P_2O_5 (до 100 мг/кг), %	76,0	8,8	11,4	9,8
С высоким и очень высоким содержанием P_2O_5 (>100мг/кг), %	14,3	78,2	73,4	73,1
Обменный калий				
Средневзвешенная величина K_2O , мг/кг почвы	103	168	143	136
Площади с пониженным содержанием K_2O (до 120 мг/кг), %	734	29,5	42,8	50,4
С высоким и очень высоким содержанием K_2O (>120 мг/кг), %	10,4	41,1	29,4	23,0
Гумус				
Средневзвешенное содержание гумуса, %	1,81	2,38	2,24	2,22
Среднегодовое применение агрохимических средств и удобрений				
Известкование почв, тыс.га	166,0	226,1	46,3	6,1
Фосфоритование, тыс.га	-	46,2	4,0	1,1
Внесение минеральных удобрений (NPK), кг/га д.в.	143	257	38	43
Внесение органических удобрений, т/га	7,4	10,9	3,6	2,6
Среднегодовая продуктивность пашни				
Урожайность зерновых, ц/га	18,3	23,7	19,2	15,5
Продуктивность пашни, ц/га зерновых ед.	20,2	28,9	21,2	18,7

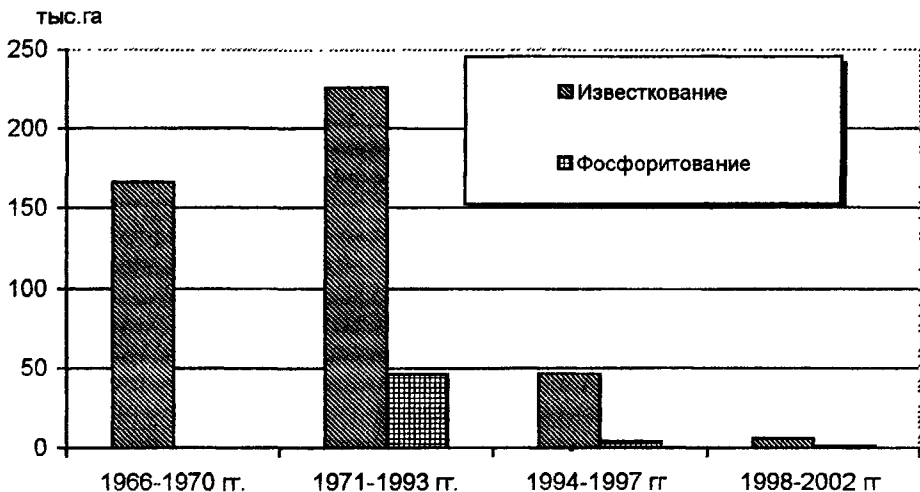


Рис. 1. *Динамика изменения среднегодовых объемов известкования и фосфоритования кислых почв за период 1966-2002 гг.*

Одновременно с известкованием и фосфоритованием в области резко возросли объемы внесения минеральных удобрений. Они возросли с 149 кг в 1966–1970 гг. до 270 кг/га д.в. в 1986–1990 гг.

Если до начала интенсивной химизации в земледелии области использовались преимущественно азотные удобрения, то в период интенсивной химизации такое же значение имели и калийные удобрения, в связи с легкими почвами и с большой долей в севообороте таких калиелюбивых культур как картофель и овощи. Ежегодно их вносилось до 96 кг/га д.в.

При интенсивном применении средств химизации значительно возросло плодородие почв пашни области. В ряде районов малопродуктивные почвы были превращены в высокопродуктивные с/х угодья. Многие хозяйства, освоив научные системы использования удобрений в комплексе с высокой культурой земледелия получали устойчивый урожай зерна в 45–50 ц/га, а урожайность в 20 и более центнеров зерновых единиц с га получили большинство хозяйств области.

Снижение объемов агрохимических работ в 1994–2002 годах привело к падению продуктивности пашни, которая в сравнении с периодом интенсивной химизации уменьшилась на 10,2 ц/га зерновых единиц и сравнялась с продуктивностью периода начала химизации (рис. 2).

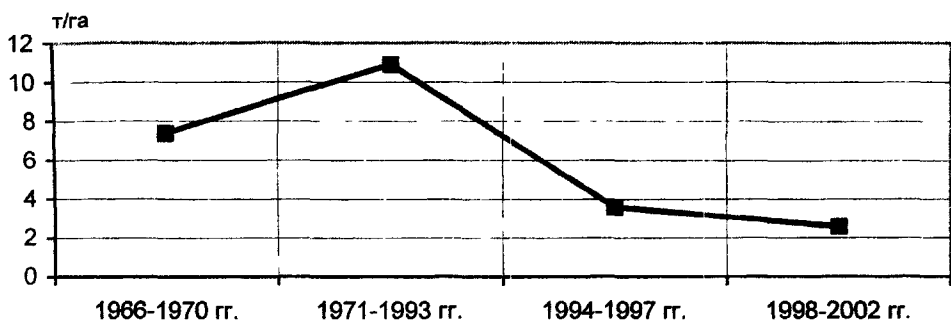


Рис. 2. Ежегодные объемы внесения органических удобрений, т/га

Кроме того, в период интенсивной химизации сельского хозяйства области (1971–1993 гг.) ряд хозяйств по разным причинам не смогли добиться равномерности распределения и внесения агрохимических средств. В результате выравнивания плодородия пашни не произошло.

Гумусное состояние дерново-подзолистых почв

Представление о гумусном состоянии почв можно составить на основе результатов агрохимического обследования пахотных земель Московской области (табл. 2, рис 3). Доля почв с очень низким и низким содержанием гумуса (менее 2,0%) за период с 1987 по 2002 гг. возросла с 32,2% до 43,5%, а почв со средним и повышенным его содержанием (2,0–3,0%) соответственно уменьшилась с 50,8 до 41,3%. Несколько снизились также площади земель с высокой (3,0–4,0%) обеспеченностью гумусом – с 10,4 до 10,0% при стабилизации доли высокогумусированных почв на уровне 6,6% от общей площади пашни. В итоге, средневзвешенное содержание гумуса в пахотных угодьях Подмосковья, будучи стабильным в период 1987–1991 гг. (2,42–2,43%), снизилось до 2,22%, что свидетельствует о наметившейся тенденции ухудшения гумусного состояния почв – основы их плодородия.

Таблица 2

Изменение содержания гумуса в пахотных почвах Московской области, в % от обследованной площади

Год	Обследованная площадь, тыс. га	Группировка по содержанию гумуса в почве, % на сухое вещество						Средневзвешенное содержание гумуса, %
		очень низкое, менее 1,4	низкое, 1,4–2,0	среднее, 2,0–2,5	повышенное, 2,5–3,0	высокое, 3,0–4,0	очень высокое, более 4,0	
1987	1185	5,8	26,4	32,7	18,1	10,4	6,6	2,43
1991	1144	9,0	28,9	25,7	16,5	11,9	8,0	2,42
1998	890	9,5	38,0	25,9	12,7	7,8	6,1	2,30
2002	876	7,5	35,0	27,2	13,1	10,0	6,6	2,22

Длительное сельскохозяйственное использование дерново-подзолистых почв без применения удобрений сдвигает подвижное равновесие между новообразованием гумуса и его минерализацией в сторону усиления последнего процесса, что сопровождается постепенным снижением его содержания в корнеобитаемом слое. Основными факторами воспроизводства гумусного состояния почв является применение органических и минеральных удобрений в сочетании с известкованием и включение в севооборот многолетних трав, в большей степени, чем другие культуры обогащающие почву растительными остатками.

Перечисленные выше способы воспроизводства гумусного состояния дерново-подзолистых почв активно использовались хозяйствами Московского региона при интенсивной химизации земледелия. В период 1971–1993 гг. пахотные почвы получали в среднем 11,0 т/га органических удобрений, 95 кг азота, 75 кг фосфора и 90 кг калия в виде минеральных удобрений (см. рис. 2, 4). В результате чего возросло средневзвешенное содержание гумуса с 1,81 до 2,43%. Ежегодно известковалось до 258 тыс. га пашни при средней дозе извести 6,7 т/га. Это позволяло поддерживать гумусное состояние почв на достаточно высоком уровне. Начиная с 1994 г., применение удобрений уменьшилось до недопустимо низких масштабов, а известкование практически прекратилось. В этих условиях вряд ли приходится рассчитывать на стабилизацию гумусного состояния пахотных земель с учетом низкой продуктивности выращиваемых культур. При складывающемся отрицательном балансе органического вещества в агроценозах неизбежно прогрессирующее снижение содержания гумуса в почве до критических значений.

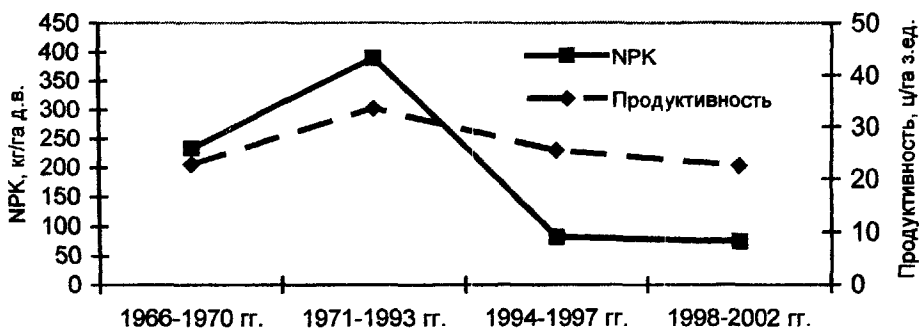


Рис. 4. Динамика объемов внесения НПК (кг/га д.в.) и продуктивности пашни (ц/га зерновых единиц)

Физико-химические свойства дерново-подзолистых почв

Сельскохозяйственное использование дерново-подзолистых почв оказывает значительное воздействие на содержание и состав обменных катионов в почвенном поглощающем комплексе. Особенно ощутимые изменения происходят под влиянием длительного применения удобрений и известкования.

По данным И.А. Шильникова (1977) на фоне известкования кислых дерново-подзолистых почв существенно возрастает эффективность минеральных удобрений: в посевах клевера в 1,5 раза, озимой пшеницы и ржи – в 2 раза, ячменя – в 1,8 раза.

В дерново-подзолистых почвах с повышенной кислотностью происходит также накопление обменного алюминия, подвижность которого в условиях нейтральной среды ничтожно мала. Для растений не так вредна концентрация водородных ионов в почвенном растворе, как образующийся в этих условиях избыток алюминия, который оказывает отрицательное влияние на рост корневой системы, снижает подвижность фосфатов и доступность растениями молибдена. Повышение содержания подвижного алюминия на 1 мг приводит к снижению урожайности озимой пшеницы на 4,4%, ярового ячменя на 4,7, кормовой свеклы – на 5,8%.

Наличие в поглощающем комплексе алюминия при разном гранулометрическом составе почв и различной гидролитической кислотностью требует строго дифференцированного подхода при разработке проектно-сметной документации на известкование кислых почв (Лобода, 1999, 2002).

Данные агрохимического обследования пахотных почв Московского региона свидетельствуют о том, что их кислотность в период 1998–2002 гг. стабилизировалась при средневзвешенной величине рН 5,8 (табл. 3).

Таблица 3

Динамика кислотности пахотных почв Московской области, в % от обследованной площади

Год	Обследованная площадь, тыс. га	Группировка почв по кислотности, рН _{ккл}					Средневзвешенный показатель рН _{ккл}
		очень сильно- и сильно-кислые, менее 4,5	средне кислые, 4,5–5,0	слабо кислые, 5,1–5,5	близкие к нейтральным, более 6,0	нейтральные, более 6,0	
1987	1185	3,5	14,7	36,0	32,0	13,8	5,5
1992	1144	2,2	8,2	27,6	38,4	23,6	5,6
1998	890	2,0	5,8	16,5	31,2	44,4	5,8
2002	876	1,9	6,7	19,7	35,6	36,1	5,8

Практически не изменилось и соотношение площадей почв с различной кислотностью. Доля пахотных земель с рН менее 5,5 не превышала 24–28%.

Такой режим почвенной кислотности можно было бы признать удовлетворительным, рассчитывая на приемлемый уровень ее и в дальнейшем и полагаясь на последствие высоких доз известки, внесенных в предшествующий период, которое может проявляться в течение 10 и более лет. Однако малые масштабы известкования почв в последние годы не дают оснований для такого оптимистического суждения.

Аналогичные данные получены при проведении исследований на дерново-подзолистых, слабоокультуренных почвах с рН 4,2 и очень низким содержанием подвижных фосфатов (19 мг/кг) в совхозе «Головково» Наро-Фоминского района. Установлено, что наиболее высокое положительное действие на продуктивность культур звена севооборота (вико-овсяная смесь, многолетние травы первого и второго года пользования) оказывало внесение извести при лущении стерни и послойно, в сравнении с поверхностным внесением и под вспашку. Это обеспечивало повышение урожая однолетних и многолетних трав в среднем за год на 23,5 ц/га з.е. благодаря существенному снижению почвенной кислотности под влиянием извести (с рН 4,2 до рН 4,9–5,4). При этом, характерно, что наиболее ощутимое нейтрализующее действие извести проявилось на второй год после ее внесения при равномерном повышении рН в слое 0–10 и 10–20 см.

Азотный режим дерново-подзолистых почв и эффективность азотных удобрений

Дерново-подзолистые почвы слабо обеспечены азотом, общее содержание которого в пахотном слое суглинков в составляет 0,10–0,16%, супесей и песчаных разновидностей – 0,08–0,13% и 0,07–0,10%. На 93–95% почвенный азот представлен органическими соединениями, входящими в состав гумуса, растительных и животных остатков, микроорганизмов (Гамзиков, 1978; Кулаковская, 1990; Семененко, 1992; Безносиков, 2000). В составе органического азота дерново-подзолистых почв преобладает негидролизуемая фракция, на долю которой приходится от 70 до 85% общего азота. Количество трудногидролизуемого и легкогидролизуемого азота невелико – соответственно 9–11% и 6–12%. Содержание минеральных азотных соединений, являющихся непосредственным источником азотного питания растений, составляет не более 1–3% от общих запасов азота в почве.

На окультуренных, хорошо аэрируемых почвах со слабо кислой и нейтральной реакцией среды создаются оптимальные условия для нитрификации и аммоний быстро превращается в нитраты. Небольшой дефицит влаги (45% ПВ) оказывает меньшее отрицательное влияние на течение нитрификации, нежели ее избыток.

Наряду с нисходящей миграцией нитратов, наблюдается восходящее их передвижение по профилю почвы, вызываемое подтягиванием влаги и вымывшихся нитратов к фронту ее промерзания. Под влиянием длительного взаимодействия этих противоположно направленных потоков влаги и при усвоении нитратов растениями преимущественно из верхнего горизонта почвы в толще 40–160 см формируется глубокопочвенный нитратный максимум, являющийся источником азотного питания для последующих культур севооборота (Никитищен, 1984, 2002). Эти данные свидетельствуют о необходимости учитывать запасы минерального азота не только в пахотном, но и нижележащих горизонтах почвы для диагностики обеспеченности растений усвояемым азотом (Шафран, 2002).

Такой подход использован при определении оптимальных доз весенней азотной подкормки озимых злаков в период интенсивной химизации

земледелия. Образцы почвы отбирали послойно из горизонтов 0–30, 30–60 и 60–90 см при возобновлении весенней вегетации посевов. Установлено, что около половины запасов минерального азота в почвенном профиле было представлено нитратами. Содержание его в толще 0–90 см изменялось в пределах от 30 до 360 кг/га, характеризуя различную степень обеспеченности озимых злаков усвояемым азотом.

Распределение нитратного и аммонийного азота по горизонтам почвы 0–30, 30–60 и 60–90 см было довольно равномерным и составляло соответственно 33, 32 и 35% от суммарного количества. Полученные данные позволили скорректировать дозы азотной подкормки и тем самым повысить эффективность азотных удобрений в хозяйствах.

Важным фактором повышения эффективности азотных удобрений на дерново-подзолистых почвах является также определение их оптимальных доз внесения под сельскохозяйственные культуры с учетом предшественников в севообороте, сроков проведения азотной подкормки, степени сбалансированности азота с другими элементами питания и, в первую очередь, с фосфором.

В полевых опытах, проведенных на среднесуглинистых дерново-подзолистых почвах совхоза «Куйбышево» Истринского района в звене севооборота вико-овсяная смесь, озимая пшеница, ячмень, картофель, нами изучена эффективность азотного удобрения в зависимости от обеспеченности почвы фосфором (табл. 4).

Таблица 4

Эффективность применения азотных удобрений в посевах зерновых культур и картофеля на среднесуглинистых дерново-подзолистых почвах с разной обеспеченностью подвижным фосфором

Вариант опыта	Естественный фон			Фон — P600		
	урожай, ц/га	прибавка, ц/га	% белка в зерне, крахмала в клубне	урожай, ц/га	прибавка, ц/га	% белка в зерне, крахмала в клубне
Озимая пшеница (1971–1977 гг.)						
Контроль(б/у)	12,8	—	9,13	19,2	—	9,73
P60K60	15,3	2,5	9,23	20,3	1,1	9,85
N60P60K60	22,2	9,4	9,89	28,4	9,2	9,83
N90P60K60	25,1	12,3	10,40	32,1	12,9	10,44
N120P60K60	25,9	13,1	10,38	36,9	17,7	11,56
N150P60K60	26,8	14,0	10,05	39,1	19,9	10,93
HCP _{0,5} , ц/га		1,8			2,6	
Ячмень (1973–1978 гг.)						
Контроль(б/у)	14,0	—	10,83	19,1	—	11,54
P60K60	17,5	3,5	11,65	20,4	1,3	11,44
N60P60K60	20,0	6,0	11,35	24,6	5,5	11,64
N90P60K60	21,5	7,5	11,64	25,2	6,1	11,65
N120P60K60	22,3	8,3	11,68	27,2	8,1	12,05
N150P60K60	21,7	7,7	11,67	27,3	8,2	12,17
HCP _{0,5} , ц/га		3,7			2,5	

Вариант опыта	Естественный фон			Фон — P600		
	урожай, ц/га	прибавка, ц/га	% белка в зерне, крахмала в клубне	урожай, ц/га	прибавка, ц/га	% белка в зерне, крахмала в клубне
Картофель (1972–1978 гг.)						
Контроль(б/у)	79	—	16,45	138	—	15,42
P60K60	92	13	15,46	146	8	15,76
N60P60K60	120	41	15,78	188	50	15,86
N90P60K60	140	61	15,90	217	79	16,09
N120P60K60	149	70	15,32	246	108	16,17
N150P60K60	147	68	15,11	252	114	15,61
НСР _{0,5} , ц/га		13			32	

Исходное содержание подвижных фосфатов в почве составляло 23 мг/кг, самый высокий фосфатный уровень (P_2O_5 360 мг/кг) создавали путем разового внесения под вико-овсяную смесь 600 кг/га P_2O_5 в виде суперфосфата.

Исследования показали, что положительное действие высоких доз азота (120 и 150 кг/га) на продуктивность озимой пшеницы усиливалось при использовании их на фоне запасного внесения фосфора. В меньшей степени такая взаимосвязь проявлялась в случае применения умеренного количества азотного удобрения под эту культуру (60 и 90 кг N на га). В отличие от озимой пшеницы, посевы ячменя слабее реагировали на внесение азотного удобрения, эффективность которого была практически одинакова как на фоне очень низкой обеспеченности подвижными фосфатами, так и на фоне запасного внесения 600 кг/га P_2O_5 . Последнее, очевидно, связано с известной способностью ячменя удовлетворять потребность в фосфоре даже при очень низком содержании подвижных фосфатов в почве, слабо реагируя на фосфорное удобрение.

Наиболее тесное взаимодействие азотного и фосфорного удобрений наблюдалось в посевах картофеля. Прибавки урожая клубней от внесения азота составляли: при низкой обеспеченности фосфором — 28–57 ц/га, при более высокой — 42–106 ц/га. По мере повышения уровня азотного питания растений на почве с острым дефицитом фосфора отмечено снижение содержания крахмала в клубнях картофеля. Этого не наблюдалось в случае применения возрастающих доз азотного удобрения в сочетании с запасным внесением фосфорного удобрения. Последнее свидетельствует о том, что в данных условиях достигнута оптимальная сбалансированность питания растений азотом и фосфором.

Высокое положительное действие азотного удобрения выявлено также в полевых опытах с кукурузой на хорошо окультуренной дерново-подзолистой почве (гумус — 2,6%, подвижный фосфор — 21,8 мг/100 г) и с многолетними злаковыми травами на среднеокультуренной почве (гумус — 2,0%, подвижный фосфор — 7,5 мг/100 г). Применение возрастающих доз азота (120, 150, 180, 210 кг/га) на фоне P120K120 обеспечивало рост урожая этой культуры на 114–213 ц/га при увеличении содержания сырого протеина в биомассе с 11,37 до 12,71–13,26%. Под влиянием 90, 120, 150 и

180 кг/га азота, используемого на фоне Р60К60, продуктивность сена трав возрастала на 19,2–22,8 ц/га, а содержание сырого протеина – с 14,2 до 15,5–17,2%. Таким образом, эффективность азотного удобрения на дерново-подзолистых почвах зависела от степени их окультуренности и возрастала по мере повышения фосфатного уровня почвы.

Фосфатный режим дерново-подзолистых почв и эффективность фосфорных удобрений

Дерново-подзолистые почвы бедны фосфором, запасы его в пахотном слое в большинстве случаев не превышают 2–3 т/га, в метровой толще – 7–8 т/га. Сорбционная связь фосфатов с почвенным поглощающим комплексом усиливается с уменьшением рН, поэтому доступность их растениям понижается при подкислении дерново-подзолистой почвы. Оптимальное содержание подвижных фосфатов в почве для зерновых культур и картофеля составляет 100–150 мг/кг. По мере снижения фосфатного уровня почвы относительно оптимума увеличивается потребность растений в фосфорных удобрениях (Сдобникова, Сушеница, 1991; Чумаченко, 2003).

Доступность растениям почвенных фосфатов во многом зависит также от состояния сопутствующих факторов, таких как водный, температурный режимы и обеспеченность азотом. Дефицит влаги в почве сильно ограничивает поступление фосфора в растения в результате уменьшения числа точек соприкосновения корня с водяными пленками, окружающими почвенные частицы и содержащими растворенный фосфор. При этом имеет значение и увеличение концентрации почвенного раствора вследствие иссушения почвы, приводящее к закреплению фосфора в труднорастворимое состояние. Подвижность фосфора и доступность его растениям заметно снижаются также в условиях недостатка тепла. При изменении температуры с 20 до 10°C скорость перехода фосфатов железа и алюминия из почвы в раствор снижается в четыре раза. Доступность фосфора растениям и эффективность фосфорных удобрений повышаются по мере усиления уровня азотного питания растений.

Результаты агрохимического обследования почв Московской области показывают (табл. 5), что за период с 1971 по 2002 гг. средневзвешенное содержание подвижных фосфатов в почвах этого региона возросло с 80 до 224 мг/кг, а доля пахотных земель с повышенной, высокой и очень высокой обеспеченностью этим элементом питания (более 100 мг/кг) увеличилась с 14,3 до 91,3%. Вместе с тем, следует отметить, что в условиях резко снизившегося уровня применения фосфорных удобрений в аграрном секторе данного региона (в 1994–2002 гг. в почву поступало ежегодно всего 4–7 кг/га P_2O_5) складывался дефицитный баланс фосфора в агроэкосистемах, что в будущем может привести к ухудшению фосфатного состояния почв. Поэтому необходимо возобновить поставку фосфорных удобрений хозяйствам области в размерах, обеспечивающих, по меньшей мере, стабилизацию фосфатного уровня почв, достигнутого благодаря интенсивной химизации земледелия в предшествующие годы.

**Динамика содержания подвижных фосфатов в пахотных почвах
Московской области, в % от обследованной площади**

Год	Обследо- ванная площадь, тыс. га	Группировка по содержанию подвижных фосфатов в почве, P_2O_5 мг/кг					Средне- взвешенное содержа- ние, P_2O_5 мг/кг	
		очень низкое, до 25	низкое, 26–50	среднее 51–100	повышен- ное, 101– 150	высокое, 151–250		очень высокое, более 250
1987	1186	0,6	2,9	17,4	23,5	31,0	24,6	179
1992	1144	0,5	1,5	8,8	19,5	33,0	20,8	208
1998	890	0,3	1,6	9,5	15,2	37,1	36,3	211
2002	876	0,2	1,0	7,5	15,6	32,9	42,8	214

О высокой эффективности прямого действия и последействия фосфорных удобрений на дерново-подзолистых почвах, слабо обеспеченных подвижными фосфатами, свидетельствуют данные многолетних стационарных опытов (табл. 6).

Таблица 6

**Эффективность применения удобрений на дерново-подзолистой супесчаной
почве с различным содержанием подвижного фосфора**

Вариант опыта	Урожайность, ц/га			Общая продуктивность звена севооборота, ц/га з.е.	
	озимая пшеница	картофель	ячмень	общая	прибавка от удобрений
P_2O_5 мг/кг в почве – 36–60					
Без удобрений	9,8	85	21,3	67,6	–
N240P180	25,6	109	20,7	99,7	32,1
N240K260	19,9	104	23,1	98,9	31,3
P180K260	25,5	96	22,8	100,4	32,8
N240P180K260	25,4	107	24,2	108,4	40,8
P_2O_5 мг/кг в почве – 111–136					
Без удобрений	36,2	97	22,2	120,6	–
N240P180	37,6	103	22,5	119,0	–1,6
N240K260	40,0	133	22,6	138,3	17,7
P180K260	35,1	113	22,0	124,6	4,0
N240P180K260	39,8	114	28,7	132,6	11,6

Изучение сравнительной эффективности запасного и ежегодного внесения эквивалентного количества фосфорных удобрений в 6-польном севообороте на дерново-подзолистых почвах (300 и 600 кг/га P_2O_5) выявило практически одинаковое их влияние на продуктивность выращиваемых культур. Последнее свидетельствует о высоком последействии фосфорных удобрений, не уступающем прямому их действию, что необходимо учитывать при оценке общей эффективности вносимого в севообороте фосфора. О феноменальной продолжительности последействия фосфорных удобрений свидетельствуют данные Ротамстедской опытной станции (Сооке, 1984), показывающие сильное влияние на продуктивность ячменя предшествующего 50-летнего их внесения. Под влиянием последействия фосфора

формировался урожай зерновой культуры, вдвое больший, чем на контроле на протяжении тридцатилетнего периода.

Нельзя недооценивать важности такого действенного приема на фосфатный режим дерново-подзолистых почв как фосфоритование почв. Фосфоритная мука повышает содержание кислотного-растворимого фосфора в почве (Войтович, 1997; Чумаченко, 2003). При этом, чем больше доза удобрения, тем значительнее содержание подвижного фосфора в почве. Даже однократные применения фосфоритной муки в дозах 1,5-2,5 т обеспечивает сильное и длительное последствие.

Калийный режим дерново-подзолистых почв и эффективность калийных удобрений

Для характеристики обеспеченности дерново-подзолистых почв доступным калием чаще всего используется величина содержания в них его обменнопоглощенной формы (Прокошев, Дерюгин, 2000). Анализ результатов большого числа полевых опытов с картофелем, проведенных в Нечерноземной зоне, показал, что оптимальный уровень содержания обменного калия, обеспечивающий формирование максимального урожая этой культуры (258–266 ц/га) и отсутствие реакции на калийное удобрение, составляет 230–260 мг/кг. Оптимум для зерновых культур, по результатам обобщения Т.Н. Кулаковской (1990): на суглинках составляет 220–250 мг/кг г, супесях – 200–240 мг/кг, на песчаных почвах – 180–200 мг/кг.

Сельскохозяйственные предприятия региона в период 1971–1993 гг вносили в расчете на гектар пахотных земель 8,0–12,3 т органических удобрений и 70–97 кг K_2O в виде минеральных удобрений, что обеспечивало достижение положительного баланса калия в агроэкосистемах. Это дало возможность стабилизировать и даже несколько повысить обеспеченность почв обменнопоглощенным калием (табл. 7). Средневзвешенное содержание его в почве в период с 1971 по 1992 гг. возросло с 102 до 160 мг/кг, а доля почв с повышенным, высоким и очень высоким содержанием обменного калия (120–250 мг/кг и более) увеличилась на 43,6%. Резкое снижение уровня применения органических и минеральных удобрений в период 1994–2002 гг. (соответственно 2,2–4,0 т/га и 5–10 кг/га K_2O) обусловило сильно выраженный дефицит калия в агроэкосистемах. В результате этого к 2002 г. доля почв с очень низкой, низкой и средней обеспеченностью обменным калием возросла на 20,4%, а средневзвешенное его содержание уменьшилось до 138 мг/кг, что создало реальную угрозу истощения пахотных земель данным элементом питания. Обменный калий в большинстве обследованных хозяйств находится в минимуме, т.е. прежде всего лимитирует количественные и качественные показатели возделываемых культур (рис. 5). Кроме того, весьма важна функция калия в снижении поступления радионуклидов в продукцию растениеводства (Воробьев, Чумаченко, Курганов и др., 2002).

**Динамика содержания обменного калия в пахотных почвах
Московской области, в % к обследованной площади**

Год	Обследо- ванная площадь, тыс. га	Группировка почв по содержанию обменного калия, мг/кг					Средне- взвешенное содержа- ние, мг/кг	
		очень низкое, менее 40	низкое, 41–80	среднее, 81–120	повы- шенное, 121–170	высокое, 171–250		очень высокое, более 250
1987	1186	1,2	10,7	26,3	32,8	22,0	7,0	148
1992	1144	0,7	7,5	21,6	34,5	26,5	9,2	160
1998	890	1,7	15,2	25,9	27,9	19,1	10,3	147
2002	876	2,5	17,7	25,0	27,2	19,5	8,1	135

Данные полевых опытов по эффективности калийных удобрений приведены в таблице 8. Опыты с озимой пшеницей, картофелем и кукурузой размещены на почвах с содержанием обменного калия в пределах 103–116 мг/кг. Ячмень выращивали на участке с более высокой обеспеченностью этим элементом питания (214 мг/кг), а почва под многолетними злаковыми травами имела наиболее низкий калийный уровень (55 мг/кг). Как показали исследования, отзывчивость сельскохозяйственных культур на калийное удобрение определялась степенью обеспеченности почв обменно-поглощенным калием и была более высокой в посевах многолетних трав, кукурузы и озимой пшеницы и наиболее низкой – в посевах ячменя. Таким образом, при выращивании культур полевого севооборота на дерново-подзолистых почвах с содержанием обменного калия менее 110 мг/кг посевы испытывали сильную потребность в калийном удобрении. Учитывая то обстоятельство, что площади пахотных земель в регионе с такой обеспеченностью подвижным калием достигают в настоящее время 50%, устойчивое развитие земледелия здесь предполагает необходимость существенного повышения уровня применения калийных удобрений в соответствии с научно-обоснованной потребностью.

Таблица 8

Эффективность калийного удобрения в полевых опытах

Вариант опыта	Урожай, ц/га			В среднем, ц/га	Прибавка урожаю, ц/га	Сырой протеин, %
	1	2	3			
Озимая пшеница, зерно (1978–1980 гг.)						
Контроль	36,6	37,7	32,3	35,5	-	11,20
N90P90	40,1	44,2	34,1	39,5	4,0	11,41
N90P90K90	41,0	50,4	39,7	43,7	8,2	11,10
HCP _{0,5} , ц/га	3,1	3,3	3,3			
Ячмень, зерно (1978–1980 гг.)						
Контроль	21,4	14,2	15,5	17,0	-	11,68
N90P90	23,8	16,2	19,9	20,0	3,0	12,38
N90P90K90	28,0	15,9	20,6	21,5	4,5	12,80
HCP _{0,5} , ц/га	2,8	1,5	4,5			
Картофель, клубни (1971–1973 гг.)						
Контроль	194	122	219	145	-	14,59
N60P60	254	160	167	194	49	15,22

Вариант опыта	Урожай, ц/га			В среднем, ц/га	Прибавка урожая, ц/га	Сырой протеин, %
	1	2	3			
N60P60K60	270	194	176	213	68	15,07
N60P60K90	263	171	199	211	66	15,36
N60P60K120	252	161	192	202	57	14,88
НСР _{0,5} , ц/га	44	38	26			
Кукуруза, зеленая масса (1977–1979 гг.)						
Контроль	189	324	378	297	-	11,37
N150P120	247	358	469	358	61	11,67
N150P120K120	314	447	650	470	173	12,81
НСР _{0,5} , ц/га	29	42	97			
Многолетние травы, сено (1979–1981 гг.)						
Контроль	63,9	45,3	44,9	51,4	-	12,70
N90P60	82,4	78,0	49,5	70,0	18,6	14,00
N90P60K60	91,5	89,7	61,7	81,0	29,6	14,50
НСР _{0,5} , ц/га	10,8	6,6	7,8			

Подвижная сера в пахотных почвах

В своем специфическом значении для физиологических процессов в растении сера является незаменимым элементом и не может быть заменена никаким другим, даже родственным ей селеном, который лишь включается в органические структуры, но не может выполнять физиологические функции последней.

Значительное количество серы поступает в почву с атмосферными осадками, растворяющимися газообразные соединения серы и попадающими в атмосферу с пылью и дымом промышленных предприятий. В европейской части России с осадками выпадает 5–10 кг/га серы, вблизи индустриальных районов – 16–45 кг/га. С дождями и снегом на подмосковные поля, по данным Гидрометслужбы, ежегодно осаждаются от 10 до 49 кг/га серы (Аристархов, 2000).

Из таблицы 9 видно, что в целом по области площадь пашни с низким и средним содержанием подвижной серы в 1998 г. составляла 67,6%, а в 2001 г. – 75,9%, т.е. за последние годы идет существенное уменьшение серы в почве с 12,4 до 8,8 мг/кг.

Таблица 9

Содержание подвижных форм серы в пахотных почвах, % от обследованной площади

Год	Обследованная площадь, га	Группировка почв по содержанию подвижной серы, мг/кг			Средневзвешенный показатель, мг/кг
		низкое, <6,0	среднее, 6–12	высокое, > 12	
1998	682044	27,9	39,7	32,4	12,4
2001	523986	43,1	32,8	24,0	8,8

Изучение баланса серы в земледелии Московской области показало, что несмотря на сильное снижение в последние годы уровня применения удобрений, в которых сера содержится как сопутствующий элемент, общее

поступление ее в почву превышало вынос, благодаря выпадению с атмосферными осадками. Однако, несмотря на положительный баланс серы, во многих районах области на почвах легкого гранулометрического состава выявлены значительные площади пахотных земель с низким содержанием подвижной серы, не превышающем 3 мг/кг. И только почвы юго-восточных районов области имеют высокую обеспеченность этим элементом питания (до 18 мг/кг). Установлено, что при содержании сульфатной серы в почве около 2–3 мг/кг посевы испытывают потребность в серосодержащих удобрениях, а при содержании ее более 10 мг/кг считаются достаточно обеспеченными ею.

Подвижный магний в дерново-подзолистых почвах

Проблема удовлетворения потребности растений в магнии особенно обострилась в последнее время. В целом ряде регионов страны, как об этом свидетельствуют результаты агрохимических обследований, установлены факты широкого распространения почв с низкой обеспеченностью этим элементом. Только в Нечерноземной зоне почвы с низким содержанием подвижного магния занимают 20 млн. га (Сычев, 2000).

Как известно, в соответствии с разработанными для дерново-подзолистых почв градациями, очень низкий уровень магниевое питания растений складывается при следующем содержании подвижного магния в пахотном слое: на супесчаных и песчаных разностях – менее 3 мг-экв. на 100 г, на легких и средних суглинках – менее 4 мг-экв. на 100 г и на тяжелых суглинках и глинах – менее 5 мг-экв. на 100 г почвы. Оптимальную обеспеченность растений характеризует содержание подвижного магния в этих почвах соответственно 12–15, 16–20 и 23–29 мг-экв. на 100 г почвы. По данным Т.Н. Кулаковской (1983), при увеличении содержания обменного магния в супесчаных и песчаных дерново-подзолистых почвах с 1,5 до 6,5 мг-экв. на 100 г почвы урожая овса возрастали на 24–27%, кукурузы – на 26–30%, озимой ржи – на 18–20% и льна – на 12%. Содержание обменного магния, равное 7 мг-экв. на 100 г почвы, было тем уровнем, выше которого магниевые удобрения снижали свою эффективность в посевах сельскохозяйственных культур.

Слабая обеспеченность растений магнием обнаруживается, как правило, на почвах легкого гранулометрического состава – песчаных и супесчаных, бедных поглощенными основаниями (Войтович, 1997). Содержание легкоподвижного магния на этих почвах очень часто бывает ниже критического уровня (0,5 мг-экв. на 100 г почвы) и во многих случаях не превышает 2 мг-экв. на 100 г почвы. Внесение в этих условиях магниесодержащих удобрений повышает урожай картофеля на 20%.

Агрохимические обследования пахотных земель Московской области показали, что количество почв с содержанием Mg менее 2 мг-экв. на 100 г в 1987–67%, в 1997 г. – 55%, а на 01.01.2002 г. доля площадей пашни с содержанием магния менее 2 мг-экв. на 100 г составила 37,9% (табл. 10).

Таблица 10

**Содержание магния в пахотных почвах, % от обследованной площади
(по состоянию на 01.01.2002 г.)**

Вид угодий	Обсле- дован- ная пло- щадь, тыс. га	Средне- взвешенное содержа- ние, мг- экв. на 100 г почвы	Группировка почв по содержанию, мг-экв на 100 г почвы					
			очень низкое, 0-0,5	низкое, 0,6-1,0	среднее, 1,1-2,0	повы- шенное, 2,1-3,0	высо- кое, 3,1-4,0	очень высокое, более 4,0
Пашня	871	2,4	0,2	5,1	32,6	44,5	14,1	3,5
Сенокосы	31	3,0	0,3	5,5	24,2	22,7	27,6	19,7
Пастбища	40	2,5	0,2	7,1	30,5	37,3	16,2	8,7

Несмотря на наметившуюся, в целом по области, тенденцию к снижению площадей с содержанием Mg менее 2 мг-экв на 100 г почвы, потребность в магнийсодержащих удобрениях остается, особенно на почвах легкого гранулометрического состава, где такие площади составляют от 43,3% на супесчаных почвах, до 79,7% на песчаных (табл. 11).

Таблица 11

**Распределение пашни по содержанию магния на почвах
с разным гранулометрическим составом, в % от обследованной площади
(по состоянию на 01.01.2002 г.)**

Грануломет- рический состав	Обсле- дован- ная пло- щадь, га	Средне- взвешенное со- держание, мг-экв. на 100 г почвы	Группировка почв по содержанию, мг-экв. на 100 г почвы					
			очень низкое, 0-0,5	низкое, 0,5-1,0	среднее, 1,1-2,0	повы- шенное, 2,1-3,0	высо- кое, 3,1-4,0	очень высо- кое, > 4,0
Глинистые	233	2,1	0,0	3,0	64,3	26,3	6,4	0,0
Тяжелосуглинистые	22813	2,5	0,01	0,3	25,3	53,2	20,3	0,9
Среднесуглинистые	270404	2,4	0,04	1,6	30,5	53,7	11,6	2,6
Легкосуглинистые	203086	2,2	0,1	4,9	38,8	46,2	8,3	1,7
Супесчаные	112964	1,6	0,6	21,8	57,3	16,3	2,8	1,2
Песчаные	13749	1,4	3,0	30,4	55,3	8,0	1,8	1,5

Баланс питательных элементов

Одной из наиболее важных характеристик при оценке плодородия почв является баланс элементов питания. Его определение за длительный период позволяет дать более объективную характеристику основным тенденциям, сложившимся в земледелии Московской области (табл. 12).

**Баланс элементов питания в земледелии Московской области
в разные периоды химизации**

Год, период	Приход				Расход				Баланс +/-			
	всего	N	P	K	всего	N	P	K	всего	N	P	K
1966–1970, начало химизации	223,5	83,2	58,4	81,9	126,6	49,9	17,3	59,4	96,9	33,3	41,1	22,5
1971–1993, интенсив- ная хими- зация	382,0	140,3	98,3	143,4	169,5	67,7	23,9	77,9	212,5	72,6	74,4	65,5
1994–1997, спад хими- зации	82,6	40,2	14,3	28,1	135,4	52,0	19,0	64,4	-52,8	-11,8	-4,7	-36,3
1998–2002, низкий уровень химизации	74,8	40,9	12,1	21,8	116,3	44,1	16,2	56,0	-41,5	-3,2	-4,1	-34,1

Расчет относительного дефицита элементов питания дает возможность установить долю почвенных запасов питательных веществ, используемых на создание урожая, количественно выразить степень падения плодородия почвы и обосновать мероприятия по его стабилизации и увеличению продуктивности пашни.

Главным источником пополнения почвенных запасов и удовлетворения потребности растений в элементах питания являются удобрения. В Московской области пик их применения пришелся на 1986–1990 гг. В тот период с минеральными удобрениями ежегодно вносилось на 1 га пашни 270 кг NPK, а с учетом органических удобрений приход составлял около 400 кг/га. С 1991 г. началось падение применения как минеральных, так и органических удобрений. Оно продолжалось до 1995 г. и стабилизировалось на очень низком уровне. По отношению к 1990 г. применение органических удобрений составляет 19%, а минеральных – 17%.

Произошли изменения и в структуре посевных площадей. К 2002 г. (по сравнению с 1991 г.) посевы зерновых уменьшились на 5,1%; картофеля – 2,9%; овощей – 1,4%; кукурузы на силос на 4,4%. Вместе с тем увеличились площади под однолетними травами на 1,3%; многолетними на 14%. Увеличение в севообороте посевов многолетних трав, особенно бобовых и их смесей со злаковыми является положительным моментом, так как они обеспечивают поступление в корнеобитаемый слой большой массы корневых и поукосных остатков, поступление азота, фиксированного из атмосферы. Но это справедливо только для хорошего травостоя.

К сожалению в области преобладают посевы многолетних трав 3-го и более лет, многие поля засорены, изрежены. Урожай на таких полях низкий и не превышает 20–30 ц/га сена и 100–120 ц/га зеленой массы. Еже-

годные посевы многолетних трав уменьшились в 2 раза. Для сравнения в 1991 г. подпокровные многолетние травы составляли 22% от общего количества трав, а в 2002 г. — 12,5%. В такой ситуации влияние многолетних трав на плодородие будет минимальным. Все это привело к падению продуктивности пахотных угодий области на 40–50%.

Несмотря на то, что вынос питательных веществ с урожаем уменьшился, начиная с 1994 г. баланс питательных веществ остается стабильно отрицательным по всем основным элементам питания (табл. 13).

Исключением является 1999 г., когда из-за неблагоприятных погодных условий был получен самый низкий за последние годы урожай — 14,2 зерн. ед. / га, и даже в этом году баланс по калию был отрицательным.

Расчет относительного дефицита питательных веществ (отношение дефицита к выносу питательных элементов выраженное в %) позволяет проследить в динамике по годам использование питательных веществ из почвы и выявить перспективы в изменении плодородия почв.

По фосфору наибольший относительный дефицит наблюдался в 1996, 1997 и 1998 гг (32,0%, 41,6%, 35,2%). В дальнейшем намечается тенденция к снижению до 21,6% (исключение 1999 г. — без дефицита, 2001 г. — 33,9%). Если учесть, что в годы интенсивной химизации вносили на 1 га свыше 75 кг д.в. P_2O_5 , ежегодно фосфоритование проводилось на площади около 50 га и на сегодняшний день только 8,7% почв пашни с пониженным содержанием подвижного фосфора (<100 мг/кг), а средневзвешенное содержание 220 мг/кг, то можно рассчитывать на последствие удобрений в течение ряда лет и не опасаться резкого снижения содержания P_2O_5 в почве.

Сложнее складывается ситуация с калием. Его баланс с 1994 г. стабильно отрицательный. Ежегодный вынос питательных веществ из почвы превышает 60% (1999 г. — 41,5%).

К сожалению специалисты хозяйств недооценивают роль калия. В последние годы доля калийных удобрений не превышала 20% от общего количества вносимых удобрений.

Поскольку хозяйства применяют в основном азотные удобрения, то относительный дефицит азота складывается на первый взгляд неплохо. Просматривается тенденция к снижению дефицита, а в 1999 и 2002 гг. баланс был бездефицитный, но произошло это из-за низкой урожайности и как следствие, меньшего выноса питательных веществ. На полях с низким урожаем остается мало поукосных остатков, так необходимых для образования органического вещества почвы.

В настоящее время в области урожай сельскохозяйственных культур зависит от уровня обеспеченности почв элементами питания, т.е. более 60% урожая формируется за счет плодородия почв. Следовательно, идет сильное истощение почв по всем элементам питания.

Таблица 13

**Вынос, приход, баланс и относительный дефицит основных питательных веществ
в земледелии Московской области, в расчете на 1 га пахотной земли (за период 1991–2001 гг.)**

Показатель	Пита- тельные вещества	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
Вынос питательных веществ с урожаем с/х культур с 1 га/ кг	N	72,8	61,8	55,3	54,8	56,7	47,4	50,6	49,8	45,1	32,2	48,9	50,0	38,8
	P ₂ O ₅	25,8	22,1	19,4	19,7	20,3	17,0	18,1	17,8	16,2	11,7	17,4	18,0	15,3
	K ₂ O	90,5	74,0	63,9	65,7	67,0	57,2	59,2	58,6	55,0	41,2	56,7	59,9	45,2
	Всего	189,1	157,9	138,6	140,2	144,0	121,6	127,9	126,2	116,3	85,1	123,0	127,9	99,3
Приход с органиче- скими и минераль- ными удобрениями на 1 га/кг	N	129	113,2	108,1	82,2	50,8	39,8	37,7	33,1	36,6	43,2	43,1	39,9	41,0
	P ₂ O ₅	87	76,2	70,4	38,4	18,4	15,9	12,4	10,4	10,5	12,9	13,2	11,9	12,0
	K ₂ O	135,9	116,1	113,5	79,4	41,2	27,9	24,0	19,1	18,5	24,1	23,9	20,4	21,7
	Всего	351,9	305,5	292,0	200	110,4	83,6	74,1	62,6	65,6	80,2	80,2	72,2	74,7
Баланс +/-	N	56,2	51,4	52,8	27,4	-5,9	-7,6	-12,9	-16,7	-8,5	11,0	-5,8	-10,1	2,2
	P ₂ O ₅	61,2	54,1	51,0	18,7	-1,9	-1,1	-5,7	-7,4	-5,7	1,1	-4,2	-6,1	-3,3
	K ₂ O	45,4	42,1	49,6	13,7	-25,8	-29,3	-35,2	-39,5	-36,5	-17,1	-32,8	-39,5	-23,5
	Всего	162,8	147,6	153,4	59,8	-33,6	-38,0	-53,8	-63,7	-50,7	-4,9	-42,7	-55,7	-24,6
Относительный дефицит питатель- ных веществ, %	N	-	-	-	-	10,4	16,0	25,5	33,5	18,8	-	11,9	20,2	-
	P ₂ O ₅	-	-	-	-	9,4	6,5	31,5	41,6	35,2	-	24,1	33,9	21,6
	K ₂ O	-	-	-	-	38,5	51,2	59,5	67,4	66,4	41,5	57,8	65,9	52,0
	Всего	-	-	-	-	23,3	31,3	42,1	50,4	43,5	5,7	34,7	43,5	24,8
Выход зерновых единиц с посевов с/х культур, ц/га		34,0	30,8	23,8	24,1	22,7	19,5	21,3	20,5	19,8	14,2	20,0	20,9	15,5

Микроэлементы в дерново-подзолистых почвах

Дерново-подзолистые почвы зачастую слабо обеспечены некоторыми микроэлементами, такими как железо, бор, цинк, молибден, кобальт и др. Сельскохозяйственные культуры, выращиваемые на этих почвах, реже испытывают потребность в марганце и меди. Большая часть пашни земель Московской области имеет высокий уровень содержания в пахотном слое подвижного марганца (84%) и меди (60%). Низкую обеспеченность цинком имеют 78% всех площадей, среднюю и низкую обеспеченность молибденом – 85,7%, кобальтом – 63,6%, бором – 49,8% (табл. 14).

Таблица 14

Обеспеченность пахотных почв Московской области некоторыми микроэлементами (по состоянию на 01.01.2002 г.)

Микроэлемент	Уровень обеспеченности					
	низкий		средний		высокий	
	мг/кг	%	мг/кг	%	мг/кг	%
B	< 0,33	7,4	0,34–0,70	42,4	> 0,71	50,2
Mo	< 0,10	8,7	0,11–0,22	77,0	> 0,23	14,4
Cu	< 1,50	5,0	1,51–3,30	35,0	> 3,31	60,0
Zn	< 2,0	78,0	2,01–5,00	17,2	> 5,01	4,7
Co	< 1,0	8,7	1,01–2,20	54,9	> 2,21	36,3
Mn	< 30,0	1,4	30–70	15,0	> 70,0	84,0

Обеспеченность почв микроэлементами в значительной мере зависит от степени их окультуренности, в частности, от содержания гумуса и кислотности. Так, с увеличением гумуса возрастает содержание бора и меди, на сильнокислых и кислых почвах содержание доступного для растений бора и меди увеличивается, а на известкованных нейтральных и слабощелочных – снижается. Щелочная реакция способствует усилению подвижности молибдена, марганца, в то же время в кислой среде происходит переход этих элементов в менее подвижные и труднодоступные для растений соединения.

Наличие значительной доли площадей с повышенным содержанием фосфора, предполагает применение микроудобрений, и, в первую очередь цинковых, так как высокое содержание фосфора блокирует поступление цинка в растения.

По отношению к 1994 г. площади с низким содержанием всех микроэлементов в 1996 г. снизились, особенно по подвижному цинку и кобальту, но в 2000 г. они вновь возросли. Так процент содержания площадей с низким содержанием бора возрос с 5,4% до 14,3%, молибдена – с 4,3 до 17,1%; меди – с 4,4 до 13,8%; марганца – с 0,5 до 13,2; цинка – с 53,7 до 61,1% и кобальта – с 22,1 до 30,6%. Такая же закономерность прослеживается при сравнении площадей с низким средним содержанием микроэлементов: по бору таких площадей стало больше на 3,3%; по молибдену – на 4,7%; по меди – на 8,8 %; цинку – на 1,1% по кобальту – на 2,1% и по марганцу – на 14,1%. Уменьшились и средневзвешенные показатели содержания подвижных микроэлементов.

Принято считать, что для среднеевропейских условий из всех микроэлементов бору принадлежит наибольшее практическое значение. Потребность в нем особенно высока на легких дерново-подзолистых почвах при их известковании. Как показали исследования, на почвах средне- и тяжелосуглинистого гранулометрического состава с содержанием подвижного бора 0,22–0,30 мг/кг наблюдалась слабая реакция растений на внесение борного удобрения. Некоторый положительный эффект от усиления питания растений бором наблюдался лишь в посевах горохо-овсяной смеси, обеспечившего повышение урожая зеленой массы с 95 до 106 ц/га.

В таблице 15 представлена динамика изменения подвижных форм микроэлементов в пашне Московской области за период с 1980 по 2000 гг.

Таблица 15

Изменение содержания подвижных форм микроэлементов в дерново-подзолистых почвах, % от обследованной площади

Год	Обследованная площадь, га	Группы по содержанию микроэлементов, мг/кг				Средневзвешенный показатель, мг/кг
		низкое, <0,33	среднее, 0,33–0,7	высокое, > 0,7	сумма, низк.+сред.	
Бор						
1994	987192	9,7	40,8	49,5	50,5	0,80
1996	330040	5,4	52,5	42,0	57,9	0,76
2000	717082	14,3	46,9	38,8	61,2	0,69
Молибден						
1994	999229	9,6	76,5	13,9	86,1	0,21
1996	329651	4,3	74,0	21,7	78,3	0,19
2000	716900	17,1	65,9	17,0	83,0	0,17
Медь						
1994	989528	7,0	37,4	55,6	44,4	4,40
1996	330287	4,4	38,8	56,8	43,2	4,43
2000	717320	13,8	38,4	47,9	52,1	3,80
Цинк						
1994	955023	78,1	16,8	5,1	94,9	2,93
1996	327105	53,7	38,7	7,6	92,4	2,79
2000	715771	61,1	32,5	6,5	93,5	2,50
Кобальт						
1994	943315	9,9	57,8	32,3	67,7	1,58
1996	320440	22,1	65,0	12,9	87,1	1,57
2000	717306	30,6	58,6	10,8	89,2	1,40

Год	Обследованная площадь, га	Группы по содержанию микроэлементов, мг/кг				Средневзвешенный показатель, мг/кг
		Марганец				
		низкое, <0,1	среднее, 0,1–0,22	высокое, > 0,22	сумма, низк.+сред.	
1994	941075	1,1	14,8	84,1	15,9	
1996	330180	0,5	40,3	59,2	40,8	84,0
2000	717321	13,2	41,7	45,1	54,9	70,0

Экологическое состояние дерново-подзолистых почв

Фитотоксичность тяжелых металлов. Почвенный покров Московской области с развитым промышленным производством и широкой автодорожной сетью подвержен сильному загрязнению тяжелыми металлами. Суммарный выброс техногенных веществ промышленными предприятиями области достигает 440–530 тыс. т (Аристархов, 2000). Существенным источником загрязнения почв этого региона тяжелыми металлами является неконтролируемое применение осадков сточных вод в виде удобрений (Минеев с соавт., 1993). Незначительное количество их содержится в минеральных удобрениях и извести. Расчеты показали, что в среднем на гектар пахотных земель в районе ежегодно поступает следующее количество тяжелых металлов (в граммах): Cd – 16–53, Pb – 97–197, Cr – 106–526, Ni – 113–245, Cu – 36–427, Zn – 192–1050. Такой уровень загрязнения территории области тяжелыми металлами не привел к накоплению их почвами в концентрациях, превышающих ПДК. Наличие огромного мегаполиса – г. Москва – способствует нарушению экологического равновесия в сельскохозяйственном производстве. К экологически неблагополучным районам можно отнести Балашихинский, Ленинский, Люберецкий, Раменский, Коломенский где содержание тяжелых металлов первого класса опасности (Cd, Pb) превышает допустимые нормы.

Содержание кадмия выше ПДК выявлено на площади 2,3 тыс.га, что составляет 0,28% от обследованной площади, свинца на площади 2,2 тыс.га или 0,28% от обследованной площади, меди на площади 1 тыс.га – 0,11%; никеля на площади 0,08 тыс. га – 0,02%, фтора на площади 0,65 тыс. га или 0,07%. Содержание цинка и ртути в обследованных почвах области не превышает ПДК (табл. 16).

Таблица 16

Содержание тяжелых металлов в дерново-подзолистых почвах (по состоянию на 01.01.2002 г.)

ТМ	Обследованная площадь, тыс. га	Распределение обследованной площади по группам содержания ТМ							
		менее 0,5 ПДК		от 0,5 до 1,0 ПДК		превышает 1,0 ПДК			
						всего		в т.ч. 1,5 ПДК	
		га	%	га	%	га	%	га	%
Кадмий	906	897	99,0	6,7	0,7	1,5	0,2	0,8	0,08
Свинец	906	873	96,4	30,4	3,3	1,6	0,2	0,6	0,06

ТМ	Обследованная площадь, тыс. га	Распределение обследованной площади по группам содержания ТМ							
		менее 0,5 ПДК		от 0,5 до 1,0 ПДК		превышает 1,0 ПДК			
						всего		в т.ч. 1,5 ПДК	
		га	%	га	%	га	%	га	%
Цинк	906	895	98,7	11,2	1,2	0,0	0,0	0,0	0,0
Медь	906	900	99,3	5,1	0,6	0,7	0,7	0,3	0,04
Никель	847	847	99,9	0,2	0,0	0,1	0	0	0
Ртуть	52,7	52	99,7	0,2	0,3	0,0	0	0	0
Фтор	795	773	97,3	20,8	2,6	0,6	0,1	0,1	0,01

Загрязнение почв носит локальный характер и охватывает, как правило, территории с высокой концентрацией промышленных предприятий и землями с ненормированным использованием осадков сточных вод. В других случаях отсутствие существенного загрязнения почв тяжелыми металлами свидетельствует о достаточно высокой буферной способности агроэкосистем, что обусловлено интенсивным применением агрохимических средств в 1971–1993 гг., позволившим существенно снизить почвенную кислотность, стабилизировать гумусное состояние и питательный режим почв на высоком уровне. Именно эти факторы почвенного плодородия в решающей степени ограничивают подвижность тяжелых металлов в почве и проявление их фитотоксичности.

Данное положение подтверждается результатами исследований по накоплению тяжелых металлов сельскохозяйственными культурами при выращивании их на загрязненных этими токсикантами почвах в 48 полях 9 хозяйств Балашихинского, Люберецкого, Ленинского и Раменского районов в 1990 г. В качестве индикаторов загрязнения почв выбраны 6 элементов – кадмий, свинец, никель, хром, медь и цинк. Установлено, что около 90% почв производственных участков характеризуются высоким уровнем загрязнения кадмием, цинком и медью, реже – никелем и хромом. Наиболее опасными элементами являются кадмий и свинец, содержание которых в почве в подвижной форме уже на уровне 0,2–0,3 ПДК токсично для большинства сельскохозяйственных культур. В то же время цинк и особенно медь не накапливаются растениями в токсичных концентрациях, несмотря на многократное превышение содержания их подвижных соединений в почве относительно ПДК. Хром и никель занимают в этом отношении промежуточное положение. Выявлены группы сельскохозяйственных культур, характеризующиеся различной устойчивостью к загрязнению тяжелыми металлами: устойчивые – плодово-ягодные, многолетние травы и кормовая свекла; средне устойчивые – картофель, кукуруза, морковь, кабачки, поздняя капуста; подверженные загрязнению – листовые овощные культуры, ранняя и цветная капуста, столовая свекла, редис и репа. Полученные данные позволили подразделить пахотные земли, загрязненные тяжелыми металлами, по степени пригодности их к выращиванию культурных растений на три категории: земли, не опасные для всех культур с содержанием подвижных форм (мг/кг) – Cd менее 0,2, Pb менее 1,0, Ni менее 1,0,

Сг менее 0,8, Zn менее 46; земли, опасные для всех культур с содержанием Cd более 6 мг/кг; земли, ограниченно опасные, пригодные для выращивания овощных культур (капуста, морковь, свекла, редис) с содержанием: Cd менее 1,0, Pb менее 2,0, Сг менее 6,0, Ni менее 7,5, Zn менее 146 мг/кг почвы.

Фитотоксичность радионуклидов. Как показали исследования, проведенные на загрязненных радионуклидами почвах (Алексахин с соавт., 1993; Ратников с соавт., 1997; Воробьев, 1999; Агеец, 2001; Кузнецов с соавт., 2001; Тулина, 2002), оптимизируя гумусное состояние, физико-химические свойства и питательный режим дерново-подзолистых почв, удается существенно снизить подвижность радионуклидов в почвах и накопление их растениями. По ограничивающему воздействию параметров почвенного плодородия на поступление радионуклидов в растения они располагаются в следующем убывающем порядке: содержание гумуса > обеспеченность обменным калием > величина рН > содержание подвижного фосфора.

Определяющую роль в ограничении размеров накопления ^{137}Cs растениями имеет содержание в почве обменнопоглощенного калия, являющегося антагонистом цезия. Выявлена обратная корреляция между содержанием обменного калия в дерново-подзолистых почвах и степенью накопления ^{137}Cs надземной биомассой многолетних злаковых трав. Интенсивное применение калийных удобрений в зоне загрязнения земель радио-цезием в дозах, вдвое превышающих рекомендуемые для нормальных условий, позволило уже спустя 5 лет после Чернобыльской аварии снизить внешнее облучение в 10–15 раз.

Степень накопления радионуклидов растениями во многом зависит от обеспеченности также другими элементами минерального питания и сбалансированного применения удобрений (Белоус, 1992). При этом наиболее ощутимое снижение размеров поступления ^{137}Cs и ^{90}Sr в надземные органы различных культур севооборота достигается в случае обеспечения оптимального уровня корневого питания. Существенное влияние на подвижность радионуклидов в почве и потребление их растениями оказывает кислотность почвы. Так, если на загрязненных ^{137}Cs почвах с рН 4,5–5,5 коэффициент накопления этого радионуклида озимой пшеницей и многолетними травами составлял 0,5 и 15–20, то на почвах с рН 6,6–7,5 он был на порядок ниже (0,05 и 2,0). Такое же влияние оказывает кислотность почвы на уровень накопления растениями ^{90}Sr . Эти данные свидетельствуют о существенной роли известкования в снижении фитотоксичности радионуклидов. Для доступности их растениям имеет также значение то обстоятельство, что большая часть ^{137}Cs (65–70%) закрепляется в почве в необменной форме, в то время как 50–60% ^{90}Sr находится в почве в обменнопоглощенном состоянии.

На основе 25-летних наблюдений проведен анализ содержания долгоживущих радионуклидов в дерново-подзолистых почвах и сельскохозяйственной продукции (табл. 17, 18).

Таблица 17

Содержание радионуклидов в почвах, Бк/кг

Регион	Стронций-90	Цезий-137	Калий-40	Радий-226	Торий-232	Гамма фон, мкр/ч
Московская область	3,2	9	575	31	40	10
В среднем по России	6,5	22,0	520	27	30	—

Таблица 18

Содержание радионуклидов в урожае сельскохозяйственных культур на различных типах почв Московской области, Бк/кг

Культура	Цезий-137	Стронций-90	Коэффициент перехода Cs ¹³⁷
Многолетние травы	7,8	2,8	0,65
Картофель, клубни	1,8	1,3	0,13
Кукуруза зелёная масса	5,5	4,2	0,42
Овес зерно			0,09
солома	1,6	<1,0	0,16
Морковь	1,4	<1,0	0,06
Кормовая свекла	1,9	<1,0	0,12

Результаты исследований показывают, что содержание долгоживущих радионуклидов ⁹⁰Sr и ¹³⁷Cs обусловлено в основном глобальными выпадениями. После аварии на Чернобыльской АЭС в почвах Московского региона был зарегистрирован широкий спектр радионуклидов ⁹⁰Sr, ⁹⁵Zr, ⁹⁵Np, ⁹⁹Mo, ¹³¹I, ¹³²Fe, ¹⁴⁰La, ¹⁴⁰Ba, ^{141,144}Ce, ^{134,137}Cs.

Концентрации радионуклидов были значительно ниже допустимых, а со временем в результате радиоактивного распада они значительно снизились. Случаев превышения ВДУ по содержанию радионуклидов в полученной продукции зарегистрировано не было. Основными дозообразующими радионуклидами в первый период являлись ¹³¹I и ^{134,137}Cs. Содержание в атмосферном воздухе ^{134,137}Cs было максимальным 28 и 29 апреля 1986 г., но в сотни раз ниже допустимой концентрации. Всего в 1986 г. на поверхность почвы выпало 592 Бк/м² ¹³⁷Cs и 296 Бк/м² ¹³⁴Cs, причем 80% выпадений пришлось на апрель – май. Загрязнение почвы на 30-ти контрольных участках колебалось в пределах от 0,15 до 1,3 Ки/км².

Содержание ¹³⁷Cs в зерне, овощах и картофеле в 1986 г. превышало доаварийный уровень в 1,5–2,5 раза.

В настоящее время в почвах Московской области содержание наиболее опасных искусственных радионуклидов стронция-90 и цезия-137 – ниже общероссийского соответственно в 2 и 2,3 раза, и не выходит за предел уровня глобальных выпадений (см. табл. 17).

Содержание естественных радионуклидов: калия-40, радия-226, тория-232 незначительно превышает общероссийский уровень.

Учитывая длительность наблюдений и значительное число выполненных анализов, полученные данные по содержанию радионуклидов в почвах области являются количественной характеристикой агроэкологического состояния почв региона.

Кроме того установлено (см. табл. 18), что основные культуры, выращиваемые в Московской области содержат незначительное количество стронция-90 от <1,0 до 2,4 Бк/кг (ПДК для зерновых, овощных культур и картофеля – 40 Бк/кг). Количество цезия-137 варьирует в пределах 1,4–7,8 Бк/кг (ПДК – 70–120Бк/кг).

ВЫВОДЫ

1. Способность дерново-подзолистых почв осуществлять экологические функции, заключающиеся в обеспечении формирования высокой и устойчивой продуктивности культурных растений, адаптации посевов к неблагоприятным климатическим факторам, токсичному воздействию загрязняющих веществ и фитопатогенной микрофлоры в решающей степени определяется уровнем их плодородия. Такими функциями обладают только высокоплодородные почвы, богатые гумусом, элементами минерального питания и характеризующиеся благоприятными физико-химическими и биологическими свойствами.

2. На основе крупномасштабного систематического агрохимического обследования за 36-летний период дана комплексная оценка агрохимического и экологического состояния дерново-подзолистых почв Московского региона по периодам развития химизации сельского хозяйства. Прослежена динамика изменения основных показателей плодородия в зависимости от уровня применения удобрений и химических мелиорантов. Общей характеристикой для дерново-подзолистых почв является относительно низкий уровень плодородия. В особенности это касается гумуса, низкое содержание которого отмечено на 42,5% площади пашни. Средневзвешенный его показатель в сравнении с 1987 г. снизился на 0,23%.

3. Регулирование кислотности дерново-подзолистых почв в оптимальных пределах (pH_{KCl} около 6,0) посредством периодического известкования является определяющим условием нормального течения физико-химических и биологических почвенных процессов и обеспечения сбалансированного уровня корневого питания растений макро- и микроэлементами при систематическом внесении удобрений в агроценозах. В последние годы (1998–2002 гг.) за счет последствий ранее внесенных высоких доз известковых материалов, средневзвешенная величина кислотности почвы в пахотных землях региона стабилизировалась на уровне pH 5,8, а доля площадей с pH менее 5,5%, составила 27%. В связи с прекращением работ по известкованию, в ближайшей перспективе можно прогнозировать существенное увеличение площадей почв с повышенной кислотностью.

4. Одним из решающих условий высокопродуктивного и устойчивого функционирования агроэкосистем на дерново-подзолистых почвах является

достаточная обеспеченность их подвижными фосфатами, содержание которых в пахотном слое следует поддерживать как минимум на уровне IV группы обеспеченности (101–150 мг P_2O_5 на кг почвы). Доля площадей пахотных земель с таким фосфатным и более уровнем в Московском регионе за последние 10 лет составляет 74–91% при средневзвешенной величине этого показателя 210 мг/кг. Возрастание площадей почв VI группы обеспеченности подвижным фосфором (P_2O_5 более 250 мг/кг), т.е. с очень высоким содержанием подвижного фосфора, вызвана отчуждением из сельскохозяйственного использования около 270 тыс.га земель, как правило с низким уровнем плодородия.

5. В число факторов, обеспечивающих эффективное использование фосфорных удобрений, входит исходная обеспеченность почв подвижными фосфатами, гидротермические условия вегетационного периода, степень сбалансированности с другими элементами питания и, в первую очередь, с азотом, масштабы и продолжительность последствий ранее внесенных фосфатов в том числе и фосфоритной муки. Ее применение в разовых дозах 1,5–2,5 т/га позволяет сохранить высокий фосфатный уровень дерново-подзолистых почв на длительный период.

6. Применение азотных удобрений следует дозировать в соответствии с исходным содержанием доступного азота в почве, обеспеченностью фосфором и потребностью растений в этом элементе питания по фазам развития растений. В полевых опытах эффективность азотного удобрения возрастала по мере повышения фосфатного уровня дерново-подзолистых почв наиболее сильно в посевах картофеля, несколько слабее – при возделывании озимой пшеницы, и очень слабо – в посевах ячменя. Положительное действие азотной подкормки в посевах озимой пшеницы усиливалось в случае внесения ее в период возобновления весенней вегетации с учетом имеющихся запасов минерального азота в толще почвы 0–90 см.

7. Высокий уровень содержания обменного калия в пахотных землях Московского региона обусловлен интенсивным применением калийных удобрений в предшествующие годы (1986–1992). К 1992 г. средневзвешенная величина этого показателя составила 160 мг/кг г, а доля площадей с содержанием обменного калия более 120 мг/кг г равнялась 70%. В последние 10 лет отмечено снижение этих величин соответственно до 138 мг/кг и 52%. В полевых опытах отзывчивость посевов на калийное удобрение зависела от исходной обеспеченности почвы обменным калием. Наиболее отзывчивы на калий кормовые культуры (кукуруза, многолетние травы) и картофель; зерновые злаки (ячмень, озимая пшеница) слабее реагировали на его внесение.

8. Важную роль в повышении продуктивности дерново-подзолистых почв играет не только традиционное применение азота, фосфора и калия, но и такого элемента питания как магний, доля площадей с низким и средним содержанием которого в Московской области составляет около 40%. Поэтому, для обеспечения возможности получения стабильно высоких урожаев, необходимо применение магнийсодержащих удобрений. В особенности недостаток ощущается на почвах легкого гранулометрического состава.

9. Дефицитными микроэлементами в почвах Московского региона являются цинк, молибден, кобальт и бор. В длительном полевом опыте на хорошо окультуренных почвах со средней обеспеченностью подвижными формами молибдена и цинка и низким содержанием подвижного бора наиболее высокое положительное действие на урожай бобово-злаковых трав и озимой пшеницы оказывал молибден и цинк, а борное удобрение не влияло на продуктивность посевов.

10. В связи с резким снижением применения агрохимических средств, в Московском регионе наметилась тенденция снижения запасов сульфатной серы в пахотных почвах. За три года (1993–2001) её средневзвешенное содержание уменьшилось на 29%, площади обследованной пашни с низким содержанием серы возросли на 35%. Отсюда следует, что применение серных удобрений в земледелии области актуально. Учитывая довольно заметную тенденцию снижения серы, необходимо проведение систематического контроля за содержанием этого элемента в почвах региона.

11. Обследование пахотных земель и растительной продукции различных групп культур (овощные, кормовые, плодово-ягодные) на содержание тяжелых металлов показало, что наибольшую опасность представляет загрязнение дерново-подзолистых почв кадмием и свинцом. В то же время цинк и медь не накапливаются растениями в токсичных концентрациях, несмотря на многократное превышение содержания их в почве относительно ПДК. Наиболее устойчивыми к токсичному накоплению тяжелых металлов являются плодово-ягодные культуры, многолетние травы и кормовая свекла. Сильно подвержены загрязнению ими листовые овощные, ранняя и цветная капуста, столовая свекла, редис. Возделывание сельскохозяйственных культур на почвах, имеющих оптимальную кислотность, высокое содержание гумуса и достаточную обеспеченность элементами минерального питания, позволяет существенно ограничить накопление тяжелых металлов растениями и снизить их фитотоксичность.

12. Значительное снижение применения удобрений в Московском регионе привело к существенному ухудшению баланса элементов питания. Несмотря на то, что вынос питательных веществ с урожаем уменьшился, начиная с 1994 г. баланс остается стабильно отрицательным по всем элементам питания. В настоящее время в области около 60% урожая формируется за счет использования питательных веществ почвы, что приводит к их истощению, а при сохранении такого положения могут произойти необратимые негативные процессы.

13. Основными факторами, снижающими уровень поступления радионуклидов в растительную продукцию, являются оптимальная кислотность почвы, повышенное содержание в ней органического вещества, оптимальная обеспеченность элементами минерального питания. Большое значение в реабилитации загрязнения земель имеет известкование дерново-подзолистых почв, а также применение органических и калийных удобрений. Установлено, что содержание долгоживущих радионуклидов ^{137}Cs , ^{90}Sr в почвах Московского региона меньше общероссийских соответственно в 2–2,3 раза и не выходит за предел уровня глобальных выпадений. Содержание естественных радионуклидов калия-40, радия-226, тория-232 незначительно превышает общероссийский уровень.

ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВУ

1. Для сохранения потенциального плодородия почв и создания наиболее благоприятных условий фитосанитарного состояния растений, необходимо использовать органические удобрения, в т.ч. солому, в дозе не менее 8–10 т на га, а также обеспечивать растения сбалансированным уровнем минерального питания. С учетом агрохимических свойств почв, сложившейся в последние годы структуры посевных площадей, фактической урожайности и баланса элементов питания в 2004–2005 гг. для посевных площадей Подмосковья требуется не менее 103 тыс. т. д.в. минеральных удобрений, в т.ч. N – 40 тыс. т; P₂O₅ – 15 тыс. т; K₂O – 48 тыс. т.

2. Для поддержания нормального течения физико-химических и биологических почвенных процессов, обусловленных кислотностью почв, в Подмосковье необходимо известковать ежегодно не менее 100–120 тыс. га и проводить фосфоритование на площади 25 тыс.га дозой 1,5–2,0 т/га P₂O₅.

3. На дерново-подзолистых почвах с высоким содержанием подвижных фосфатов, где поступление в растения цинка блокируется фосфором, необходимо дополнительно вносить цинковые удобрения в количестве 8 кг/га цинка на почвах с низкой обеспеченностью цинком и 2 кг/га на среднеобеспеченных почвах.

4. Для получения нормативно чистой и качественной растениеводческой продукции необходимо вести постоянное наблюдение и контроль за содержанием и трансформацией тяжелых металлов, радионуклидов и других токсикантов в почвах и растениях, и в случае превышений 0,5 ПДК, необходимо проводить следующие агроэкологические мероприятия: известкование – в дозах, обеспечивающих доведение pH почвы до уровня 6,5–6,7; внесение органических удобрений – в максимально возможных дозах с учетом потребности сельхозкультур в азоте; применение фосфорных удобрений – на почвах с пониженным содержанием подвижных фосфатов.

5. В связи с тем, что 43% земель региона имеют низкую обеспеченность доступными соединениями серы, на них следует применять серосодержащие удобрения в дозе 30–50 кг/га д.в. S, в особенности под культуры с повышенной потребностью в сере, например под бобовые и крестоцветные.

6. На дерново-подзолистых почвах с недостаточной обеспеченностью подвижным магнием следует применять магнийсодержащие удобрения в форме доломитовой муки в дозах 5 т/га один раз в 5 лет.

СПИСОК ОСНОВНЫХ РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Курганова Е.В. Плодородие почв и эффективность минеральных удобрений в Московской области. М.: Изд-во МГУ, 1999. 152 с. (*Монография*).
2. Войтович Н.В., Полев Н.А., Кирдин В.Ф., Курганова Е.В. Сельскохозяйственное использование и повышение плодородия почв Московской области. М.: РАСХН, 2000. 373 с. (*Монография*).
3. Войтович Н.В., Шишов Л.Л., Курганова Е.В. и др. Почвы Московской области и их использование. М.: РАСХН, 2002. 300 с. (*Монография*).
4. Курганова Е.В. Плодородие и продуктивность почв Московской области. М.: Изд-во МГУ, 2002. 319 с. (*Монография*).
5. Максимов П.Г., Васильева Н.М., Кузнецов А.В., Аристархов А.Н., Курганова Е.В. и др. Агрохимическая характеристика пахотных почв Российской Федерации по содержанию тяжелых металлов, мышьяка и фтора. М.: Агроконсалт, 2002. 50 с. (*Монография*).
6. Касатиков В.А., Баринаева Р.Е., Курганова Е.В. Об утилизации городских отходов // Химия в сельском хозяйстве. 1987. N 1. С. 32–34.
7. Чумаченко И.Н., Прошкин В.А., Курганова Е.В. Экспресс-метод оценки загрязнения земель тяжелыми металлами на основе картирования магнитной восприимчивости почв // Агрохимический вестник. 1998. N 1. С. 33–35.
8. Аристархов А.Н., Аристархова Г.Г., Курганова Е.В. О нормативах микроудобрений под зерновые и зернобобовые культуры // Агрохимический вестник 1998 N 1 С. 17–19.
9. Державин Л.М., Скворцова Н.К., Курганова Е.В. Научно-методические подходы к определению выноса питательных веществ сорняками // Агрохимический вестник. 1998. N 5–6. С. 10–11.
10. Курганова Е.В., Волощина О.Н. Плодородие почв в Сергиево-Посадском районе // Агрохимический вестник. 1999. N 3. С. 28–31.
11. Аристархова Г.Г., Курганова Е.В. Эколого-токсикологическая оценка почв Московской области // Агрохимический вестник 1999 N 3. С. 10–17.
12. Курганова Е.В., Копейкина О.А. Комплексная оценка сточных вод // Агрохимический вестник. 1999. N 3. С. 38–40.
13. Горчаков В.В., Курганова Е.В., Юсуф Л. Баллек. Агроэкологическая оценка почв юго-восточной части Московской области // Вестник Российского университета Дружбы народов. 1999. N 5. Сер. агрономия. С. 8–14.
14. Дурихина Н.В., Курганова Е.В. Биологические процессы в почвах искусственных агроландшафтов при применении осадков сточных вод // Природоустройство с. – х. территорий. М.: Изд-во МГУП, 2001. С. 26–27.
15. Дурихина Н.В., Курганова Е.В. Биологическая активность почв при применении осадков сточных вод // Бюллетень ВИАУ. 2001. N 115. С. 25.
16. Искандарян Р.А., Курганова Е.В., Хомяков Д.М. Исследование статистических зависимостей между показателями агрохимических свойств почвы и содержанием в ней подвижных форм микроэлементов //Идеи В.В. Докучаева и современные проблемы сельской местности. Материалы Международной научно-практической конференции. Часть II. Москва-Смоленск: Изд-во «Универсум» 2001. С. 180–188.
17. Аристархов А.Н., Курганова Е.В. Калийный режим почв и потребность в калийных удобрениях земледелия Московской области // Эколого-агрохимическая оценка калийного режима почв и эффективность калийных удобрений Материалы научно-практической конференции. М.: ЦИНАО, 2002 С.213–226
18. Курганова Е.В., Волков Б.А. Научные основы создания кормовой базы Московской области за счет внутренних ресурсов // Перспективные агрохимические технологии повышения качества кормов// Доклады симпозиума. М.: ВНИПТИХИМ, 2002. С. 135–144.

19. Искандарян Р.А., Хомяков Д.М., Курганова Е.В. Результаты исследований в географической сети опытов с удобрениями и другими агрохимическими средствами – основа современных технологий в кормопроизводстве и земледелии // Доклады симпозиума. М.: ВНИПТИХИМ, 2002. С. 99–107.

20. Мерзлая Г.Е., Дурихина Н.В., Курганова Е.В. Утилизация городских стоков и улучшение агроэкологической ситуации в Московском регионе // Бюллетень ВИАУ. 2003. N 117. С. 191–194.

21. Авторский коллектив под ред. А.Г. Ишкова. Государственный доклад «Об использовании природных ресурсов и состоянии окружающей среды Московской области в 2001 году». М.: НИИ – Природа, 2002. 279 с.

22. Авторский коллектив под ред. Н.В. Гаранькина и Н.Г. Рыбальского. Государственный доклад «О состоянии и охране окружающей среды Московской области в 2002 году». М.: НИИ – Природа, 2003. 314 с.

23. Маслов С.Ф., Светов В.А., Генькин М. М., Курганова Е.В. и др. Рекомендации по снижению накопления нитратов в сельскохозяйственной продукции и водах Владимир: Госагропром РСФСР, 1988. 36 с.

24. Ильницкий А.П., Иваницкий А.М., Опополь Н.И., Курганова Е.В. Инструкция по организации контроля за содержанием тяжелых металлов и мышьяка в растениеводческой продукции. М.: Минсельхоз России, 1994. 34 с.

25. Ильницкий А.П., Лифшиц Н.А., Орлова Н.Г., Курганова Е.В. Оценка токсикологической безопасности продукции растениеводства. М.: Изд-во ГКСЭН России, 1994. 26 с.

26. Державин Л.М., Скворцова Н.К., Пузанова О.А., Курганова Е.В. Методические указания по определению выноса питательных веществ сорняками с учетом видового состава и степени засоренности посевов. М.: Минсельхоз России, 1999. 17 с.

27. Войтович Н.В., Кирдин В.Ф., Курганова Е.В. и др. Рекомендации по проведению весенне-полевых работ в 2000 году. М.: Минсельхоз России, 2000. 16 с.

28. Войтович Н.В., Кирдин В.Ф., Полев Н.А., Курганова Е.В. Рекомендации по проведению весенне-полевых работ в 2001 году. М.: Минсельхоз России, 2001. 18 с.

Подписано в печать 25.12.03 Формат 60x90 1/16
Бумага офсетная № 1 Зак. № 45/6
Усл. печ. л. – 2,7 Усл. изд. л. – 2,9
Тираж 100 экз

Издательско-полиграфический комплекс НИА–Природа
119017, Москва, Старомонетный пер., 31.
Тел./факс: 951–2812, 959–4279



РНБ Русский фонд

2006-4

26095



22 ЯНВ 2004